

УДК 004.421

В.Ф. Гречанінов

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України, Київ

ОСНОВНІ РИСИ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

Приведені основні риси технології моніторингу пожежної безпеки, інформаційний опис процесу перетворення інформації, синтез моделей, інформаційна технологія моніторингу пожежної безпеки з багаторівневим перетворенням інформації та інформаційна система багаторівневого моніторингу пожежної безпеки. Як приклад реалізації першого етапу інформаційної технології багаторівневого моніторингу пожежної безпеки використовувались результати моніторингу стану пожежної безпеки 718 адміністративних територій України впродовж 2000 – 2013 років, отримана діаграма впливовості факторів, яка враховує всі особливості виникнення надзвичайних ситуацій в державі в цілому.

Ключові слова: моніторинг, пожежна безпека, перетворення інформації, інформаційна система.

Вступ

Моніторинг застосовується з метою забезпечення інформацією процесів прийняття управлінських рішень. Функціональна схема технології моніторингу містить визначення змісту інформації, яку необхідно отримати в результаті моніторингу, визначення переліку показників стану об'єкта та характеристик впливових факторів та їх чисельних значень, визначення методів та засобів перетворення інформації від форми масиву вхідних даних (МВД) до форми, яка є зручною для порівняння альтернативних рішень. Таким чином, технологія моніторингу передбачає не тільки збір значимих характеристик стану об'єкта, але і їх зберігання, обробку, та перетворення.

1. Інформаційний опис процесу перетворення інформації

Процес накопичення та форми зберігання результатів оперативного, тактичного та стратегічного моніторингу повинен забезпечувати можливість багатфакторного моделювання із залученням сучасних та перспективних методологій, технологій, методів та засобів обробки даних та перетворення форми інформації.

Відповідно до методології створення інформаційних систем багаторівневого моніторингу [1] моніторингова інформація отримується в результаті поетапного перетворення вхідних сигналів – результатів моніторингу стану об'єктів пожежної охорони та середовища, в якому вони існують. Оскільки природа виникнення надзвичайних ситуацій на рідних об'єктах окремої адміністративної території різниться, тому моделі залежностей втрачати від надзвичайної ситуації будуються для кожного об'єкта окремо. Їх ієрархічне поєднання дозволяє відобразити в структурі глобальної функції МІС взаємні

впливи процесів профілактики, управління підрозділами на різних рівнях, технічного забезпечення, підготовки особистого складу та інших процесів.

Структура глобальної функції перетворення інформації [2] в технології багаторівневого моніторингу подана на рис. 1.

Вона формується за методом висхідного синтезу елементів (моделей), що дозволяє ефективно вирішувати задачу їх координації в процесі синтезу моделей вищої страти за масивом вхідних даних, сформованих вихідними сигналами елементів нижніх страт.

Кожна модель об'єкта в свою чергу є ієрархічною структурою, що містить інші моделі цього об'єкта, отримані за завершеними алгоритмами [3].

2. Синтез моделей

Основою програмної реалізації даної технології у вигляді інформаційної системи є синтез багатопараметричних моделей, придатних для використання в якості алгоритму перетворення інформації в структурі глобальної функції МІС

Для отримання якісних багатопараметричних моделей необхідно використовувати існуючі та розробляти нові алгоритми синтезу моделей (АСМ), призначені для їх безпосереднього використання в МІС об'єктів пожежної безпеки.

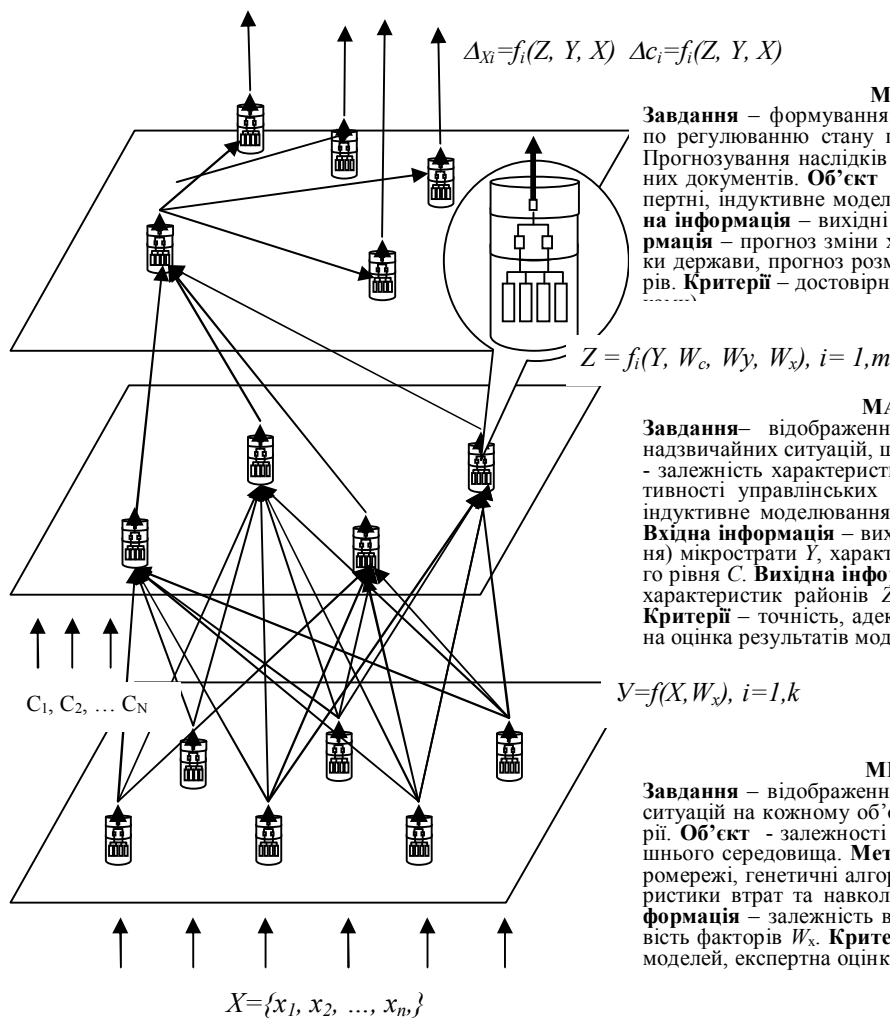
При побудові багатопараметричної моделі ставиться задача ідентифікації функціональної залежності:

$$y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де y_i – модельований показник (вихідний сигнал); x_1, x_2, \dots, x_n – показники стану об'єкта або змінні моделювання (масив вхідних даних).

Традиційним методом синтезу багатопараметричних моделей є множинна регресія [4]. Функціональна залежність (1) подається у вигляді:

$$y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n. \quad (2)$$



МЕТАСТРАТА

Завдання – формування керуючих впливів – визначення дій по регулюванню стану пожежної безпеки на рівні держави. Прогнозування наслідків їх застосування. Розробка нормативних документів. **Об’єкт** – моделі макрострати. **Методи** – експертні, індуктивне моделювання, розпізнавання образів. **Вхідна інформація** – вихідні сигнали макрострати. **Вихідна інформація** – прогноз зміни характеристик стану пожежної безпеки держави, прогноз розміру втрат, оцінка впливовості факторів. **Критерії** – достовірність інформації (за експертними оцінками)

МАКРОСТРАТА

Завдання – відображення взаємних впливів характеристик надзвичайних ситуацій, що виникли в районах області. **Об’єкт** – залежність характеристик стану пожежної безпеки від ефективності управлінських заходів обласного рівня. **Методи** – індуктивне моделювання, нейромережі, генетичні алгоритми. **Вхідна інформація** – вихідні сигнали (результати моделювання) мікрострати Y, характеристики управлінських дій обласного рівня C. **Вихідна інформація** – залежність втрат області від характеристик районів Z, впливовість факторів Wc, Wy, Wx. **Критерії** – точність, адекватність, стійкість моделей, експертна оцінка результатів моделювання

МІКРОСТРАТА

Завдання – відображення природи виникнення надзвичайних ситуацій на кожному об’єкті окремої адміністративної території. **Об’єкт** – залежності втрат від стану об’єктів та навколишнього середовища. **Методи** – індуктивне моделювання, нейромережі, генетичні алгоритми. **Вхідна інформація** – характеристики втрат та навколишнього середовища X. **Вихідна інформація** – залежність втрат V від характеристик X, впливовість факторів Wx. **Критерії** – точність, адекватність, стійкість моделей, експертна оцінка результатів моделювання.

Рис. 1. Ієрархія перетворення інформації в технології багаторівневого моніторингу

Значення параметрів множини $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ визначається за методом найменших квадратів. Важливою умовою застосування цього методу є постійна дисперсія експериментально отриманих значень модельованого показника y_i і нормальність закону їх розподілу.

Оскільки на практиці таке трапляється надзвичайно рідко, то масив вхідних даних (МВД) піддається попередній обробці. Закон розподілу y_i наближається до нормального в результаті усереднення значень масиву вхідних даних. Відповідно центральної граничної теореми [5] якщо y_1, y_2, \dots, y_N – незалежні однаково розподілені випадкові величини, що мають математичне сподівання a та дисперсію σ^2 , то при $N \rightarrow \infty$ закон розподілу суми випадкових чисел $\sum_{i=1}^N y_i$ необмежено наближається до

нормального. На практиці розподіл суми $\sum_{i=1}^N y_i$ стає близьким до нормального, вже при $N = 8 \div 12$. При усередненні спостережень масиву вхідних даних втрачається частина інформації. Уникнути цього

можливо шляхом застосування індуктивного моделювання методом групового врахування аргументів (МГУА).

Діючі МІС з багаторівневим перетворенням інформації використовують в якості АСМ алгоритми методу групового врахування аргументів (МГУА) [6]. Цей метод передбачає багаторядну процедуру формування моделі оптимальної складності шляхом поетапної масової селекції множини опорних моделей за зовнішнім критерієм їх якості. Масив вхідних даних ділиться, як мінімум, на дві послідовності. Послідовність спостережень А призначення для навчання моделей. Послідовність В використовується для випробування навчених моделей та розрахунку критерію їх якості.

Початкова множина опорних моделей генерується у вигляді поліноміальних залежностей, кожна з яких поєднує попарно в своїй структурі атрибути масиву вхідних даних. Після цього кожна модель навчається шляхом визначення параметрів моделей (коефіцієнтів при атрибутах). Відповідно до значень критеріїв якості моделей відбувається їх ранжування та формування наступного ряду селекції на основі

кращих із них. Формування моделі оптимальної складності завершується коли якість моделей наступного ряду гірше якості моделей ряду попереднього.

Визначення вигляду опорної моделі є однією із центральних процедур МГУА. Цей процес відбувається евристично на основі наступних підходів. Вважається, що повного відображення властивостей об'єкта можливо досягнути, формуючи структуру моделі на основі функціонального ряду Вольтерра:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^m a_{ijk} x_i x_j x_k, \quad (3)$$

де x – елементи множини атрибутів; a – вектор параметрів.

Окремим випадком ряду Вольтерра, який реалізовує стратегію попарного поєднання атрибутів масиву вхідних даних, є поліном Колмогорова-Габора:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_1 x_2 + a_4 x_1^2 + a_5 x_2^2 + \dots \quad (4)$$

При використанні базових алгоритмів МГУА опорний вигляд моделі конструюють шляхом поєднання окремих елементів поліному (4).

3. Інформаційна технологія моніторингу пожежної безпеки з багаторівневим перетворенням інформації

Поєднання індуктивних моделей, отриманих за завершеним алгоритмом, в глобальну функцію МІС є одним із складових етапів інформаційної технології багаторівневого моніторингу. З метою опису нової інформаційної технології багаторівневого моніторингу використана уніфікована мова моделювання UML (Unified Modeling Language), реалізована Case – пакетом Rational Rose [7].

Технологія містить такі етапи.

1. Підготовчий. Формування підсистеми перетворення інформації. На основі результатів спостережень минулих часових періодів формується структура підсистеми перетворення інформації та проводиться її випробування.

2. Тестування. Управління якістю перетворення інформації.

3. Оперативне перетворення інформації. На основі нових результатів спостережень отримують характеристики поточного стану пожежної безпеки.

Підготовчий етап містить перелік дій, що забезпечують реалізацію глобальної функції системи у вигляді ієрархічного поєднання моделей об'єктів моніторингу пожежної безпеки, що адаптована до умов окремої території. Визначається кількість спостережень для кожного стану, яких буде достатньо для відображення властивостей об'єкта моніторингу в масиві вхідних даних. Із бази даних відбираються показники, інформативність яких дозволяє масиву

вхідних даних подолати межу інформативної достатності [1]. На їх основі формується первинний опис об'єкта моніторингу відповідного рівня.

Первинний опис об'єкту моніторингу формується у вигляді двовимірної таблиці масиву вхідних даних, що містять показники стану із достатньою інформативністю. Масив вхідних даних має вигляд матриці:

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{lm} & y_{l1} & y_{l2} & \dots & y_{lk} \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де l – кількість спостережень за об'єктом, що містить масив вхідних даних.

Для синтезу моделей використовувався індуктивний метод [6].

Перелік показників МВД визначається експертним шляхом із наступним його коригуванням за результатами досліджень. Для формування переліку станів залучаються експерти та використовуються нормативні документи.

Далі шляхом перетворення показників первинного опису та використовуючи інформацію про зв'язки між показниками та спостереженнями синтезуються додаткові показники. Ними доповнюється первинний опис, утворюючи масив вхідних даних для відповідного рівня перетворення інформації.

Кожна локальна задача перетворення інформації розв'язується шляхом ідентифікації функціональної залежності показника стану об'єкта моніторингу відповідного рівня від показників впливаючих факторів. На основі масиву вхідних даних для кожного об'єкта відповідного рівня моніторингу синтезується модель, яка відображає функціональну залежність вихідного показника втрат в результаті надзвичайних ситуацій від показників масиву вхідних даних. За методом висхідного синтезу елементів формується структура глобальної функції системи. Масив вхідних даних для синтезу локальних алгоритмів перетворення інформації вищого рівня конструюється шляхом поєднання вихідних сигналів моделей попереднього рівня, первинного опису об'єктів моніторингу та додаткових показників. В процесі синтезу моделі вищого рівня автоматично формуються міжрівневі зв'язки ієрархічної структури системи.

Вона містить три рівні, які в структурі системи реалізовані у вигляді страт. Кожна страта об'єднує моделі об'єктів моніторингу певного рівня. На вхід мікрострати подається множина X показників стану пожежної безпеки об'єктів моніторингу, зокрема характеристики причин пожеж та загорянь. На вхід макрострати подаються множина Y показників пожеж. На вхід метастрати подаються множина Z показників впливовості факторів, що характеризуються показниками X . Елементами кожної страти є моделі, за допо-

могою яких множина вхідних показників відображається на множину вихідних показників цих страт.

На відміну від вже існуючої технології, при перетворенні результатів моніторингу стану пожежної безпеки використовується новий метод формування структури страти. Він передбачає підвищення інформативності масиву вхідних даних кожної страти за рахунок формування та використання горизонтальних зв'язків в її структурі. Вихідні сигнали агрегатів подаються на вхід сусідніх агрегатів даної страти, утворюючи горизонтальні зв'язки між елементами однієї страти, та, після перетворення, подаються на вхід агрегатів вищої страти, утворюючи таким чином вертикальну багаторівневу структуру.

Задачу вибору алгоритму синтезу моделей організовано у вигляді ієрархії підзадач [1].

1. Задачею нижнього рівня ієрархії є синтез моделі за попереднім алгоритмом. Вона розв'язується для випадку, коли зміна властивостей МВД відбулася в результаті зміни кількісного співвідношення показників без зміни якісного стану об'єкта моніторингу.

2. Задачею верхнього рівня ієрархії є вибір іншого алгоритму синтезу моделей із множини алгоритмів, що містяться в підсистемі управління. Вона розв'язується у випадку, коли зміна властивостей МВД відбулася в результаті зміни стану об'єкта

моніторингу. Критерієм порівняння наявних алгоритмів синтезу моделей є характеристики результатів моделювання.

Зміст етапу оперативного перетворення інформації.

1. Визначається оперативна задача.
2. Впродовж останнього часового періоду формується масив результатів спостережень відповідно переліку показників, визначених на підготовчому етапі. Відповідно до оперативної задачі результати спостережень перетворюються у масив вхідних даних.
3. На вхід елементів нижнього рівня подається масив вхідних даних.
4. На виході останнього рівня отримуються інтегральні характеристики стану пожежної безпеки даної території.
5. Проводиться експертна оцінка отриманих результатів.

Результати надаються особі, що приймає рішення, для формування керуючих впливів із управління станом пожежної безпеки даної території.

4. Інформаційна система багаторівневого моніторингу пожежної безпеки

На рис. 2 подана структура інформаційної системи, яка цю технологію реалізує [1].

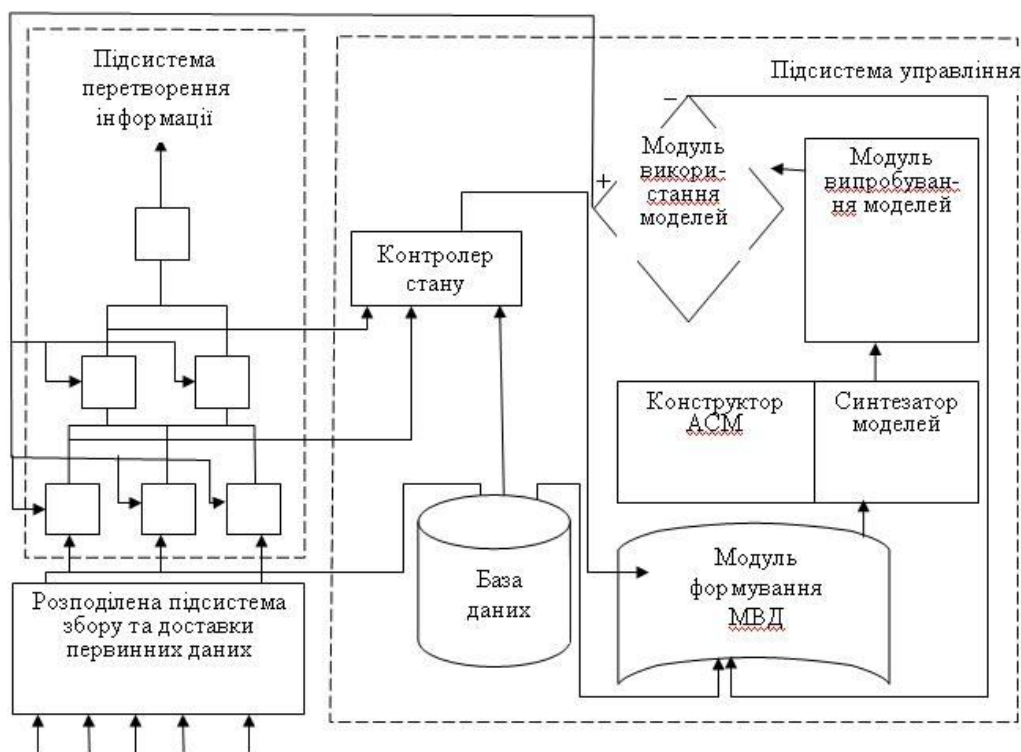


Рис. 2. Структура інформаційної системи

В залежності від поставленої задачі за допомогою інструментарію модуля формування МВД з бази даних відбираються перелік показників, інформативність яких забезпечує розв'язання глобальної

задачі МІС за Месаровичем [2] шляхом ієрархічного поєднання локальних моделей, що використовуються в якості локальних алгоритмів перетворення інформації (АПІ). Сформований таким чином МВД

подається на вхід синтезатора моделей, який знаходить форму відображення множини характеристик стану пожежної безпеки $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ на множини характеристик втрат від надзвичайних ситуацій $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ у вигляді множини багатопараметричних моделей $F = \{f_1, f_2, \dots, f_l\}$:

$$F: X \rightarrow Y. \quad (6)$$

Ці залежності отримуються за допомогою АСМ, побудованих за базовими алгоритмами МГУА, їх похідними та гібридними алгоритмами на їх основі, нейромереж, генетичних алгоритмів, інших еволюційних алгоритмів, імітаційними, статистичними, математичними та іншими „традиційними” методами.

Модуль випробування призначений для оцінювання характеристик точності, адекватності та стійкості моделей при їх використанні на тестуючих масивах даних. Оцінюються результати моделювання, визначається придатність моделі та межі для її подальшого використання, приймається рішення про наступні етапи моделювання. За умови, коли значення цих характеристик не гірше наперед заданих, вважається, дана модель може бути використана в якості АПП. Вона подається на вхід модуля використання моделей.

Модуль використання моделі надає користувачеві інструментарій для автоматизованої підстановки чисельних значень параметрів моделювання в модель та інтерпретації результатів моделювання.

5. Результати моніторингу

З метою забезпечення реалізації першого етапу інформаційної технології багаторівневого моніторингу пожежної безпеки (ІТБМПБ) використовувались результати моніторингу стану пожежної безпеки 718 адміністративних територій України впродовж 2000-2013 років. В табл. 1 подано перелік показників, значення яких використовувались в МВД.

В результаті реалізації першого та другого етапів інформаційної технології отримується діаграма впливовості факторів, яка враховує всі особливості виникнення надзвичайних ситуацій в державі в цілому. Впливовість факторів визначається за результатами дослідження глобальної функції системи на чутливість до зміни значення показників МВД [9]:

$$W_i = \left(\frac{F'_i}{\sum_{i=1}^n F'_i} \right) \cdot 100\%, \quad (7)$$

де W_i – ваговий коефіцієнт i -ї змінної моделі; F'_i – частинна похідна моделі за i -ю змінною; n – кількість показників вхідного масиву даних, які ввійшли до структури глобальної функції. Досліджуючи динаміку значень вагових коефіцієнтів, з'являється можливість відслідковувати зміну впливовості факторів [10]. Це може бути одним із критеріїв об'єктивного оцінювання результатів діяльності територіальних підрозділів МНС впродовж останнього проміжку часу.

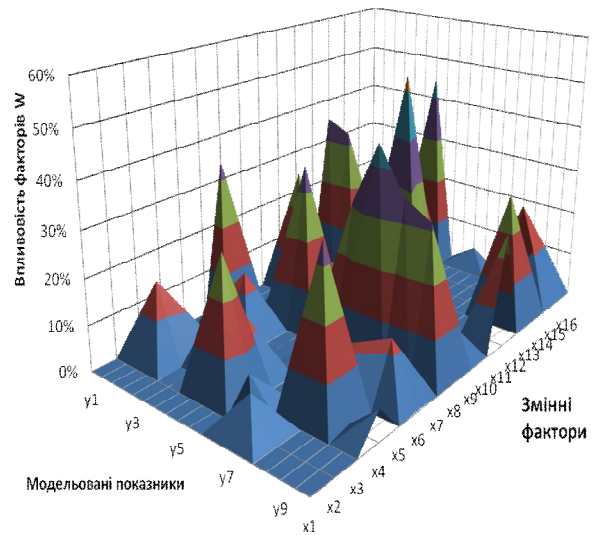


Рис. 3. Діаграма впливовості

Таблиця 1

Показники МВД

№ з/п	Назва показника	Змінна
1	Збитки прямі	у ₁
2	Збитки побічні (тис.грн.)	у ₂
3	Загинуло людей	у ₃
4	Травмовано осіб	у ₄
5	Знищено, пошкоджено будівель, споруд (од.)	у ₅
6	Знищено, пошкоджено техніки (од.)	у ₆
7	Загинуло тварин (голів)	у ₇
8	Знищено кормів (тон)	у ₈
9	Кількість пожеж на сільсько-господарських угіддях	у ₉
10	Врятовано матеріальних цінностей (тис. грн.)	у ₁₀
11	Назва регіону	х ₁
12	Назва району (підрозділу)	х ₂
13	Рік	х ₃
14	Кількість пожеж	х ₄
15	Приймало участь у гасінні, осіб	х ₅
16	Приймало участь у гасінні керівників, осіб	х ₆
17	Використовувалось при гасінні одиниць техніки	х ₇
18	Використовувалось при гасінні стволів	х ₈
19	Підпали	х ₉
20	Несправність виробничого обладнання	х ₁₀
21	Порушення правил улаштування та експлуатації електроустановок	х ₁₁
22	Порушення правил улаштування та експлуатації печей	х ₁₂

Закінчення табл. 1

№ з/п	Назва показника	Змінна
23	Необережне поводження з вогнем	X ₁₃
24	Пустощі дітей з вогнем	X ₁₄
25	Порушення правил пожежної безпеки при експлуатації газових, гасових, та бензинових приладів	X ₁₅
26	Інша причина	X ₁₆

Висновки

Удосконалення існуючої системи державного моніторингу пожежної безпеки із мінімальними фінансовими затратами можливо досягнути за рахунок удосконалення процесів обробки результатів моніторингу. Низька інформативність МВД висуває додаткові умови до адаптації діючої методології створення інформаційних систем багаторівневого моніторингу до предметної області моніторингу пожежної безпеки.

Для цього необхідно реалізувати інформаційну технологію пожежного моніторингу у вигляді автоматизованої системи з багаторівневим перетворенням інформації. Описана інформаційна технологія багаторівневого моніторингу пожежної безпеки, поданий приклад її реалізації у вигляді інформаційної системи, описані процеси синтезу моделей характеристик стану пожежної безпеки та використання результатів моніторингу в процесі прийняття рішень із управління станом пожежної безпеки на різних рівнях моніторингу.

Запропоновано використовувати результати моніторингу при планування діяльності підрозділів МНС на наступний рік із врахуванням результатів їх діяльності минулого року. Описано також використання методу кластеризації точок спостереження в МВД з метою виявлення типових для даної адміністративної території факторів, що спричиняють надзвичайні ситуації з метою профілізації підготовки підрозділів МНС та їх технічного забезпечення.

Список літератури

1. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Тахакара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
2. Голуб С.В. Координація взаємодій локальних агрегатів в структурі систем багаторівневого перетворення моніторингової інформації / С.В. Голуб // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 6(136). – Ч. 1. – С. 325-329.
3. Голуб С.В. Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу навколишнього середовища: монографія / С.В. Голуб. – Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2007. – 220 с
4. Иванова В.М. Математическая статистика / В.М. Иванова, В.Н. Калинина, Л.А. Неумова, И.О. Решетникова. – М.: Высш. школа, 1981. – 371 с.
5. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с.
6. Литвинов В.В. Об'єктно-орієнтоване моделювання при проектуванні вбудованих систем і систем реального часу / В.В. Литвинов, С.В. Голуб, К.М. Григор'єв, В.Ю. Жигульська. – Черкаси: Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького. – 2011. – 379 с.
7. Голуб С.В. Методологія створення автоматизованих систем багаторівневого соціоекологічного моніторингу: автореф. дисс... на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.06 „Інформаційні технології” / С.В. Голуб. – К., 2008. – 36 с.
8. Голуб С.В. Принципи проектування багаторівневих технологій інформаційного моделювання / С.В. Голуб // Вісник інженерної академії України. – 2007. – № 1. – С. 28-34.
9. Дендаренко В.Ю. Оцінка впливовості причин виникнення пожеж за результатами досліджень індуктивних моделей / В.Ю. Дендаренко // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ДП «ЦНДІ НГУ», 2010. – Вип. 4 (16). – С. 243-245.
10. Голуб С.В. Структуризація масивів вхідних даних в інформаційній технології оперативного моніторингу пожежозахисних / С.В. Голуб, І.В. Бурляй // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 5 (64). – С. 23-30.

Надійшла до редколегії 17.02.2014

Рецензент: д-р техн. наук В.В. Литвинов, Чернігівський національний технічний університет, Чернігів.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В.Ф. Гречанинов

Разработана новая модель процесса мониторинга пожарной безопасности, которая предусматривает применение существующих баз данных с обработкой информации на всех уровнях управления. Анализируется общая схема процесса обработки информации и принятия решений по ЧС на основе использования компьютерных технологий, оценена вероятность ее отказа по методологии вероятностного анализа.

Ключевые слова: мониторинг, пожарная безопасность, превращение информации, информационная система.

BASIC LINES OF TECHNOLOGY OF MONITORING OF FIRE SAFETY

V.F. Grechaninov

The new model of fire safety monitoring process is developed that used the existing data bases with data treatment at all stages of management. The general scheme of information processing and decision making at the safety management process based on computer technologies is analyzed. The probability of this scheme fault is estimated using probability safety analysis method.

Keywords: monitoring, fire safety, transformation of information, informative system.