

УДК 004.94(0.45)

¹В.П. Квасніков, д-р техн. наук
²С.В. Голуб, канд. техн. наук

ІНДУКТИВНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИМІРЮВАННЯ В ПРОЦЕСІ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

¹НАУ, кафедра інформаційних технологій, e-mail:kvp@nau.edu.ua²Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького

Подано результати досліджень багаторівневих моніторингових систем на основі індуктивних методів моделювання. Для вирішення проблеми системного узгодження моделей різних рівнів запропоновано використати єдину технологію моделювання. Наведено результати застосування методу групового врахування аргументів для моделювання об'єктів вольтамперометричного вимірювання концентрації важких металів у воді на мікрорівні моніторингу довкілля, для моделювання захворюваності населення Черкаської області на макрорівні та результатів управлінських дій на метарівні. Показано ефективність запропонованих підходів і можливість їх використання для моніторингу медичинських і соціально-економічних об'єктів.

Вступ

Моніторингові системи застосовуються з метою організації неперервного оцінювання поточного стану об'єкта управління для визначення та формування керівних впливів. Основним призначенням систем моніторингу довкілля є забезпечення даними, інформацією та знаннями особу прийняття рішень для розробки стратегії поліпшення стану здоров'я населення регіону.

Запропоновано [1] виділити мікрорівні, макрорівні та метарівні моніторингу довкілля. На мікрорівні визначаються дані, що є числовими характеристиками стану об'єкта моніторингу. На макрорівні визначається інформація про зв'язок стану об'єкта в цілому з його параметрами за числовими характеристиками, визначеними на попередньому рівні моніторингу. На метарівні отримують знання про наслідки застосування керівних впливів до об'єкта з використанням інформації та даних, отриманих на попередніх рівнях моніторингу. Центральною процедурою процесів моніторингу є моделювання. Під час проектування багаторівневих моніторингових систем доводиться проводити системне узгодження моделей різних рівнів, які створені за різними принципами та технологіями. Часто це призводить до втрати частини інформації, ускладнює конструкцію інформаційної системи. Тому доцільним є використання однієї технології моделювання на всіх рівнях моніторингу. Основою будь-якого моніторингу є технічні системи реєстрації числових характеристик об'єкта – датчики, прилади, інформаційно-вимірювальні системи.

Якість моделювання об'єктів вимірювання (ОВ) є одним із основних чинників, які визначають ефективність функціонування всієї системи в цілому.

Тому під час проектування багаторівневого моніторингового процесу необхідно приділяти особливу увагу якості моделювання мікрорівня ОВ.

Аналіз досліджень та публікацій

Сьогодні на мікрорівні моніторингу найбільш застосованими є статистичні методи моделювання, зокрема, регресійний аналіз [2; 3].

Модель одержують в аналітичному вигляді як залежність результатів вимірювання від аналітичного сигналу та від чинників впливу, які визначають похибку вимірювання вигляду:

$$Y = aX \pm \Delta,$$

де Y – значення вимірюваної величини; a – коефіцієнт пропорційності; X – аналітичний сигнал; Δ – оцінка загальної похибки вимірювань, що містить систематичну та випадкову складову.

Процес отримання значення коефіцієнта a та похибки Δ називається калібруванням приладу, а розглянутий вираз – каліброваною залежністю.

Використання статистичного моделювання виправдане в разі дослідження простих систем, залежності між параметрами яких точно відомі. Результати вимірювання таких об'єктів не містять великої похибки.

Це вимірювання характеристик електричного струму, часу, ваги та ін. Похибки таких вимірювань не перевищують 1 %.

Однак існують об'єкти, результати вимірювання характеристик яких містять значні похибки. Перш за все це електрохімічні методи вимірювання концентрації шкідливих речовин у воді та в повітрі. Відносні похибки вимірювань цих об'єктів вважаються прийнятними, якщо вони не перевищують 25%, а в окремих випадках і 50%. Ці об'єкти необхідно розглядати як складні системи, для яких застосовуються моделі, адекватність яких необхідно підвищити. На макрорівні та метарівні для моделювання об'єктів ефективно застосовуються методи штучного інтелекту, зокрема, індуктивне моделювання [4].

Модель отримують у вигляді аналітичної залежності однієї з характеристик об'єкта моделювання, яка визначається як функція, від інших характеристик, які використовувались як параметри моделювання. Модель конструюють на основі законів масової селекції за принципами неостаточності прийняття рішень та алгоритмами евристичної самоорганізації. Нефізичні моделі, які формально виражають залежності між параметрами моделювання, одержують за принципом побудови кібернетичної чорної скрині. Розрізняють комбінаторний та багаторядний алгоритми методу групового урахування аргументів (МГУА). Обидва типи алгоритмів використовують окремо або їх комбінації. Технологію моделювання будують евристично, користуючись певним досвідом застосування цих алгоритмів та сформульованими теоретичними принципами індуктивного моделювання. Під час моделювання об'єктів довкілля визначались взаємні залежності між характеристиками цих об'єктів та залежність стану об'єкта від його характеристик. Використання МГУА для дослідження озера Байкал та Каховського водосховища описано в праці [5]. Відомі лише поодинокі випадки застосування індуктивних методів для моделювання ОБ на мікрорівні моніторингу.

У праці [6] вперше описано використання МГУА для якісного моделювання ОБ – ідентифікації індивідуальних сполучень після хроматографічного аналізу. Опису використання індуктивних методів для кількісного моделювання ОБ знайти не вдалось. Під час визначення структури моніторингової системи необхідно або використовувати статистичні методи моделювання на макrorівні та метарівні моделювання, або ж розробити технології індуктивного моделювання на мікрорівні моніторингу. Під час розробки технологій моделювання ОБ на мікрорівні моніторингу на основі індуктивних методів, зокрема, МГУА, необхідно враховувати низку особливостей предметної галузі:

- аналогом процесу навчання моделі є калібрування засобів вимірювання (ЗВ);
- інформаційні моделі об'єктів вимірювання працюють у тому самому діапазоні значень параметрів, у якому вони використані в процесі навчання;
- під час обробки первинної інформації, яку називатимемо первинним описом об'єкта моделювання, виникає проблема інформаційної невизначеності.
- використання інформаційних моделей у новій предметній галузі вимагає застосування тих самих критеріїв оцінки цих моделей, які застосовуються в метрології для оцінювання результатів вимірювання;

– необхідно розробити принципи побудови методик вимірювання об'єктів довкілля на основі індуктивного моделювання;

– використання нової технології моделювання в методиках вимірювання вимагає розробки наукових основ проектування ЗВ нового покоління, які ґрунтуються на використанні методів штучного інтелекту.

Для первинного опису об'єктів вимірювання використовується не більше п'яти–шести параметрів. При моделюванні економічних та інших об'єктів макrorівня моніторингу таких параметрів десятки.

Отже, існує необхідність отримання додаткової інформації за обмеженої кількості чинників первинного опису ОБ.

Мета статті – розробка єдиної технології моделювання для всіх рівнів моніторингу об'єктів довкілля.

Об'єктом дослідження були особливості застосування індуктивного моделювання як єдиної технології для всіх рівнів довкілля.

Найменш дослідженою є технологія застосування МГУА для моделювання ОБ на мікрорівні моніторингу. Основною проблемою, яка вирішувалась у процесі досліджень, є зниження похибки електрохімічних вимірювань за рахунок підвищення адекватності створюваних моделей.

Залежно від об'єкта моніторингу для реєстрації числових характеристик стану цього об'єкта застосовуються різні ЗВ. Електронна база аналітичних вимірювальних приладів досягла певної межі [7]. Тому поліпшення метрологічних та технічних характеристик ЗВ можливе за рахунок удосконалення методики вимірювання первинних вимірювальних перетворювачів та методів моделювання ОБ.

Удосконалення методики вимірювання та первинних вимірювальних перетворювачів пов'язано зі значними матеріальними затратами, ускладненням конструкції приладу та методик його використання, ускладненням експлуатації ЗВ, тому актуальними є дослідження процесу моделювання ОБ.

Основою побудови моделей ОБ є закони, які характеризують взаємну залежність результатів вимірювань та вимірюваних величин. При статичному режимі вимірювання, коли вхідний сигнал постійний, модель називають статичною, або градуальною характеристикою приладу [2].

При динамічному режимі вхідний сигнал неперервно змінюється [3]. Модель у цьому разі називають динамічною характеристикою. Для моделювання використовують диференціальні рівняння.

Підвищення адекватності моделювання

Існуючі традиційні методики вимірювання, що використовуються в моніторингових системах, не містять механізму пошуку додаткових чинників впливу. Методики забезпечували вимірювання значення характеристики об'єкта без інтерпретування результатів цього вимірювання. Для виявлення зв'язків між кількома об'єктами вимірювання залучались висококваліфіковані експерти. Проводилась велика та копітка робота групи цих експертів, успіх якої значною мірою визначається використанням евристичних методів досліджень.

Перевагою пропонованої технології є можливість поєднати в одній системі і моделі для визначення вимірюваних характеристик окремого об'єкта, і моделі, які містять опис взаємного впливу кількох об'єктів спостереження. Ці моделі поєднуються як елементи різних ієрархічних рівнів однієї моніторингової системи.

Пошук неврахованих чинників впливу

Ознакою, яка вказує на необхідність додаткового пошуку чинника впливу, є відхилення закону розподілу випадкових похибок результатів серії вимірювання від закону Гаусса.

Рівномірний, трапецоїдний, трикутний та інші вигляди законів розподілу свідчать про домінування якогось одного чинника серед множини збурень. Оскільки індуктивне моделювання доцільно застосовувати в разі великої випадкової складової похибки вимірювання, то це означає, що існуюча методика або взагалі не враховує чинник впливу, або враховує його зв'язки з об'єктом вимірювання неадекватно. У будь-якому разі існує необхідність перевірки впливовості відомих та пошуку нових чинників і врахування їх у процесі моделювання.

Пошук взаємної залежності відомих чинників впливу

Підставою для такого завдання на моделювання є відповідність закону розподілу випадкової складової похибки серії вимірювань закону Гаусса. Це означає, що зв'язки чинників впливу приблизно однакові. Не існує чинника, вплив якого переважає вплив інших чинників на об'єкт спостереження. Завданням моделювання є виявлення адекватних зв'язків модельованої характеристики із чинниками впливу, або параметрами вимірювання.

Для прикладу розглянемо структуру інформаційної системи моніторингу об'єктів довкілля. На мікрорівні такої системи отримують дані про значення концентрації у воді та повітрі речовин, шкідливих для людини за показниками вимірювальних приладів.

На макрорівні моніторингу отримують інформацію про характер впливу шкідливих речовин на здоров'я населення.

На метарівні отримують знання про результати впливів на джерела забруднення для поліпшення здоров'я населення.

У статті наводяться приклади використання МГУА – алгоритмів для моделювання об'єктів мікро-, макро- та метарівнів при проектуванні системи екологічного моніторингу в Черкаській області. На мікрорівні моделювався процес інверсійного вольтамперометричного вимірювання концентрації важких металів у питних та природних водах господарського використання. На макрорівні моделювалась залежність захворюваності населення від концентрації шкідливих речовин у повітрі та воді. На метарівні визначались дії для поліпшення здоров'я населення та розраховувалась їх ефективність.

Моделі мікрорівня формувалися на основі даних, отриманих під час розробки аналізатора важких металів у питних та природних водах „Нептун”, що проводилася в Українському науково-технічному центрі „Сенсор” (м. Черкаси).

Основою моделей макрорівня є дані, отримані під час виконання дослідно-конструкторської роботи „Створення реєстру забруднюючих довокілья викидів та їх переносу в області”.

Завдання метарівня виконувались на основі використання моделей та результатів моделювання макрорівня. Моделі використовувались для розрахунку зміни рівня захворюваності населення при зміні концентрації шкідливих речовин у довкіллі.

У процесі створення моделей мікрорівня ставилося завдання пошуку взаємної залежності відомих чинників впливу під час проведення інверсійного вольтамперометричного вимірювання мікродомішок міді та цинку у водному середовищі, а також підвищення адекватності моделювання. Як параметри моделювання використовувались чинники, визначені в методиці вимірювання.

Метод вольтамперометрії оснований на вимірюванні сили струму під час проходження окисно-відновної реакції на поверхні індикаторного електрода. Умови для проходження цієї реакції створюються за допомогою різниці потенціалів між індикаторним та допоміжним електродами.

При інверсійній вольтамперометрії іони спочатку концентрують на поверхні індикаторного електрода відновленням протягом певного часу. Після цього їх електрохімічно окислюють з реєстрацією аналітичного сигналу – сили струму. Величина сили струму пропорційна концентрації іонів металів в аналізованому розчині.

Оскільки умови проходження електрохімічних та гідродинамічних процесів нестабільні – результат вимірювання залежить від багатьох чинників, які змінюються в часі.

Крім чинників, урахованих методикою, у процесі вимірювання проявляється вплив неврахованих зовнішніх збурень, які і визначають випадкову складову похибки вимірювання.

Особливо великі проблеми виникають під час дослідження розчинів, які містять одночасно іони кількох металів, що взаємодіють у процесі вимірювань. Наприклад, при одночасному відновленні іонів міді та цинку із багатокомпонентного розчину утворюються інтерметаліди, які не дозволяють зареєструвати аналітичний сигнал цинку без похибки [8].

Повністю уникнути впливу інтерметалідів на визначення концентрації іонів цинку в багатокомпонентному розчині не вдається.

Модельованою функцією є концентрація цинку в багатокомпонентному розчині. Параметри моделювання – аналітичний сигнал та концентрація міді, визначені на першому етапі вимірювання, та аналітичний сигнал міді та цинку, визначені на другому етапі.

У табл. 1 наведено результати вимірювання із застосуванням традиційної методики моделювання ОБ методом каліброваного графіка й використанням індуктивної моделі багаторядного МГУА [1] та результати обробки двох серій із трьох експериментів.

Використання індуктивного моделювання ОБ порівняно з застосуванням традиційного методу каліброваного графіка дозволило знизити похибку вимірювання в деяких випадках більш ніж в десять разів. Таких результатів вдається досягнути за рахунок ураховання в індуктивній моделі не тільки залежності аналітичний сигнал – концентрація речовини, але і впливу інших чинників.

Враховано вплив концентрації міді в розчині, збурення від взаємної зміни значень параметрів вимірювання.

Зазначений ефект досягається без ускладнення конструкції приладу та методики проведення вимірювань, без застосування додаткових реагентів та без додаткового залучення працівників вищої кваліфікації.

При моделюванні макрорівня визначалась залежність рівня захворюваності населення від концентрації шкідливих речовин у довкіллі. Результати моделювання макрорівня моніторингу реалізовані при побудові реєстру речовин, які забруднюють довкілля. Первинний опис об'єкта спостереження формувався на підставі даних про захворюваність населення та концентрацію шкідливих речовин у повітрі. Перелік речовин та видів захворювання визначався експертним шляхом фахівцями обласної санітарно-епідеміологічної станції та обласного управління. Стан здоров'я характеризувався кількістю захворювань на десять тисяч осіб. Забруднювачі характеризувались їх концентрацією в повітрі в міліграмах на кубічний дециметр. Було сформовано первинний опис для кожного із п'ятнадцяти видів захворювань. Параметрами моделювання були характеристики забрудненості, функцією – характеристика захворюваності. Для генерації моделі використаний багаторівневий алгоритм МГУА [4].

П'ятнадцять моделей дозволили визначити залежність кількості випадків кожного захворювання від концентрації в повітрі забруднювальних речовин та величину впливу кожного забруднювача на кількість захворювань кожного типу. Вплив оцінювався за ваговими коефіцієнтами параметра в отриманій моделі.

Вагові коефіцієнти параметрів визначались за формулою

$$k = \frac{\Delta_i}{\Sigma \Delta}$$

де Δ_i — зміна значення модельованої функції при зміні цього параметра на одиницю за однакового значення інших параметрів; $\Sigma \Delta$ — сума змін модельованої функції від зміни кожного з параметрів.

Таблиця 1

Результати застосування індуктивного моделювання ОБ на мікрорівні моніторингу

Відома концентрація металів, мг/дм ³		Виміряна концентрація металів, мг/дм ³				Відносна похибка вимірювання, %			
		за каліброваним графіком		за індуктивною моделлю		за каліброваним графіком		за індуктивною моделлю	
Мідь	Цинк	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк	Мідь	Цинк
1,56	7,80	2,35	6,32	1,58	7,73	50,6	-18,9	1,3	-0,9
4,60	23,00	5,01	21,80	4,52	21,81	8,2	-5,22	-1,7	-5,2

На рисунку зображено результати моделювання на макрорівні моніторингу.

Мета моніторингу метарівня – отримання інформації про результати застосування керівних впливів. Завдання моніторингу метарівня вирішуються за результатами моделювання на макрорівні з використанням моделей захворюваності.

Для зменшення захворюваності необхідно визначити джерела викидів в повітря забруднювачів та розрахувати ефективність рішень щодо забезпечення зниження забруднення довкілля. Визначається, як зміниться захворюваність населення у разі зменшення шкідливих викидів, наприклад, Черкаського науково-виробничого об'єднання „Азот”. У табл. 2 подано результати дослідження залежності кількості захворювань крові від збільшення та зменшення концентрації шкідливих речовин у повітрі на 10%.

Таблиця 2

Результати моделювання метарівня

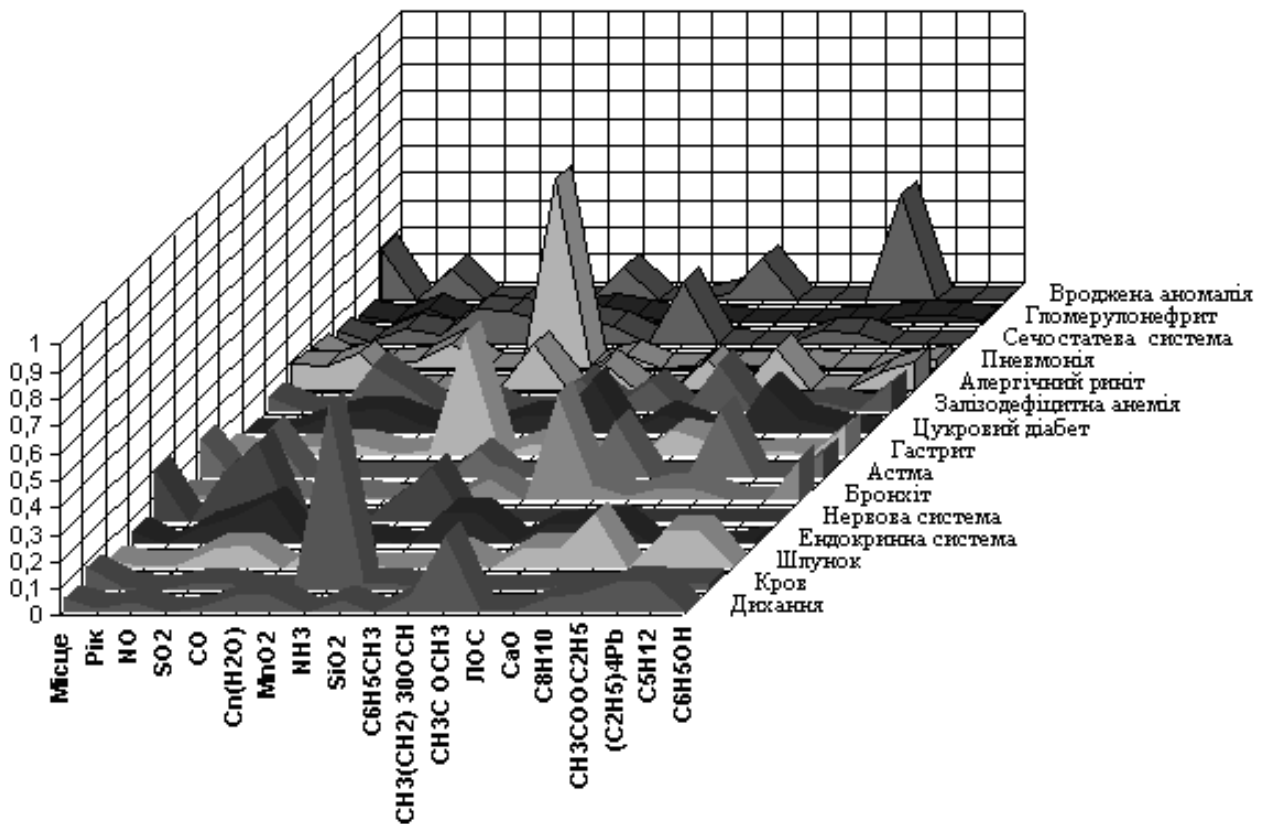
Концентрація речовини, %	Аміак	Окисли азоту	Легкі органічні сполуки
Підвищення	+8,09	+3,29	+1,46
Зниження	-5,10	-2,14	-0,32

За результатами моделювання кількісно обґрунтовуються рішення про реконструкцію очисних споруд чи застосування безвідходних технологій, прораховується економічна ефективність цих заходів. Можливо також передбачити наслідки розміщення шкідливих виробництв на території Черкаської області та вжити компенсаційні заходи або обґрунтувати відмову від збільшення виробництва певної продукції.

Висновок

У статті подано результати дослідження особливостей застосування індуктивного моделювання на мікро-, макро- та метарівнях моніторингу. При моделюванні ОВ на мікрорівні похибка вимірювання в деяких випадках зменшується в десять разів.

Спрощується конструкція приладів, підвищується надійність та збільшується ресурс їхньої роботи. Результати моделювання на макрорівні моніторингу дозволили визначити характер та числові характеристики одночасного впливу кількох чинників на стан здоров'я населення.



Вплив різновидів шкідливих речовин, які містяться в повітрі, на рівень захворюваності населення Черкаської області

Моделювання метарівня моніторингу дозволило кількісно обґрунтувати пропонувані рішення щодо управління забрудненістю довкілля. Запропоновані принципи можуть бути успішно застосовані також під час моніторингу в медицині [9] та в дослідженнях соціально-економічних об'єктів моніторингу [10].

Література

1. Голуб С.В. Моделирование мониторинговых процессов эвристической системой наблюдений // Электронное моделирование. – 2003. – Т. 26, № 5. – С. 55–65.
2. Бурдун Г.Н., Марков Б.Н. Основы метрологии. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 256 с.
3. Грановский В.А. Динамические измерения: Основы метрологического обеспечения. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1984. – 264 с.
4. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – К.: Наук. думка, 1981. – 296 с.
5. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – К.: Техніка, 1975. – 312 с.
6. Степаненко В.Е. Хроматографическая идентификация индивидуальных соединений методом распознавания образов // Журн. аналитической химии. – 1982. – Т. 37, Вып. 12. – С. 2230–2234.
7. Современная электрохимическая аппаратура для научных исследований и анализа / М.С. Грилихес, М.Я. Драпкин, О.С. Николаев и др. – М.: Информприбор. – 1988. – 53 с.
8. Голуб С.В., Гончаренко Т. П., Чорний Г.П. Використання ртутно-вуглецевого електрода з попередньо сформованою поверхнею у вольтамперометричних засобах моніторингу навколишнього середовища // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: Зб. наук. пр. – Хмельницький, 1999. – №1. – С. 44–49.
9. Голуб С.В., Джолос В.М. Використання евристичної системи спостереження для прогнозування післяінфарктних ускладнень // Вісн. Житомир. держ. технол. ун-ту. Технічні науки. – 2004. – Т. 2, № 4 (31). – С. 109–114.
10. Чужиков В.І., Голуб С.В. Моделювання рівня відкритості економіки України із застосуванням евристичних систем спостережень // Стратегія економічного розвитку України: Наук. зб. – К.: КНЕУ, 2002. – Вип. 5(12). – С. 93–101.

Стаття надійшла до редакції 19.10.05.

Представлены результаты исследований многоуровневых систем на основе индуктивных методов моделирования. Для решения проблемы системного согласования моделей разных уровней предложено использовать единую технологию моделирования. Приведены результаты применения метода группового учета аргументов для моделирования объектов вольтамперометрического измерения концентрации тяжелых металлов в воде на микроуровне мониторинга окружающей среды для моделирования заболеваемости населения Черкасской области на макроуровне результатов управленческих действий на метауровне. Показаны эффективность предложенных подходов и возможность их использования для мониторинга медицинских и социально-экономических объектов.

In work results of researches of multilevel systems of monitoring of an environment are submitted on the basis of inductive methods of modeling. For the decision of a problem of the coordination of models of different levels it is offered to use uniform technology of modeling. Results of application of a method of the group account of arguments for modeling objects voltamperometric measurements of concentration of heavy metals in water on микро a level of monitoring of an environment, for modeling decrease of the population of the Cherkassy area on Macro a level and for modeling results of administrative actions on Meta a level are submitted. Efficiency of the offered approaches and an opportunity of their use for monitoring medical and social and economic objects is shown.