

## ФОРМУВАННЯ КРИТЕРІЮ ВІДБОРУ ІНФОРМАТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТІВ МОДЕЛЮВАННЯ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ БАГАТОРІВНЕВОГО МОНІТОРИНГУ

**Abstract:** It is shown that integrity is one of descriptions of signs of object which influences on quality of synthesis of model structure. The method of research of influencing of this property of parameters is described on the process of reflection of properties of objects in the structure of informative models. The coincidence criteria of informing signs are developed and experimentally explored and the approaches to their forming are described. Efficiency of application of the offered criteria is experimentally confirmed for the selection of informing parameters of design and avoidance of redefined of objects in the informative systems of the multilevel monitoring. On the example of the use of coefficient of grade correlation and standard deviation the features of forming criteria of ceiling of informing signs are explored. At diminishing of level of ceiling after the developed criterion on 1 the index of quality of models gets better on 16–25 %.

**Key words:** model, parameters, criteria, compatibility, informing, synthesis, monitoring, adequacy.

**Анотація:** Виявлено, що суміщеність є однією із характеристик ознак об'єкта, які використовуються як параметри моделювання, що впливає на якість синтезу структури моделі. Описано метод дослідження впливу цієї властивості параметрів на процес відображення властивостей об'єктів у структурі інформаційних моделей. Розроблені та експериментально досліджені критерії суміщеності інформативних ознак та описані підходи до їх формування. Експериментально підтверджена ефективність застосування запропонованих критеріїв для відбору інформативних параметрів моделювання та уникнення перевизначеності об'єктів в інформаційних системах багаторівневого моніторингу. На прикладі використання коефіцієнта рангової кореляції та середнього квадратичного відхилення досліджені особливості формування критеріїв суміщеності інформативних ознак. При зменшенні рівня суміщеності за критерієм суміщеності на 1 показник якості моделей покращується на 16–25 %.

**Ключові слова:** модель, параметри, критерії, суміщеність, інформативність, синтез, моніторинг, адекватність.

**Аннотация:** Показано, что совмещенность является одной из характеристик признаков объекта, которая влияет на качество синтеза структуры модели. Описан метод исследования влияния этого свойства параметров на процесс отображения свойств объектов в структуре информационных моделей. Разработаны и экспериментально исследованы критерии совмещенности информативных признаков и описаны подходы к их формированию. Экспериментально подтверждена эффективность применения предложенных критериев для отбора информативных параметров моделирования и избежания переопределенности объектов в информационных системах многоуровневого мониторинга. На примере использования коэффициента ранговой корреляции и среднего квадратичного отклонения исследованы особенности формирования критериев совмещенности информативных признаков. При уменьшении уровня совмещенности за разработанным критерием на 1 показатель качества моделей улучшается на 16–25 %.

**Ключевые слова:** модель, параметры, критерии, совмещенность, информативность, синтез, мониторинг, адекватность.

### 1. Вступ

Створення умов для покращання здоров'я населення вимагає підвищення ефективності управління техногенним навантаженням довкілля. Управління рівнем забруднення довкілля реалізується комплексом заходів, який зветься технологією застосування керуючих впливів. За результатами моніторингу залежності рівня захворюваності населення від вмісту шкідливих речовин у воді, повітрі, продуктах харчування, на інших об'єктах оточуючого середовища визначають, який із забруднювачів має найбільший вплив на рівень захворюваності.

Об'єктом соціо-екологічного моніторингу є захворюваність населення при відомому вмісті техногенних забруднювачів в об'єктах довкілля. Для отримання інформації про реакцію соціо-екологічного об'єкта на застосування комплексу керуючих впливів застосовується інформаційна технологія багаторівневого моніторингу. Моніторинг організовується на мікро-, макро- та метарівнях [1].

Структура багаторівневого моніторингу містить технічні засоби перетворення інформації про об'єкти відповідного рівня, транспортування, зберігання та використання цієї інформації. В інформаційній системі соціо-екологічного моніторингу „Сова” [2], яка використовується в Черкаській області, для передачі та зберігання інформації про концентрацію техногенних забруднювачів і рівень захворюваності населення використовується мережа Internet та мережева база даних, розміщена на сайті за адресою: <http://www.cdu.edu.ua>.

## 2. Актуальність

Засоби перетворення інформації багаторівневого соціо-екологічного моніторингу містять моделі об'єктів відповідного рівня та засоби їх використання. Зміна характеру взаємодії природних систем у процесі їх розвитку вимагає періодичне поновлення засобів перетворення інформації. Синтез нових моделей забезпечує адаптивність інформаційної технології моніторингу до змін властивостей навколишнього середовища. Тому типова структура засобів перетворення інформації доповнюється підсистемами синтезу моделей [3] за методами штучного інтелекту. Низька адекватність моделювання об'єктів соціо-екологічного моніторингу обмежує використання інтелектуальних засобів перетворення інформації в системах багаторівневого моніторингу. Тому дослідження, направлені на підвищення адекватності відображення властивостей об'єктів моніторингу в структурі інформаційних моделей є актуальними.

## 3. Стан питання

Технологія моніторингу довкілля, яка ґрунтується на використанні інтелектуальних засобів перетворення інформації, подана на рис. 1.

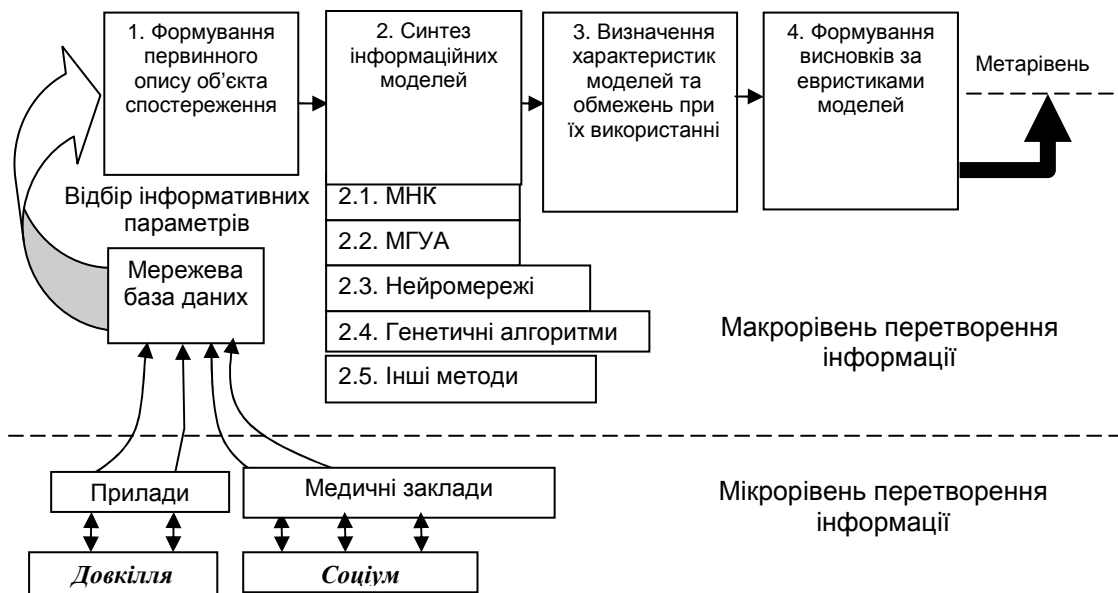


Рис. 1. Інформаційна технологія соціо-екологічного моніторингу

На мікрорівні об'єктом є концентрація техногенних забруднювачів в об'єктах довкілля. Найпоширенішими технічними засобами перетворення інформації моніторингу мікрорівня є електрохімічні аналізатори, зокрема, полярографічні та вольтамперометричні аналізатори мікродомішок шкідливих речовин у воді. Інформативні характеристики аналітичних сигналів

(найчастіше амплітуда) за допомогою вимірювальних шкал перетворюються до чисельного вигляду та підставляються в модель, яка зветься калібровочною характеристикою. В моделі інформація про чисельні характеристики сили струму чи напруги перетворюється в значення виміряної величини, які заносяться для зберігання до бази даних за допомогою пристроїв передачі інформації. На цьому рівні моніторингу типи моделей та методи їх отримання унормовуються відповідними державними стандартами та методиками, які ґрунтуються на використанні методу найменших квадратів (МНК) [4]. За результатами моніторингу мікрорівня формуються бази даних, які містять чисельні характеристики об'єктів моніторингу макрорівня.

На макрорівні моніторингу засобами перетворення інформації є моделі, синтезовані на основі чисельних характеристик техногенного забруднення довкілля та захворюваності населення, які містяться в первинному описі об'єкта моніторингу. Захворюваність населення в умовах техногенного забруднення довкілля є тим соціо-екологічним об'єктом, властивості якого відображаються у структурі моделей макрорівня. Для моделювання об'єктів моніторингу макрорівня застосовуються методи інформаційного моделювання, математичні, статистичні, імовірнісні та імітаційні методи. Ефективно застосовуються методи непараметричного моделювання [5]. Серед методів багатопараметричного моделювання виділяються нейромережі, метод групового врахування аргументів (МГУА) [6].

На метарівні соціо-екологічного моніторингу за результатами досліджень моделей попереднього рівня формують ефективні заходи по зниженню захворюваності населення та технології їх використання. Виявляються пріоритетні забруднювачі певними шкідливими речовинами та модернізується система очистки відходів, зупиняються виробництва, застосовуються штрафні санкції та проводяться інші заходи.

Ефективність цієї технології здобування та перетворення моніторингової інформації знижує системна неузгодженість існуючих методів синтезу моделей об'єктів різних рівнів. Значна похибка моделювання об'єктів електрохімічних вимірювань за методом найменших квадратів на мікрорівні моніторингу зумовлює значну зашумленість даних для моделювання об'єктів макрорівня. Значні втрати корисної інформації на мікрорівні моніторингу не дозволяють досягнути межі інформаційної достатності (МІД) первинного опису об'єктів моніторингу макрорівня, незважаючи на значну різноманітність структури інформаційних моделей, синтезованих за алгоритмами МГУА або із застосуванням інструментарію нейромереж. До цього часу була відсутня загальна теорія побудови єдиної технології моделювання для всіх рівнів моніторингу довкілля. Не були вирішені проблеми зниження зашумленості експериментальних даних. У цьому плані надзвичайну актуальність набуває підвищення точності моделювання об'єктів електрохімічних вимірювань, які найчастіше використовуються в технологіях моніторингу складу води, повітря та продуктів харчування.

В [1] описані особливості використання засобів синтезу інформаційних моделей у структурі систем багаторівневого моніторингу. Вперше запропоновано використати інтелектуальні засоби перетворення вимірювальної інформації в системах моніторингу мікрорівня для отримання кількісних характеристик об'єктів. Більша різноманітність структури моделей, синтезованих за багаторядним алгоритмом МГУА, порівняно із МНК, дозволяє знизити похибку моделювання

об'єктів електрохімічних вимірювань більш, ніж на 60 %, без застосування додаткових ресурсів та ускладнення конструкції аналізаторів [7].

В [8] на прикладі застосування багаторядного алгоритму МГУА описані особливості проектування єдиної технології обробки інформації для автоматизованих систем багаторівневого моніторингу. При застосуванні індуктивних методів на всіх рівнях моніторингу маємо проблеми, пов'язані зі складністю експериментування з природними об'єктами. Для застосування індуктивних алгоритмів моделювання недостатньо параметрів первинного опису, недостатньо кількості корисної інформації, яка в них міститься, обмежена кількість спостережень. Перевизначеність об'єкта моніторингу в його первинному описі (ПО) приводить до зниження стійкості синтезованих об'єктів. Актуальними є дослідження, направлені на підвищення ефективності формування ПО об'єкта моніторингу.

#### **4. Постановка задачі**

Одним із основних засобів формування структури інформаційних моделей є визначення переліку інформативних параметрів ПО, на основі яких буде проведений синтез цих моделей. Оскільки інтелектуальні засоби перетворення інформації ґрунтуються на використанні алгоритмів евристичної самоорганізації, одним із небагатьох способів управління якістю моделей, синтезованих за цими алгоритмами, є ефективний відбір інформативних параметрів або формування простору інформативних ознак.

Метою формування простору інформативних ознак є відбір або формування найменшої кількості параметрів моделювання, що несуть інформацію, яка достатня для формування адекватної моделі [5]. При формуванні критеріїв відбору інформативних ознак проводять попереднє оцінювання параметрів ПО [9–12] або формують ознаки інформативності параметрів у процесі синтезу моделей. Застосовуються також процедури попередньої експертної оцінки інформативності параметрів при формуванні ПО [13, 14].

Найпоширеніші критерії попереднього оцінювання інформативності параметрів ґрунтуються на використанні результатів кореляційного аналізу [15, 16] та розрахунку частотних характеристик для визначення кількості інформації [17].

На даний час універсального методу формування критеріїв, формування простору інформативних ознак не створено. В кожному окремому випадку проводиться адаптація існуючих критеріїв до об'єкта та умов моделювання.

Метою даної роботи є розробка нового підходу до формування критерію відбору інформативних параметрів в алгоритмах синтезу моделей об'єктів багаторівневого соціо-екологічного моніторингу.

#### **5. Методи рішення поставленої задачі**

Вирішення поставленої задачі досягається шляхом використання принципів несуміщеності сигналів [18] при формуванні критеріїв відбору інформативних ознак, використання їх як параметри моделювання та дослідження особливостей його застосування в інтелектуальних засобах перетворення інформації систем багаторівневого моніторингу соціо-екологічних об'єктів.

Відповідно до принципу несуміщеності сигналів до формування структури інформаційних моделей повинні допускатись параметри, які несуть різні частини інформації про об'єкт. Ефективність процесу формування простору інформативних ознак залежить від критерію суміщеності параметрів моделювання.

Була сформульована гіпотеза, що зниження стійкості синтезованих моделей пов'язано із перевизначеністю об'єкта в ПО. Причиною перевизначеності об'єкта є використання у процесі синтезу моделей суміщених параметрів ПО. При формуванні простору ознак необхідно забезпечити мінімальний рівень суміщеності корисної інформації.

Відповідно до цієї гіпотези вважається, що параметр, який несе мінімальну кількість несуміщеної інформації, є більш корисним за параметри, що несуть максимальну кількість вже описаної інформації.

Для перевірки гіпотези був проведений модельний експеримент.

Об'єктом моделювання була залежність рівня захворюваності на бронхіт населення Черкаської області від концентрації шкідливих речовин у повітрі жилої зони.

Селекція моделей проводилась за багаторядним алгоритмом МГУА [6] з використанням евристичної системи спостережень [1]. Для оцінки результатів моделювання використовувались дані ПО, які не приймали участь у створенні моделей.

В табл. 1 подані параметри моделювання, характеристики яких були занесені до бази даних системи багаторівневого моніторингу як результати моніторингу мікрорівня.

Таблиця 1. Параметри моделювання

Назва параметра	Характеристики параметра
Час спостереження	1999 – 2002 рр.
Місце спостереження	Районні центри Черкаської області
Окисли азоту (NO), сірчистий ангідрид (SO <sub>2</sub> ), окис вуглецю (CO), вуглеводні (C <sub>n</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub> ), діоксид марганцю (MnO <sub>2</sub> ), аміак (NH <sub>3</sub> ), сажа (SiO <sub>2</sub> ), толуол (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>3</sub> ), бутилацетат (CH <sub>3</sub> (CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> OOCH), ацетон (CH <sub>3</sub> COCH <sub>3</sub> ), легкі органічні сполуки (ЛОС), оксид кальцію (CaO), ксилол (C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> ), етил-ацетат (CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ), зола тетраетил свинцю ((C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> Pb), бензин (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> ), фенол (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH).	Концентрація речовин у повітрі жилої зони

Для оцінки суміщеності структури параметрів використовувались методи визначення сили їх взаємних зв'язків та показники кореляційного й дисперсійного аналізу. Чим вища оцінка взаємопов'язаності критеріїв, тим вважається вищим рівень їхньої суміщеності.

Відбір інформативних параметрів відбувався за алгоритмом, схема якого подана на рис. 2.

Суміщеність інформаційних параметрів може бути оцінена за кількома відомими показниками. В майбутньому дослідниками можуть бути запропоновані нові критерії оцінки суміщеності параметрів.

Критерій суміщеності ознак оцінює відношення сили зв'язків оцінюваної ознаки із цільовою функцією та з іншими ознаками ПО. Визначається гранична межа суміщеності для ознак, які використовуються для синтезу моделей. У випадку, коли значення критерію суміщеності вище граничного, ознака видаляється із простору.

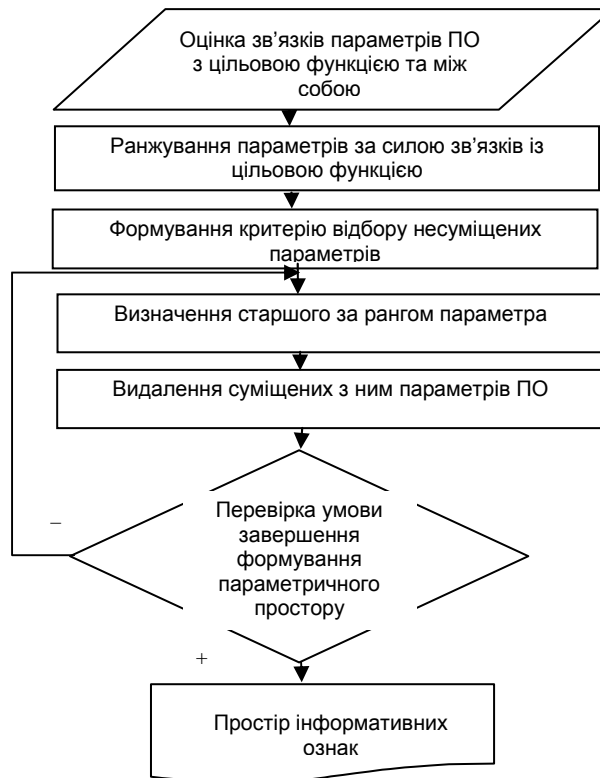


Рис. 2. Схема алгоритму формування простору інформативних ознак

У даній роботі процес визначення критерію суміщеності ознак та його використання для формування простору інформативних ознак продемонстровано на прикладі використання показників кореляційного й дисперсійного аналізу.

При використанні кореляційного аналізу для вибору методу розрахунку кореляції параметрів необхідно оцінювати вигляд закону розподілу результатів спостережень.

Оскільки закон розподілу характеристик ПО при моделюванні захворюваності на бронхіт відрізнявся від нормального, сила їх взаємозв'язків оцінювалась за коефіцієнтом рангової кореляції Кендала [19]:

$$\tau = 1 - \frac{4}{n(n-1)} Q, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість спостережень,  $Q$  – кількість спостережень, при яких порівнювані пари параметрів не узгоджені (збільшення одного параметра при зменшенні іншого). При оцінці зв'язків параметрів за показниками кореляційного аналізу суміщеність параметрів розраховується за виразом (2).

$$R_1 = \frac{r_{i,i+1}}{r_{i,0}}, \quad (2)$$

де  $r_{i,0}$  – коефіцієнт кореляції старшого за рангом параметра із цільовою функцією;  $r_{i,i+1}$  – коефіцієнт кореляції старшого за рангом параметра із наступним не видаленим параметром ПО.

В табл. 2 подані результати відбору інформативних ознак при різних значеннях показника суміщеності  $R_1$ , розрахованого за виразом (2).

Таблиця 2. Показники формування простору інформативних ознак

Значення критерію суміщеності $R_1$	0,5	1	1,5	2
Перелік відібраних інформативних ознак	1. Час спостереження	1. Час спостереження	1. SiO <sub>2</sub>	1. Час спостереження
	2. CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	2. CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	2. CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>	2. CH <sub>3</sub> COOC <sub>2</sub> H <sub>5</sub>
		3. CaO	3. C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	3. C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
			4. Місце спостереження	4. Місце спостереження
				5. CaO
				6. C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
				7. CO
				8. MnO <sub>2</sub>

На рис. 3 подана залежність СКВ результатів моделювання від значення показника суміщеності  $R_1$ .

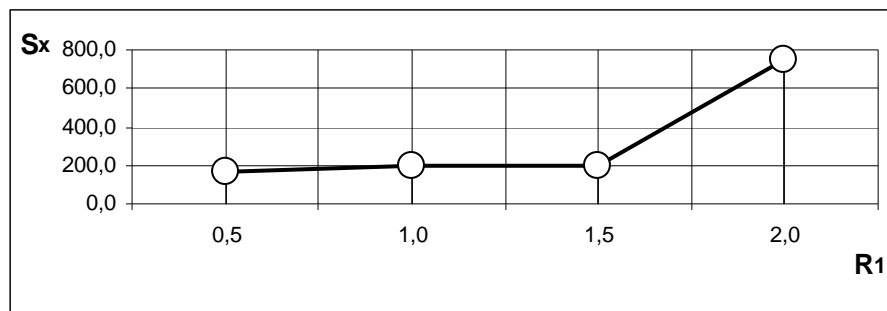


Рис. 3. Залежність СКВ результатів моделювання від суміщеності інформативних ознак

При підвищенні суміщеності інформативних ознак, на основі яких синтезуються моделі, характеристики результатів моделювання погіршуються. Це означає, що знижуються стійкість адекватності і стійкість моделей. При зростанні рівня суміщеності параметрів до  $R = 2$  спостерігаємо ознаки перевизначеності об'єкта. В середньому при зниженні рівня суміщеності сигналів за критерієм  $R_1$  в досліджуваному діапазоні на 1 – СКВ результатів моделювання зменшується на 16,7 %.

Для формування наступного критерію відбору інформативних ознак для оцінки взаємопов'язаності оцінюваних ознак скористаємось показником середнього квадратичного відхилення (СКВ):

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (x_i - x_{i+1})^2}{n+1}}, \quad (3)$$

де  $x_i, x_{i+1}$  – параметри ПО.

В цьому випадку критерій суміщеності має вигляд

$$R_2 = \frac{S_{x_{i,0}}}{S_{x_{i,i+1}}}, \quad (4)$$

де  $S_{x_{i,0}}$  – СКВ старшого за рангом параметра та цільової функції;  $S_{x_{i,i+1}}$  – СКВ старшого за рангом параметра із наступним невидаленим параметром ПО.

В табл. 3 подані результати відбору інформативних ознак при різних значеннях показника суміщеності  $R_2$ , розрахованого за виразом (4).

Таблиця 3. Показники формування простору інформативних ознак

Значення критерію суміщеності $R_2$	1	2	3	4	5	6
Перелік відібраних інформативних ознак	1. SiO <sub>2</sub>	1. SiO <sub>2</sub>	1. SiO <sub>2</sub>	1. SiO <sub>2</sub>	1. SiO <sub>2</sub>	1. SiO <sub>2</sub>
	2. Ксилол	2. Місце	2. Місце	2. Місце	2. Місце	2. Місце
		3. (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> Pb	3. C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> Pb	3. (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> Pb	3. (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>4</sub> Pb	3. MnO <sub>2</sub>
		4. C <sub>n</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>	4. ЛОС	4. ЛОС	4. ЛОС	4. ЛОС
			5. C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	5. C <sub>n</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>	5. C <sub>n</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>	5. C <sub>n</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>
				6. C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	6. NO	6. C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>
						7. NO

На рис. 4 подана залежність СКВ результатів моделювання від значення показника суміщеності  $R_2$ .

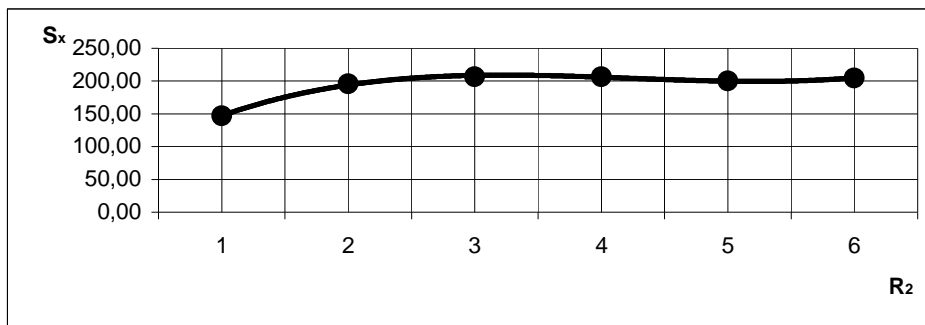


Рис. 4. Залежність якості моделей від суміщеності інформативних ознак

При підвищенні суміщеності ознак СКВ результатів моделювання досягає максимального рівня. Подальше збільшення кількості ознак не приводить до значної зміни характеристики моделей. При зниженні рівня суміщеності сигналів за критерієм  $R_2$  в досліджуваному діапазоні на 1 – СКВ результатів моделювання знижується на 24,9%.

Порівнюючи характеристики моделей, синтезованих на основі критеріїв  $R_1$  та  $R_2$ , приходимо до таких висновків:

- 1) при зниженні суміщеності ознак в обох випадках досягається підвищення адекватності та стійкості синтезованих моделей;
- 2) критерій, сформований на основі показників дисперсійного аналізу, дозволяє більш ефективно відбирати інформативні ознаки, оскільки СКВ результатів моделювання в другому випадку нижче;
- 3) при застосуванні показників кореляційного аналізу критерій суміщеності має вищу чутливість до перевизначеності об'єкта, яка знижує стійкість та адекватність синтезованих моделей.

## 6. Висновки

Таким чином, у роботі отримала своє експериментальне підтвердження гіпотеза про зниження стійкості та адекватності моделей, які синтезуються за індуктивними алгоритмами евристичної самоорганізації з причини перевизначеності об'єкта в ПО. Виявлено, що суміщеність є однією із властивостей ознак об'єкта, які використовуються як параметри моделювання, що впливає на якість



синтезу структури моделі. Описаний метод дослідження впливу цієї властивості параметрів на процес відображення властивостей об'єктів у структурі інформаційних моделей.

Розроблені та експериментально досліджені критерії суміщеності інформативних ознак та описані підходи до їх формування. Експериментально підтверджена ефективність застосування запропонованих критеріїв для уникнення перевизначеності ПО об'єктів моніторингу. На прикладі використання коефіцієнта рангової кореляції та середнього квадратичного відхилення досліджені особливості формування критеріїв суміщеності інформативних ознак. При зменшенні рівня суміщеності за критерієм суміщеності на 1 показник якості моделей покращується на 16–25 %.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Голуб С.В. Моделирование мониторинговых процессов эвристической системой наблюдений // Электронное моделирование. – 2004. – Т. 26, № 5. – С. 55–65.
2. Договір № 2 від 10.03.2004 р. на створення науково-технічної продукції „Створення реєстру забруднюючих доквілля викидів та їх переносу в області”, (на підставі Розпорядження голови Черкаської облдержадміністрації від 25.05.2000 р. № 189 «Про координаційну раду зі створення реєстру забруднюючих доквілля викидів та їх переносу в області» та звернення інституту медицини праці академії медичних наук України від 17.04.2000 № 01/255.
3. Голуб С.В. Проектування моніторингу доквілля як евристичної системи спостереження // Інтеграційна стратегія державних інституцій та громадськості в соціо-екологічній інформованості суспільства: теоретичний та практичний аспекти: Збірник тез та доповідей X Міжнародної конференції. Черкаси, 19-21 жовтня 2006 р. – Черкаси, 2006. – С. 50–51.
4. Брянский Л.Н. Краткий справочник метролога: [Справочник] / Л.Н. Брянский, А.С. Войников. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 79 с.
5. Принятие решений в системах мониторинга / Т.Г. Емельяненко, А.В. Зберовский, А.Ф. Приставка и др. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2005.– 224 с.
6. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наукова думка, 1981. – 296 с.
7. Квасніков В.П., Голуб С.В. Індуктивне моделювання об'єктів вимірювання в процесі моніторингу доквілля // Вісник НАУ. – 2006. – № 1.– С. 8–13.
8. Голуб С.В. Особливості формування первинного опису об'єктів моніторингу доквілля на мікрорівні // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія „Обчислювальна техніка та автоматизація”. – 2006. – Вип. 106. – С.188–191.
9. Поплавский Н.Н. Оценка относительной информативности признаков с помощью дискриминантной функции // Математические методы при геологических исследованиях в Западной Сибири. – Тюмень, 1968.– С. 78–96.
10. Быховский М.Л., Вышневецкий А.А. Кибернетические системы в медицине. – М.: Наука, 1971. – 405 с.
11. Луфулаев Р.А. Об одном подходе к вычислению информационных весов признаков // Вычислительная математика и математическая физика. – 1974. – Т. 14, № 5. – С. 1353–1357.
12. Беккер А.В. Построение весовых коэффициентов информативности признаков // Вопросы экономико-статистического моделирования и прогнозирования в промышленности. – Новосибирск: Наука, 1970. – С. 187–198.
13. Маркович И.В., Маркович З.П. Проблемы поиска информативных признаков в медицинской диагностике // Распознавание образов. – Рига: Зинатне, 1974. – Вып. 2. – С. 38–45.
14. Мандель И.Д. О выборе информативных признаков при классификации объектов // Автоматика и телемеханика. – 1986.– № 2.– С. 164–167.
15. Айвазян С.А. Прикладная статистика: исследование зависимости / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 475 с.
16. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1986.– 322 с.
17. Анисимов Б.В. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учеб. пособие для студентов вузов / Б.В. Анисимов, В.Д. Курганов, В.К. Злобин. – М.: Высшая школа, 1983. – 295 с.
18. Голуб С.В. Принцип проектування багаторівневих технологій інформаційного моделювання // Вісник інженерної академії України. – 2007. – № 1. – С. 28–34.
19. Лапач С.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С.Н. Лапач, А.В. Чеченко, П.Н. Бабич. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: МОРИОН, 2001. – 408 с.

*Стаття надійшла до редакції 03.09.2007*