

*Дендаренко В.Ю., к.т.н., Дендаренко Ю.Ю., к.т.н., доц.
Черкаський інститут пожежної безпеки
ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України*

МЕТОД АДАПТИВНОГО ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ НАГЛЯДУ У СФЕРІ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

З метою підвищення якості перетворення моніторингової інформації в автоматизованих системах нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки запропоновано, при формуванні багаторівневої структури підсистеми перетворення інформації, заснованої на принципах стратифікації, проводити корекцію переліку задач, які розв'язуються кожною стратою окремо та результати яких інтегруються в єдиний показник впливовості факторів на стан пожежної безпеки об'єкта моніторингу. Корекція переліку задач, що проводиться за результатами порівняння характеристик результатів моделювання одного і того ж показника за масивом вхідних даних попередньої та наступної страти, дозволила знизити значення критерію регулярності вихідних сигналів.

Для досягнення поставленої мети необхідно забезпечити координованість розв'язку локальних задач перетворення інформації шляхом створення моделей об'єктів нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки відповідного рівня з метою створення глобальної функції перетворення інформації, яка б забезпечувала розв'язання глобальної задачі системи. Задача зводиться до створення методу формування структури підсистеми перетворення інформації, який би забезпечував розв'язання глобальної задачі системи шляхом синтезу глобальної функції перетворення інформації в умовах існуючої системи нагляду у сфері пожежної безпеки.

На основі отриманих результатів запропоновано новий метод адаптивного формування структури інформаційної системи нагляду у сфері пожежної та техногенної безпеки, який передбачає висхідний синтез локальних агрегатів та відрізняється від існуючих використанням процедури корекції переліку задач, які розв'язуються кожною стратою за результатами порівняння характеристик результатів моделювання одного і того ж показника за масивом вхідних даних попередньої та наступної страти. Ефективність нового методу підтверджено експериментально.

Ключові слова: пожежна безпека, інформаційні технології, інформативні сигнали, інформаційна достатність.

Вступ

Одним із напрямків застосування інформаційних систем в технологіях нагляду у сфері пожежної безпеки є підвищення ефективності профілактичних заходів за рахунок врахування результатів цієї роботи в процесі її планування. Для оцінки результатів профілактики пожеж застосовують безмодельні методи обробки даних, рідше – традиційні методи статистичного моделювання – регресію із визначенням коефіцієнтів за методом найменших квадратів. За умов, коли закон розподілу показників об'єктів пожежного нагляду відрізняється від нормального, можливості застосування цих методів обмежені. Крім того, використання окремих методів моделювання на певних етапах протипожежного нагляду не в змозі якісно вплинути на ефективність заходів із профілактики пожеж. Тому проведення досліджень із поєднання всіх засобів автоматизації процесів обробки інформації в автоматизовану систему моніторингу на основі технологій багаторівневого перетворення інформації є актуальним.

Характеристика проблеми

Широкого впровадження інформаційних систем моніторингу, які пов'язують в єдину структуру всі етапи забезпечення інформацією процесу прийняття рішень при плануванні профілактичних заходів, на даний час не відбувається. Причиною цьому є значна зашумленість масиву вхідних даних та обмежені можливості науково-методичного апарату — методів та засобів багатопараметричної обробки результатів Державного нагляду у сфері пожежної безпеки та методів побудови інформаційних систем із розвиненою ієрархічною структурою, які автоматизують цей процес та забезпечують системний ефект.

При застосуванні сучасних технологій проектування інформаційних моніторингових систем виникає проблема врахування особливостей діючої системи пожежного нагляду. Необхідно розробити спеціальні методи адаптації структури цих систем до зміни інформативності масиву вхідних даних.

Інформаційний огляд

На сьогодні інформаційні технології є однією із самих динамічних галузей наук. Кожні 2-3 роки з'являються нові технології перетворення даних, які дозволяють докорінно перебудувати процес моніторингу, підвищивши якість отриманої інформації, при цьому знижуються витрати часових та фінансових ресурсів. Однією з таких є технологія створення автоматизованих систем багаторівневого соціоекологічного моніторингу (ТСАСБСЕМ) [1].

Технологія моніторингу створюється у вигляді автоматизованої системи багаторівневого перетворення інформації, побудованої на ієрархічному поєднанні індуктивних моделей [2] із періодичним калібруванням цих моделей за допомогою зовнішніх даних. Структура підсистеми перетворення інформації формується за методом висхідного синтезу моделей [3], що дозволяє ефективно вирішувати задачу координації елементів цієї структури за рахунок подальшого розвитку теорії ієрархічних багаторівневих систем [4].

Застосування теорії управління ієрархічними багаторівневими системами М.Д. Месаровича [4] разом із агрегатними підходами до проектування складних систем М.П. Бусленка [5] дозволяє використовувати можливості індуктивних методів моделювання для синтезу ієрархічних структур перетворення інформації [6].

При застосуванні ТСАСБСЕМ у новій галузі, кожного разу необхідно розв'язувати наукову задачу адаптації процесу формування структури інформаційної системи до особливостей формування масиву вхідних даних діючою системою моніторингу.

Постановка задачі

Метою цієї роботи є створення адаптивного методу формування структури інформаційної системи пожежного нагляду.

Необхідно забезпечити координованість розв'язку локальних задач перетворення інформації шляхом створення моделей об'єктів пожежного нагляду відповідного рівня з метою створення глобальної функції перетворення інформації, яка б забезпечувала розв'язання глобальної задачі системи:

$$(\exists \gamma) (\exists x) [P(x, D_i(\gamma)), \&P(Z(x), D_n)], \quad (1)$$

де γ – стратегія координації локальних задач перетворення інформації;

x – вхідні дані;

$D_i(\gamma)$ – множина локальних задач перетворення інформації, які вирішуються відповідно до стратегії γ ;

$Z(x)$ – глобальна функція перетворення інформації;

D_n – глобальна задача системи.

Глобальною задачею системи пожежного нагляду D_n є забезпечення якісною інформацією процесу прийняття рішень. Рішення буде прийматись в умовах визначеності, коли відомі наслідки реалізації кожного із n заходів із профілактики пожеж.

Глобальна функція перетворення інформації $Z(x)$ реалізується шляхом формування багаторівневої структури автоматизованої системи Державного нагляду у сфері пожежної безпеки.

Локальною задачею перетворення інформації $D_i(\gamma)$ є побудова функціональної залежності i -ї характеристики пожеж від характеристик причин, що їх викликають.

Координація локальних задач — це спосіб формування зв'язків між елементами нижнього рівня – показниками масиву вхідних даних.

Стратегія координації локальних задач перетворення інформації γ - це метод формування структури підсистеми перетворення інформації.

Задача зводиться до створення методу формування структури підсистеми перетворення інформації γ , який би забезпечував розв'язання глобальної задачі системи D_n шляхом синтезу глобальної функції перетворення інформації $Z(x)$ в умовах існуючої державної системи Державного нагляду у сфері пожежної безпеки.

Інформаційний опис об'єкта

Основним джерелом невизначеності в даному випадку є відсутність достовірної інформації про комплексний вплив профілактичних заходів на пожежонебезпечні характеристики об'єкта. Знизити невизначеність можливо, дослідивши результати комплексних профілактичних заходів, проведених протягом минулого періоду часу.

Таким чином необхідно здобути інформацію для порівняння стратегій управління пожежною безпекою, тобто планів профілактичних заходів. Відповідно положень теорії дослідження операцій [7], стратегія – це спосіб розподілу ресурсів, що забезпечує досягнення мети. Тому інформація, яку необхідно отримати на виході систем протипожежного моніторингу, повинна забезпечити ефективний розподіл ресурсів, що дозволить знизити кількість пожеж на території України наступного року в порівнянні з роком минулим. Показник ефективності даної інформаційної системи розраховується відповідно виразу [4]:

$$E = \frac{\Delta N}{R}, \quad (2)$$

де ΔN – різниця між збитками від пожеж наступного та попереднього року;

R – кількість ресурсів, витрачених на профілактику пожеж попереднього року.

У відповідності до методології побудови систем багаторівневого соціоекологічного моніторингу [8] був створений інформаційний опис об'єкта моніторингу.

Вхідний масив даних містить характеристики факторів, що впливають на кількість пожеж та загорянь. Інформаційна система повинна забезпечити особу, що приймає рішення (ОПР), інформацією про впливовість кожного із факторів. На основі цієї інформації ОПР повинна мати можливість ефективно розподілити ресурси в рамках виконання заходів, визначених нормативними документами у сфері пожежної безпеки.

В таблиці 1 поданий перелік показників, які формують первинний опис об'єктів Державного нагляду у сфері пожежної безпеки.

Таблиця 1

Характеристики вхідного масиву даних об'єктів Державного нагляду у сфері пожежної безпеки

Характеристика	Змінна
1. Час, рік	x_1
2. Місце	x_2
3. Населення, млн. осіб	x_3

4. Підпали, випадків	x_4
5. Несправність виробничого обладнання, випадків	x_5
6. Порухення правил улаштування та експлуатації електроустановок, випадків	x_6
7. Порухення правил улаштування та експлуатації печей, випадків	x_7
8. Необережне поводження з вогнем, випадків	x_8
9. Пустощі дітей з вогнем, випадків	x_9
10. Штат пожежної техніки	x_{10}
11. Наявність пожежної техніки	x_{11}
12. Укомплектованість пожежної техніки/100, %	x_{12}
13. До 3 років пожежної техніки, одиниць	x_{13}
14. Від 3 до 6 років пожежної техніки, одиниць	x_{14}
15. Від 6 до 10 років пожежної техніки, одиниць	x_{15}
16. Від 10 до 20 років пожежної техніки, одиниць	x_{16}
17. Від 20 до 30 років пожежної техніки, одиниць	x_{17}
18. Понад 30 років пожежної техніки, одиниць	x_{18}
19. Підлягає заміні з урахуванням некомплекту пожежної техніки, одиниць	x_{19}
20. Пошкоджено будівель, одиниць	y_1
21. Знищено, пошкоджено техніки, одиниць	y_2
22. Загинуло тварин, голів	y_3
23. Кількість пожеж та загорянь у житловому секторі, випадків	y_4
24. Збитки прямі у житловому секторі (тис.грн.)	y_5
25. Збитки побічні у житловому секторі (тис.грн.)	y_6
26. Загинуло людей внаслідок пожежі у житловому секторі всього, осіб	y_7
27. Загинуло людей внаслідок пожежі у житловому секторі дітей, осіб	y_8
28. Кількість пожеж та загорянь на підприємствах, організаціях, закладах, випадків	y_9
29. У тому числі пожеж на підприємствах, організаціях, закладах, випадків	y_{10}
30. З них на об'єктах загальнодержавної власності, випадків	y_{11}
31. З них на об'єктах права комунальної власності, випадків	y_{12}
32. З них на об'єктах приватної власності, випадків	y_{13}
33. З них на суб'єктах права колективної власності, випадків	y_{14}
34. З них на об'єктах із змішаною власністю, випадків	y_{15}
35. Збитки прямі, тис.грн.	z_1
36. Збитки побічні, тис.грн.	z_2
37. Загинуло внаслідок пожежі всього, осіб	z_3
38. Загинуло внаслідок пожежі дітей, осіб	z_4
39. Травмовано, осіб	z_5

Глобальна функція [4] інформаційної системи протипожежного моніторингу описується відображенням множини характеристик впливаючих факторів X на множину вагових коефіцієнтів цих факторів W відповідно виразу (2):

$$\pi: X \rightarrow W, \quad (3)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ – множина характеристик впливаючих факторів;

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ – множина вагових коефіцієнтів факторів, що впливають на характеристики пожеж та загорянь.

Складність завдання реалізації такого відображення переважає можливості наявного науково-методичного апарату. Тому для реалізації даної інформаційної системи застосовується декомпозиція глобальної функції системи (2).

Результатом є сукупність задач, серед яких можна виділити три рівні перетворення інформації. Метою першого рівня є отримання залежності характеристик пожеж, що відбулися в окремих галузях, від характеристик впливаючих факторів. Відповідно таблиці 1 вхідний масив даних містить елементи множини $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{19}\}$ за відповідний період часу. На виході – елементи множини $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{16}\}$. Метою другого рівня перетворення інформації є визначення залежності загальних характеристик пожеж, поданих в таблиці 1 елементами множини $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_5\}$, від характеристик пожеж за галузями, поданих елементами множини Y . Метою третього рівня перетворення інформації є визначення значимості кожного із впливаючих факторів.

Таким чином, на перших двох рівнях перетворення інформації послідовно розв'язується задача ідентифікації функціональних залежностей:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m), \quad (4)$$

$$Z = f(y_1, y_2, \dots, y_k), \quad (5)$$

де $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_k\}$ – множина характеристик пожеж за галузями;

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_s\}$ – множина загальних характеристик пожеж.

Масив вхідних даних має вигляд матриці (4):

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} & y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1k} & z_{11} & z_{12} & \dots & z_{1s} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} & y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2k} & z_{21} & z_{22} & \dots & z_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{lm} & y_{l1} & y_{l2} & \dots & y_{lk} & z_{l1} & z_{l2} & \dots & z_{ls} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

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

На третьому рівні необхідно виявити впливовість кожного із факторів на характеристики пожеж. За результатами досліджень чутливості функціональних залежностей (5), отриманих на нижньому рівні, розраховуються вагові коефіцієнти впливаючих факторів, які характеризуються даними множини X .

В залежності від кількості сигналів, моделі яких треба отримати, визначається кількість елементів першого рівня перетворення інформації. Відповідно таблиці 1 їх 16 (y_1 - y_{16}). Таким чином, на першому рівні перетворення інформації необхідно розв'язати 16 задач ідентифікації функціональних залежностей (4) кожного елемента масиву Y від елементів масиву вхідних даних X . На другому рівні перетворення інформації необхідно розв'язати 5 задач ідентифікації функціональних залежностей (5) кожного елемента масиву Z (z_1 - z_5 відповідно таблиці 1) від елементів масиву вхідних даних Y . На третьому рівні необхідно розв'язати задачу дослідження отриманих моделей попереднього рівня на чутливість до зміни значення показників масиву даних X шляхом розрахунку їх вагових коефіцієнтів відповідно виразу (7) [9]:

$$W_i = \frac{Z'_i}{\sum_{i=1}^m Z'_i} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де W_i – ваговий коефіцієнт i -го параметра моделі;

Z'_i – частинна похідна моделі другого рівня перетворення інформації за i -м параметром;

m – кількість показників вхідного масиву даних, які стали параметрами моделей.

Із визначенням кількості рівнів перетворення інформації, задач, які розв'язуються на кожному рівні та визначенням вигляду інформації на вході і на виході кожного з рівнів інформаційний опис об'єкта вважається завершеним [8].

Формування структури інформаційної системи

Наступним етапом є формування структури інформаційної системи. На рис. 1 подана функціональна схема перетворення інформації, на основі якої формується структура цієї системи. Вона проектується шляхом стратифікації інформаційного опису об'єкта. Кожен рівень перетворення інформації подається у вигляді окремої страти, в яку поєднуються агрегати, що розв'язують локальні задачі функціональних перетворень. Мікрострата формується на основі агрегатів, що розв'язують локальні задачі першого рівня перетворення інформації, макрострата – на основі агрегатів для розв'язку задач другого рівня, метастрата – поєднує агрегати третього рівня перетворення інформації.

Трирівнева структура підсистеми перетворення інформації реалізується у вигляді ієрархічного поєднання страт. Вихідні сигнали агрегатів нижньої страти подаються на вхід агрегатів вищої страти, утворюючи таким чином вертикальну багаторівневу структуру.

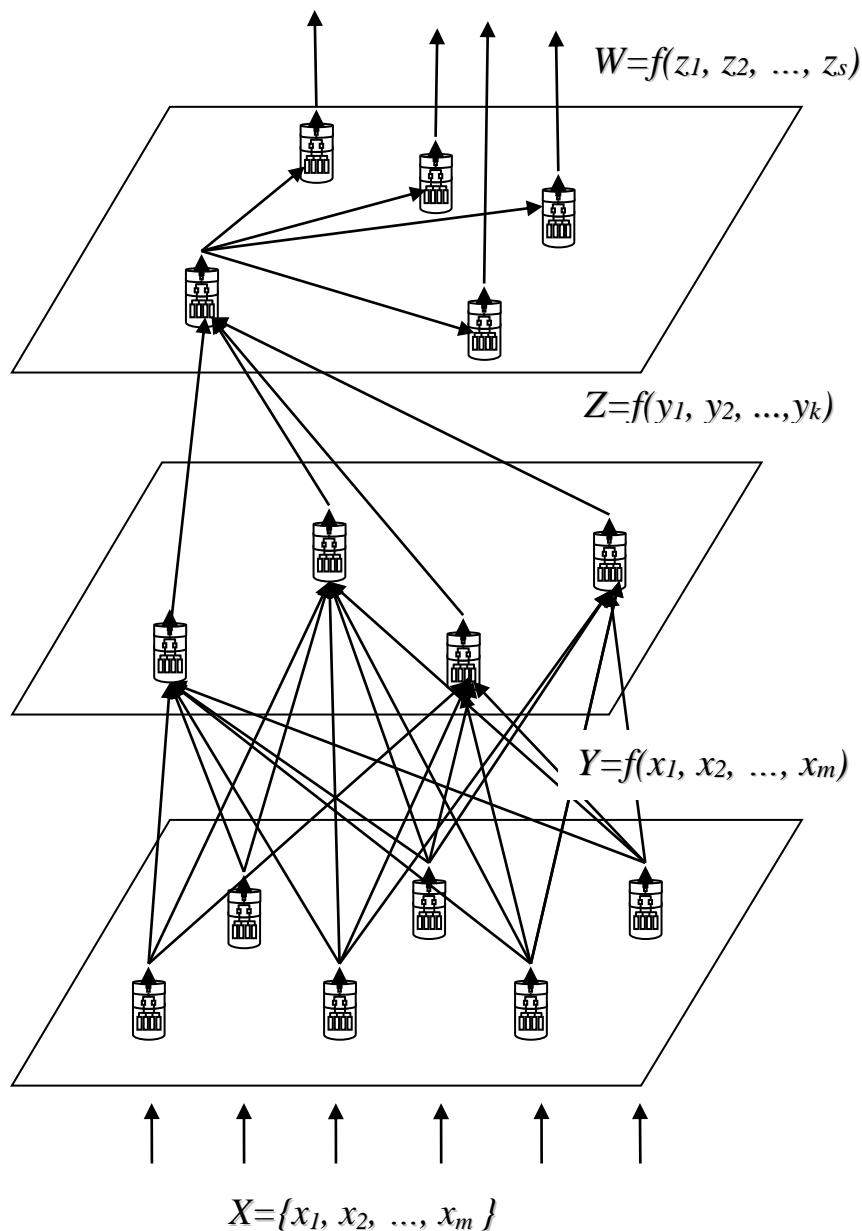


Рис. 1. Ієрархія перетворення інформації

Агрегатами є програмно реалізовані функціональні залежності вигляду (3,4) або ж, іншими словами — моделі [8] об'єктів Державного нагляду у сфері пожежної безпеки та засоби забезпечення їх функціонування. Міжрівневі зв'язки цієї структури формуються за методом висхідного синтезу локальних агрегатів [3].

Синтез моделей, які використовувались як елементи агрегатів першої та другої ступеня, проводився за багаторядним алгоритмом МГУА [2].

Для визначення процедури формування структури підсистеми перетворення інформації в даній роботі проведено дослідження результатів моделювання об'єктів, що є елементами мікро- та макрострати.

В процесі першого формування структури підсистеми перетворення інформації уточнюється елементний склад вихідних сигналів, які будуть отримуватись на виході кожної із страт. З цією метою досліджувались характеристики моделей макрострати, синтезованих на основі вхідних сигналів мікрострати, тобто показників, що позначені змінними множини X відповідно таблиці 1, та характеристики моделей, синтезованих на основі вихідних сигналів мікрострати, тобто показників, що позначені в цій же таблиці змінними множини Y .

В якості характеристики якості моделей використано критерій регулярності [2] – середнє квадратичне відхилення результатів моделювання від результатів спостережень на окремій послідовності даних, що не приймали участі у синтезі моделей.

В таблиці 2 подані результати цих досліджень.

Табл. 2

Характеристики моделей макрострати

Показник	Змінна	За масивом X	За масивом Y	За масивом $Y+z_3$
1. Збитки прями (тис.грн.)	z_1	1347,81	770,99	521,42
2. Збитки побічні (тис.грн.)	z_2	5514,70	3824,80	2949,14
3. Загинуло внаслідок пожежі в Україні всього	z_3	40,46	99,35	—
4. Загинуло внаслідок пожеж і в Україні дітей	z_4	3,44	2,95	1,91

Результати досліджень дозволяють стверджувати, що покращення критерію регулярності моделей, отриманих на другому рівні перетворення інформації, відбувається не завжди. В досліджуваних умовах при моделюванні змінних z_1, z_2, z_4 значення критерію регулярності зменшується в межах від 14% до 43%, що говорить про підвищення якості перетвореної інформації. При моделюванні змінної z_3 значення критерію регулярності зростає, що свідчить про погіршення якості моделі. Тому доцільно показник z_3 застосувати на першому рівні перетворення інформації, змінивши таким чином перелік модельованих показників на рівні мікро- та макро- страт.

Оскільки використання показника z_3 на мікростраті приводить до зміни структури підсистеми перетворення інформації, було проведено повторний синтез моделей макрострати за вхідним масивом даних, що містить множину показників Y та показник z_3 . Останній стовпчик таблиці 2 містить характеристики моделей, синтезованих за цим масивом даних. У всіх випадках якість моделей покращилась. Порівняно із моделями, синтезованими за масивом Y без показника z_3 , значення критерію регулярності зменшилось в межах від 23% до 35%. При цьому перелік задач, що розв'язуються кожною стратою, корегується за адаптивним алгоритмом.

Збільшення кількості інформативних сигналів у вигляді моделей об'єктів попереднього рівня, що звичайно приводить до підвищення якості перетвореної інформації, в даному випадку може тягнути за собою зниження адекватності моделей. Причиною цього є недостатня стійкість цих моделей, що викликана зашумленістю вхідних даних. Зниження впливу зашумленості масиву вхідних даних в даному випадку досягається завдяки застосуванню адаптивного методу формування структури підсистеми перетворення інформації. Перелік задач, що розв'язуються кожною із страт, корегуються за результатами порівняння характеристик моделювання одного і того ж показника за масивом вхідних даних попередньої та наступної страти.

Агрегати макрострати розв'язують задачу визначення впливовості факторів, що відображені у вхідному масиві даних показниками множини X . Впливовість факторів оцінюється за їх ваговими коефіцієнтами W , розрахованими за результатами дослідження моделей мікро- та макро- страт відповідно виразу (7).

Результати нагляду у сфері пожежної безпеки, подані у вигляді показників впливовості причин, що викликають пожежі, дозволяє формувати план профілактичних заходів із врахуванням результатів цієї роботи.

Висновки

На прикладі проектування інформаційної системи Державного нагляду у сфері пожежної безпеки досліджені особливості застосування технології створення автоматизованих систем багаторівневого соціоекологічного моніторингу при конструюванні інформаційних систем в даній галузі.

Запропонований новий метод адаптивного формування структури підсистеми багаторівневого перетворення інформації, який передбачає висхідний синтез локальних агрегатів та відрізняється від існуючих використанням процедури корекції переліку задач, які розв'язуються кожною стратою за результатами порівняння характеристик результатів моделювання одного і того ж показника за масивом вхідних даних попередньої та наступної страти. Це дозволяє знизити вплив зашумленості масиву вхідних даних на якість перетвореної інформації за рахунок адаптації структури до властивостей масиву вхідних даних.

Експериментально підтверджено, що корекція переліку задач, що проводиться за результатами порівняння характеристик результатів моделювання одного і того ж показника за масивом вхідних даних попередньої та наступної страти, дозволила знизити значення критерію регулярності вихідних сигналів на 23% - 35%.

Перелік посилань

1. Голуб С.В. Застосування агрегатного підходу до моделювання структури інформаційних технологій соціо–екологічного моніторингу / С.В. Голуб // Вісник інженерної академії України. – 2007. – № 3-4. – С. 93-97.
2. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. – К. : Наук. думка, 1981. – 296 с.
3. 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). – Частина 1. – С. 325-329.
4. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Тахакара. – М. : Мир, 1973. – 344 с.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем / Бусленко Н.П. – М.: Наука, 1968. – 356 с.
6. Голуб С.В. Методологія створення автоматизованих систем багаторівневого соціоекологічного моніторингу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук : спец. 05.13.06 „Інформаційні технології” / С.В. Голуб. — Київ, 2008. — 36, [1,8] с.
7. Таха Х.А. Введение в исследование операций, 6-е издание.: Пер. С англ. / Х.А. Таха. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.– 916 с.
8. Голуб С.В. Багаторівневе моделювання в технологіях моніторингу оточуючого середовища / С.В. Голуб. – Черкаси: Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2007. – 218 с.
9. Голуб С.В. Принцип проектування багаторівневих технологій інформаційного моделювання // Вісник інженерної академії України – 2007. – № 1.– С. 28-34.

REFERENCES

1. Holub S.V. Zastosuvannia ahrehatnoho pidkholdu do modeliuvannia struktury informatsiinykh tekhnolohii sotsio–ekolohichnoho monitorynhu / S.V. Holub // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy. – 2007. – № 3-4. – S. 93-97.

2. Ivakhnenko A.G. Induktivnyy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem / A.G. Ivakhnenko. – K. : Nauk. dumka, 1981. – 296 s.
3. Holub S.V. Koordynatsiia vzaiemodii lokalnykh ahrehativ v strukturi system bahatorivnevoho peretvorennia monitorynhovoi informatsii / S.V. Holub // Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. – 2009. – № 6(136). – Chastyna 1. – S. 325-329.
4. Mesarovich M. Teoriya ierarkhicheskikh mnogourovnevykh sistem / M. Mesarovich, D. Mako, I. Takhakara. – M. : Mir, 1973. – 344 s.
5. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnykh sistem / Buslenko N.P. – M.: Nauka, 1968. – 356 s.
6. Holub S.V. Metodolohiia stvorennia avtomatyzovanykh system bahatorivnevoho sotsioekolohichnoho monitorynhu: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia dokt. tekhn. nauk : spets. 05.13.06 „Informatsiini tekhnolohii” / S.V. Holub. — Kyiv, 2008. — 36, [1,8] s.
7. Takha Kh.A. Vvedenie v issledovanie operatsiy, 6-e izdanie.: Per. S angl. / Kh.A. Takha. – M.: Izdatelskiy dom «Vilyams», 2001.– 916 s.
8. Holub S.V. Bahatorivneve modeliuvannia v tekhnolohiiakh monitorynhu otochuiuchoho seredovyshcha / S.V. Holub. – Cherkasy: Vyd. vid. ChNU imeni Bohdana Khmelnytskoho, 2007. – 218 s.
9. Holub S.V. Pryntsyp proektuvannia bahatorivnevykh tekhnolohii informatsiinoho modeliuvannia // Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – 2007. –№ 1.– S. 28-34.