

## **МОДЕЛЮВАННЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЛЮДИНО-МАШИННИХ ПОХИБОК НА ПРОЦЕС УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ**

\*Чернігівський державний інститут економіки і управління, Чернігів, Україна

---

***Анотація.** Розглянуто підхід до створення моделі оцінки впливу людино-машинних похибок у геоінформаційній системі на процес управління територіями. За допомогою запропонованої моделі можна визначити усереднені характеристики процесу обробки інформації геоінформаційною системою. Виділяючи для конкретного випадку величини зв'язків, можна визначити, чи виходять вони (і які саме) за межі базових значень і зробити висновок про джерело збурень і величину його впливу на кінцевий результат управління.*

***Ключові слова:** управління територіями, геоінформаційні системи, людино-машинні системи, похибки.*

***Аннотация.** Рассмотрен подход к созданию модели оценки влияния человеко-машинных ошибок в геоинформационной системе на процесс управления территориями. С помощью предложенной модели можно определить усредненные характеристики процесса обработки информации геоинформационной системой. Определяя для конкретного случая величины связей, можно определить, выходят ли они (и как именно) за границы базовых значений и сделать вывод об источнике возмущений и величине его влияния на конечный результат управления.*

***Ключевые слова:** управление территориями, геоинформационные системы, человеко-машинные системы, ошибки.*

***Abstract.** The following approach was examined: creation of the model to assess the influence of human-machine mistakes in GIS on the process of territories management. With the help of proposed model it is possible to determine averaged characteristics of process of information processing model by geo-informational system. Having defined the connection values for each separate case, it is possible to determine if they go beyond reference values (and how exactly), and to make a conclusion on the disturbance source and size of its influence on the ultimate result of management.*

***Keywords:** territories management, geo-informational systems, human-machine systems, mistakes.*

### **1. Вступ**

Одним з головних чинників, які визначають ефективність і працездатність геоінформаційних систем (ГІС) у системі управління територіями (СУТ), є достовірність даних на усіх етапах їх формування, перетворення (конвертації) й обробки.

Під достовірністю інформації розуміють функцію ймовірності появи похибки, тобто події, яка полягає у тому, що реальна інформація в системі про певний параметр не збігається в межах заданої точності з дійсним значенням. Необхідна достовірність досягається використанням різних методів, реалізація яких вимагає введення в системи обробки даних (СОД) інформаційної, часової або структурної надлишковості. Достовірність у СОД досягається шляхом контролю і виявлення похибок у вхідних і вихідних даних, їх локалізації і виправлення.

### **2. Постановка задачі**

Умова підвищення достовірності – зниження частки похибок до припустимого рівня. В конкретних ГІС потрібна достовірність повинна встановлюватися з урахуванням небажаних наслідків, до яких може призвести похибка, що виникла, і тих витрат, які будуть необхідні для її запобігання.

Метою роботи є визначення усереднених характеристик моделі обробки інформації ГІС у СУТ, при яких на виході отримують значення вихідних параметрів у припустимих границях у процесі експлуатації.

### 3. Виклад основного матеріалу

Головна відмінність геоінформаційних технологій (ГІТ) від інших інформаційних технологій (ІТ) полягає в необхідності встановлення зв'язку між картографічною інформацією та тематичними даними, що дозволяє в інтерактивному режимі легко переходити від табличного подання даних до картографічного, і навпаки, або поєднувати їх. Тому можливість комбінування просторових і атрибутивних даних визначає якісно новий підхід до аналізу даних з метою ухвалення на його основі обґрунтованого рішення. ГІС опрацьовує різноманітну за структурою та формою подання вхідну інформацію: картографічну, числову, текстову, графічну тощо. Виникає необхідність збереження великої кількості позиційної інформації: протяжність кордонів адміністративних утворень, чисельність населення, координати земельних ділянок, обсяг продукції, викиди небезпечних речовин, вміст мінеральних речовин у ґрунті тощо; інтервальні дані (температура і тиск повітря), лінгвістичні оцінки (якість).

У процесі функціонування ГІС у СУТ приймає участь персонал, який може бути джерелом управлінської інформації, що посиляє системі команди, оператором, що перетворює сприйняту інформацію у відповідні рухові або звукові реакції, або особою, що ухвалює управлінське рішення.

У загальному випадку, завдяки персоналу контролюваний технічний стан системи скорочується на певну кількість елементів, в яких потенційно можлива раптова відмова. Персонал може виявити за допомогою існуючих технічних засобів функціональні вузли, що наближаються до відмови, збої у засобах обробки даних, певний час виконувати функції пристроїв, що відмовили, ухвалювати рішення у випадку впливів на систему управління непередбачених збурень і виникнення аварійних ситуацій. Наприклад, при відмові засобів обробки інформації у системі управління територіями або втраті зв'язку з нею персонал залишається наодинці з керованим об'єктом і робота системи буде повністю залежати від дій персоналу або особи, що приймає рішення. У таких умовах персонал повинен вміти прораховувати варіанти керуючих впливів, створювати нові алгоритми управління, вміти

знаходити і приймати нетипові рішення при неповній інформації від керованого об'єкта, беручи відповідальність на себе. Ці обставини накладають жорсткі вимоги до надійності роботи персоналу в контурі системи управління територіями і, відповідно, до рівня його підготовки.

На рис. 1 представлена структурна схема людино-машинної системи управління територіями, де людина (персонал) виконує управління (моніторинг) за допомогою



Рис. 1. Структурна схема людино-машинної системи управління територіями

ГІС, а також дублювання системи управління територіями у випадку її відмови.

При цьому похибки можуть виникати на будь-якому етапі функціонування ГІС в процесі управління територіями. Їх можна класифікувати на похибки персоналу, похибки, викликані несправністю технічних засобів та похибки, викликані зовнішніми збуреннями природного середовища.

Похибки персоналу ГІС у СУТ обумовлені психофізіологічними можливостями персоналу, об'єктивними причинами (недосконалістю моделей подання інформації, недостатньою кваліфікацією персоналу, недосконалістю технічних засобів тощо) і суб'єктивними причинами (недбалістю, безвідповідальністю певних виконавців, навмисним спотворенням інформації, поганою організацією праці тощо). Разом з цим на похибки персоналу впливає навколишнє середовище, яке може дестабілізувати його роботу і бути джерелом неправильних дій, наприклад, у випадках порушення колірною або звуковою сприйняття, перевтоми, внутрішнього відволікання тощо. Недостатньо підготовлений до професійної роботи персонал часто буває нездатним побачити або виділити головне у спостережуваному процесі на тлі різних впливів із зовнішнього середовища. У таких випадках персонал у СУТ може стати джерелом недостовірної або несвоєчасної інформації, що робить неможливим формування і ухвалення ним правильних рішень.

Найбільш істотною є частка похибок, внесених людиною на етапах заповнення документів, їх переносу на машинні носії, а також при введенні з віддалених терміналів просторово-розподіленої ГІС. Важливість першочергового визначення людського фактора визначається тим, що інтенсивність процесу внесення похибок людиною на 1–2 порядки перевищує інтенсивність збоїв технічних пристроїв, особливо при підготовці і введенні даних в ГІС операторами з недостатньою кваліфікацією. Останнє характерне, зокрема, для робочих місць і підсистем віддаленого доступу [2]. Ускладнення техніки збільшує протиріччя між вимогами, що пропонуються науково-технічним прогресом, і здібностями людей. Якою б досконалою не була техніка, її ефективне і безпечне застосування врешті-решт залежить від того, наскільки повно узгоджені конструктивні параметри з оптимальними умовами роботи людини, з його психофізіологічними можливостями і особливостями. Тому й виникає необхідність оцінки впливу людино-машинних похибок на точність ГІС у СУТ в єдиному комплексі «людина–техніка–середовище». Пропозиції автора щодо можливості зменшення похибок персоналу у процесі отримання первинних даних при польових вимірах викладені у працях [3–5].

Похибки, викликані несправністю технічних засобів системи, це похибки, пов'язані з несправністю обладнання, невідповідністю його технічним нормам, з порушенням необхідних умов роботи технічних засобів і збереження машинних носіїв інформації, з фізичним зношенням елементів і вузлів технічних засобів, різного роду завадами тощо.

Похибки вхідних даних, викликаних зовнішнім середовищем, надходять до системи у складі спотворених вихідних даних. Спотворення інформації в інформаційних мережах можливі на будь-якому етапі її циркуляції: при збереженні, передачі або обробці. Причини таких похибок можуть бути випадковими або навмисними. У свою чергу, випадкові похибки можуть бути як природними, пов'язаними з дією природних чинників, так і штучними. До числа природних чинників відносяться космічні та теплові шуми, атмосферні електромагнітні розряди, іскріння контактів, недостатня надійність електронних елементів і елементів електричних ланцюгів, порушення реєстру вального шару магнітних або оптичних носіїв тощо. Випадкові штучні похибки, пов'язані з діяльністю людей, тобто з випадковими похибками персоналу. Навмисні похибки завжди пов'язані з навмисними діями порушників.

Важливими особливостями ГІС є можливість забезпечення комплексного введення, контролю, збереження, відображення й аналізу різної семантичної та картографічної інформації, підготовка картографічних матеріалів для аналітичної обробки, що забезпечує при-

йняття ефективних рішень на основі аналізу та інтерпретації просторово-розподілених даних [6] у процесі управління територіями. Власне різноманітність інформації, якою повинна оперувати система, і призводить до виникнення низки проблем, найголовнішою серед яких є опрацювання невизначеної інформації та проблема пошуку інформації.

ГІС у СУТ є складною технічною системою і, як будь-яка інша технічна система, вона повинна проходити випробування – реалізацію на практиці певного комплексу умов. Очевидно, що проведення таких випробувань тільки заради випробувань нереальне через характер та сутність ГІС у СУТ і велику вартість такого експерименту.

Одним із шляхів визначення оцінки впливу людино-машинних похибок при впровадженні ГІС у СУТ є імітаційне моделювання, пов'язане перед усім з їх формалізацією. Формалізація пов'язана зі значними проблемами, викликаними головним чином складністю формалізації психофізіологічних станів людини-оператора і складностями формалізації об'єктів дослідження в ГІС. В загальному випадку задача ускладнюється ще й тим, що об'єкти дослідження ГІС є динамічними системами.

Теорія і практика динамічних вимірів полягає у визначенні ймовірнісних характеристик випадкових процесів, що здійснюються на основі попередньо побудованої моделі аналізованого випадкового процесу. Модель дає можливість встановити алгоритми і технічні засоби вимірів. Якщо вона виявиться неадекватною реальному процесу, можуть виникнути значні похибки у вимірах – теоретичні і методичні систематичні похибки. Побудова моделі доповнюється на основі апріорних даних, гіпотез, фізичних і математичних тверджень.

Отже, результати імітаційного моделювання завжди суттєво відрізняються від реальності за рахунок апріорного характеру вхідної інформації. Звідси впливає постановка задачі експериментальної оцінки ГІС у СУТ у процесі функціонування (розвитку) за поточними результатами на виході ГІС, тобто випробувальний режим поєднується з робочим.

Оскільки повне виявлення усіх можливих похибок принципово неможливе, то певна частка інформації, що заноситься до файлів бази даних ГІС при первинному формуванні або актуалізації, є спотвореною. Крім того, не виявлені відразу похибки інформації можуть виникати й на інших етапах обробки даних, зокрема, під час «тиражування» викривленої інформації (проникнення в інші файли при розв'язанні інформаційно пов'язаних задач). У цих випадках застосовують оптимальні стратегії і процедури відновлення з використанням попереджуючих заходів захисту на основі фіксації контрольних точок, збереження копій тощо.

Отже, забезпечення достовірності обробки даних пов'язано з необхідністю вирішення комплексу взаємопов'язаних задач розробки ефективних методів контролю і/або їх раціонального вибору з урахуванням орієнтації на конкретну специфіку похибок, потенціальних витрат ресурсів на захист і наступне відновлення викривленої інформації. Не зважаючи на заходи з підвищення достовірності підготовки і обробки інформації, бази даних, СОД, у тому числі й ГІС, містять значну частку викривленої інформації. У випадках, коли надлишковість даних є великою (наприклад у текстовій інформації), похибки даних, що зберігаються в базах геоданих і вихідних даних, можна легко виявити і виправити. Завдяки цьому, наслідки похибок можуть бути несуттєві. Однак у більшості випадків ГІС опрацьовують формалізовану, малонадлишкову інформацію; при цьому ймовірність вияву похибок у вихідних документах низька і наслідки похибок можуть бути досить важкими. Типова «класична» технологічна схема процесу обробки інформації в ГІС містить певну послідовність етапів (рис. 2).

Викривлена інформація може бути внесена на будь-якому етапі (оператор неправильно зчитав показання приладу (табло екрана) або неправильно (нерозбірливо) записав їх у документ; працівник групи підготовки даних втратив один або декілька документів; оператор підготовки даних неправильно сприйняв нерозбірливо написаний реквізит і набрав на

клавіатурі помилкове значення; оператор правильно сприйняв символи вихідного тексту, але помилився при їх введенні з клавіатури (зробив «описку», пропустив або додав зайвий символ, змістив колонки документа, переставив місцями сусідні символи тощо); відбувся збій у пристрої підготовки або введення даних, який спотворив один або декілька символів; у процесі збереження даних на носіїв відбулось руйнування інформації через пошкодження покриття (файл не зчитується); у процесі обробки відбувся збій при зверненні до оперативної або зовнішньої пам'яті; через похибки у програмі обробки неправильно обчислений окремих показник або спотворений цілий файл).

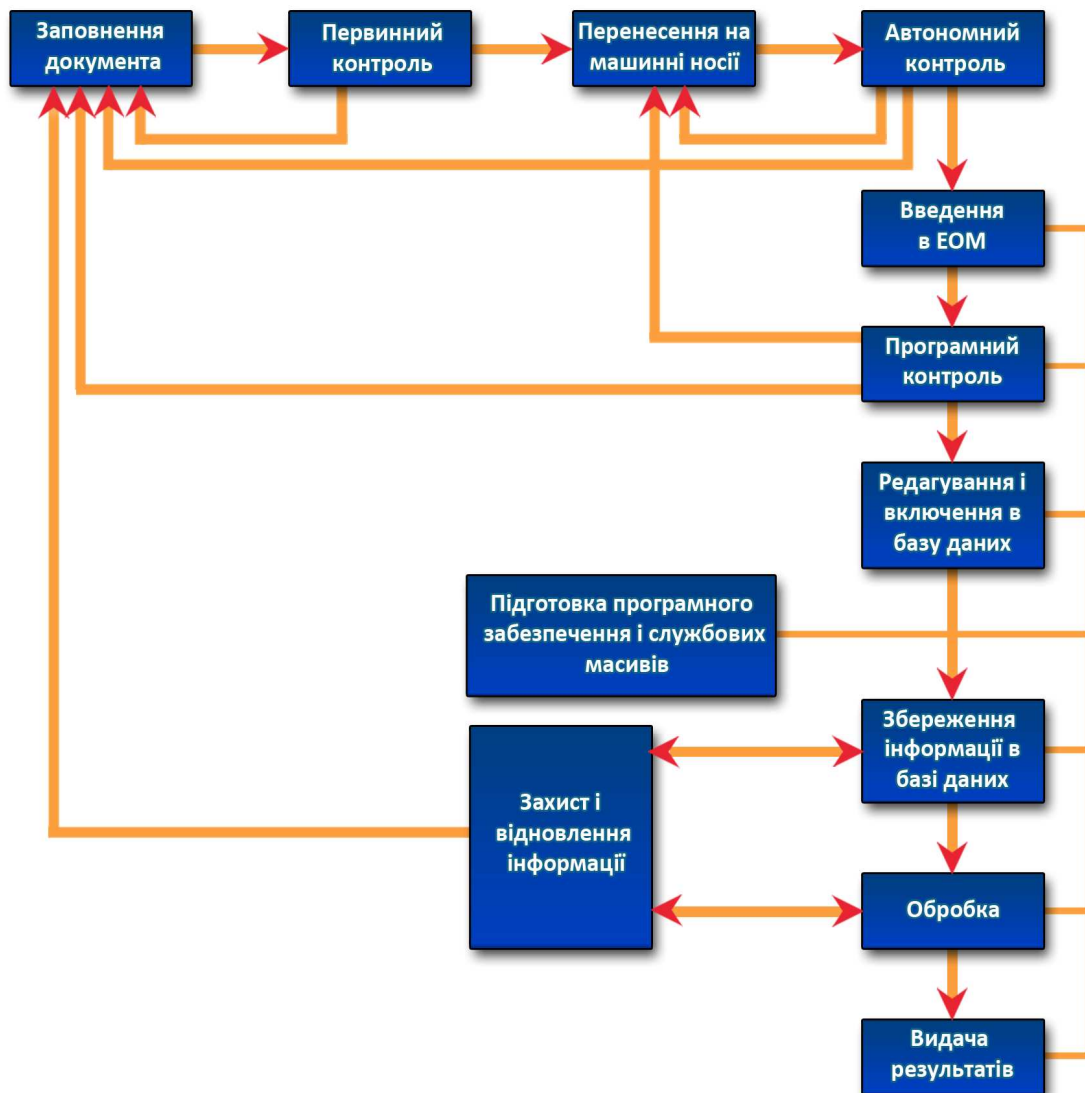


Рис. 2. Технологічна схема процесу обробки інформації ГІС в управлінні територіями

Варіанти можливої організації збору, підготовки і введення даних у комп'ютер можуть бути систематизовані таким чином:

1) реєстрація інформації на первинних документах з наступним їх введенням до ГІС у СУТ (етапи «заповнення документа», «первинного контролю», «перенесення на машинні носії», «автономного контролю» і «введення в комп'ютер» (рис. 2);

2) реєстрація інформації людино- і машинозчитуваних документів, їх безпосереднє введення до комп'ютера за допомогою спеціальних пристроїв;

3) одночасна реєстрація інформації на друкованих і машинних носіях та введення за допомогою стандартних пристроїв введення;

4) дистанційна передача зареєстрованої інформації каналами зв'язку до серверу з місця її виникнення.

Найперспективнішим варіантом є «автономний контроль» (для систем, яким не потрібна висока реактивність відносно процедур актуалізації баз даних) – «перенесення на машинні носії». Однак через низку організаційних і технічних причин питома вага цього варіанта, сукупність етапів якого супроводжується найбільшою участю людини і характеризується найбільшою кількістю похибок, поки що є дуже високою.

Незалежно від застосовуваного варіанта організації збору інформації в цілому викривлення і руйнування даних у процесі функціонування ГІС у СУТ виникає внаслідок трьох причин: похибки у вихідних даних, викликані людиною; збоїв і відмов обчислювальних пристроїв (пристроїв підготовки, введення і обробки); похибок у програмах обробки.

Приблизне усереднення розподілу інтенсивностей похибок перерахованих типів становить [7]: для електроніки –  $10^{-8} \dots 10^{-7}$  похибок/символ; електромеханіки –  $10^{-5} \dots 10^{-4}$  похибок/символ; для людини-оператора –  $10^{-3} \dots 10^{-2}$  похибок/символ. Наведені цифри вказують середню кількість викривлених елементів (зокрема, символів) інформації, що припадають на один невикривлений, і слугують мірою ймовірності появи похибок відповідного походження. З цих даних видно, що людина є найбільш ненадійною ланкою в ланцюзі процедур збору і обробки інформації.

Грунтуючись на теорії випадкових функцій, можна запропонувати таку методологію моделювання оцінки впливу людино-машинних похибок на точність ГІС у СУТ. У спрощеному вигляді можна прийняти, що об'єкти дослідження  $N$  у фіксований момент часу обробки інформації в ГІС перебувають у статичному стані. Тоді об'єкт  $N^0 \in N$  характеризується сукупністю незалежних параметрів  $z_1^0, z_2^0, \dots, z_n^0$ , які є характеристиками просторового положення різних точок об'єкта  $N$ .

Величина  $z$  – це узагальнена безрозмірна характеристика об'єкта дослідження, що відображає результат виміру певного параметра  $Z$  (наприклад, остаточне рішення для СППР, запис координат з приймача GPS, отримання інформації з пункту прийому даних ДЗЗ тощо). Ця величина є інтегративним підсумком роботи компонентів ГІС (персоналу, апаратного і ПЗ та середовища), і її похибка є складовою від похибок цих компонентів.

Умовно стан людини, приладу (програми) і середовища на момент початку виміру можна описати відповідно векторами  $G, M, S$  випадкових змінних:

$$G = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_i \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_j \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_k \end{pmatrix},$$

де  $i, j, k$  – розмірності векторів відповідно  $G, M, S$ .

Змінні  $g_i, m_j$  і  $s_k$  відрізняються істотним розкидом. Критерії оцінки значень достовірності, що характеризують окремі етапи переробки, залежать від мети і характеру розв'язання задач проектування або аналізу.

У всіх випадках критерієм виступає ймовірність викривлення елемента інформації або ймовірність невикривленої (безпомилкової) передачі (обробки) елемента, яка визначається як відносна кількість викривлених або невикривлених елементів інформації у загальному потоці інформації. При цьому, залежно від характеру вирішуваних питань, елементом інформації може бути символ (двійковий або алфавітно-цифровий), реквізит, запис.

У першому випадку мову ведуть про достовірність символу  $\sigma_c$ , у другому – про достовірність реквізиту  $\sigma_p$ , у третьому – про достовірність запису або рядка документа  $\sigma_s$ .

Якщо відома ймовірність викривлення символу  $\pi_c$  на певному етапі обробки, то для початку цього етапу при припущенні про незалежний характер викривлення окремих розрядів маємо

$$\sigma_c = 1 - \pi_c, \quad \sigma_{pj} = (1 - \pi_c)^{n_j}, \quad \sigma_s = \prod_{j=1}^m (1 - \pi_c)^{n_j},$$

де  $m$  – кількість реквізитів у записі;

$n_j$  – кількість символів  $j$ -го реквізиту.

Оскільки значення  $\pi_c$  зазвичай достатньо мале, то  $(1 - \pi_c)^{n_j} \approx 1 - n_j \pi_c$ .

Можна записати:  $\sigma_{pj} \approx 1 - n_j \pi_c = 1 - \pi_{pj}$ ,  $\sigma_s = \prod_{j=1}^m (1 - \pi_{pj})$ .

У загальному випадку задачу оптимізації забезпечення достовірності можна сформулювати як задачу мінімізації витрат відповідних ресурсів. Складність і практична неможливість точного розв'язання такої загальної задачі пояснюється двома основними причинами: складністю отримання і подання витрат ресурсів у порівняних одиницях і комбінаторним характером розв'язання задачі високої розмірності. У зв'язку з цим потрібні (бажані) значення достовірності інформації на різних етапах задаються з емпіричних міркувань на підставі експертних оцінок або літературних даних.

Вхідні дані, що виробляються людино-машинними системами, мають структуру, відмінну від структури даних, які контролюються в каналах зв'язку і апаратурі. Основні відмінності полягають у недвійковій основі системи числення і більш складній ієрархічній конструкції елементів інформації. Так, типова ієрархічна структура вхідних даних містить такі рівні агрегації: символ ( $q=10$  або більше) – слово або реквізит (сукупність символів) – запис (сукупність реквізитів) – блок записів (файл). Така ж структура характерна й для звичайної мови: символ – слово – речення – абзац (розділ, глава). Більш складна структура повідомлень, більш складний синтаксис визначають і більшу розмаїтість можливих похибок порівняно з двійковою інформацією.

Загалом для класифікації похибок підготовки даних і методів їх виявлення істотне значення мають чотири чинники: граматичний характер похибок; рівень агрегації контрольованих елементів; вид і форма, які використовуються для контролю надлишковості, момент внесення надлишковості до контрольованих елементів. З урахуванням першого чинника можна виділити два класи похибок: синтаксичні і семантичні.

Синтаксичні похибки спотворюють структуру і лексику подання даних, тобто порушують загальні правила побудови реквізитів і записів. Типові похибки такого типу полягають у пропуску символу (скорочення встановленої довжини реквізиту); додаванні зайвого символу (збільшення довжини реквізиту); заміні правильного символу на сторонній, що не відповідає знаковому шаблону реквізиту (наприклад, внесення алфавітного символу у числовий реквізит); зсуву за рядками або стовпчиками документа, що призводить до зміни формату і шаблону декількох реквізитів.

Семантичні похибки викривляють значення, зміст інформації і відповідності формальним синтаксичним правилам. Методи виявлення синтаксичних похибок достатньо прості (перевірка шаблонів форматів) і доволі розвинені у стандартних системах введення інформації. У зв'язку з цим практичне значення мають дослідження й удосконалення методів захисту від похибок другого класу – семантичних. З урахуванням цього чинника виділяють три основні рівні ієрархії контрольованих елементів: реквізит, запис, блок записів

(файл). У відповідності з цим семантичні похибки розбивають на три класи: орфографічні, змістовні і блочні [7].

Орфографічні похибки полягають у викривленні змісту речення, який визначається записом. Прикладом є переміна місцями однойменних (найчастіше сусідніх записів) реквізитів. При цьому кожний реквізит є «правильним» і відповідає множині припустимих значень, однак запис у загальному випадку містить спотворену інформацію. Виникнення таких похибок зумовлене тим, що оператор у процесі заповнення або копіювання «переключає» погляд з одного рядка на інший і продовжує заносити реквізити, які відносяться до іншого запису. Блочні похибки викривляють блок записів. При цьому кожний запис сам по собі може лишатися правильним, але блок виявляється дефектним. Можливими причинами дефектності є відсутність деяких записів, їх перестановка тощо. Такі похибки виникають у випадках втрати документів, неправильного комплектування носіїв інформації тощо.

З урахуванням третього чинника спектр конкретних методів контролю на кожному рівні агрегації контрольованих елементів визначається розмаїтістю способів введення інформації і використання надлишковості. При цьому виявлення орфографічних похибок можливе при наявності надлишковості в значеннях як окремих реквізитів, так і їх сполучень; змістовні похибки виявляються тільки при наявності надлишковості, яка охоплює сполучення реквізитів (у межах одного запису, декількох записів одного файлу, записів різних файлів); блочні похибки виявляються тільки при наявності надлишковості, що охоплює реквізити блоку записів.

З урахуванням четвертого чинника розрізняють два основних етапи підготовки даних, пов'язаних з появою значної кількості семантичних похибок: заповнення документів (формування повідомлень); перенесення документів на машинні носії і введення в комп'ютер (введення повідомлень). Відповідно виділяють два моменти введення надлишковості: перед заповненням документів і перед введенням у комп'ютер. У першому випадку можливе виявлення похибок, що виникли як на етапі заповнення, так і на етапі перенесення на машинні носії (етапі перекодування). У другому випадку виявляються тільки похибки етапу перекодування і наступних етапів.

Зазвичай при моделюванні людино-машинних похибок у ГІС (створенні ергадичних ГІС) виділяють найбільш істотні з них. Наприклад, для вектора  $G$  – фізіологічні змінні – характеристики зорового, слухового, тактильного, рухового й інших аналізаторів; психологічні змінні – характеристики сприймань, уявлень, мислення, уваги, пам'яті тощо; для вектора  $M$  – характеристики оптичних систем геодезичних приладів, дигітайзерів, моніторів, робочих м'ір і відлікових пристроїв, рівнів і компенсаторів нахилу, осьових систем тощо; для вектора  $S$  – характеристики змінних, пов'язаних із зображенням цілі (яскравість, контраст, колір тощо), і змінних, що впливають на роботу ГІС в управлінні територіями (температура, вологість, тиск, вібрації тощо).

Оскільки компоненти векторів є випадковими змінними, то можна вважати, що  $G, M, S$  – випадкові вектори. Величину  $z$  можна розглядати як функціонал  $z = f(U, V, W)$ , де  $U, V, W$  – випадкові величини, що залежать відповідно від випадкових векторів  $G, M, S$  і які представляють собою функції

$$U = \alpha(G) = \alpha(g_1, g_2, \dots, g_i),$$

$$V = \beta(M) = \beta(m_1, m_2, \dots, m_i),$$

$$W = \gamma(S) = \gamma(s_1, s_2, \dots, s_i).$$

Для певного параметра  $z_1^0$  величину  $z$  можна представити як вектор-функцію:



$$z = \begin{pmatrix} z_{i1} \\ z_{i2} \\ \dots \\ z_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{i1}(U, V, W) \\ f_{i2}(U, V, W) \\ \dots \\ f_{in}(U, V, W) \end{pmatrix} = f(U, V, W), \quad (1)$$

де  $z_{in}$  – кількість вимірів параметра  $z_1^0$ .

Встановлення закону розподілу  $z$  – досить складна задача. Для цього необхідно знати загальний розподіл випадкових величин  $U, V, W$ , що є функціями відповідно випадкових векторів  $G, M, S$ . Визначити ж загальний розподіл величин  $U, V, W$  поки що не представляється можливим. Тому на практиці можна обмежитися пошуком числових характеристик розподілу величини  $z$  за числовими характеристиками розподілу випадкових величин  $U, V, W$ .

Вибір функцій  $f, \alpha, \beta, \gamma$  при моделюванні людино-машинних похибок у ГІС є важливою задачею і залежить від конкретних умов, стану параметрів системи і виду робіт, що виконуються людиною-оператором. Можна припустити, що вони є детермінованими, не змінюються в інтервалі часу виміру і від виміру одного об'єкта до іншого в даній серії вимірів.

Функції  $f, \alpha, \beta, \gamma$  можна знайти за допомогою алгоритму, заснованого на застосуванні імітаційного моделювання з використанням комп'ютера. При цьому як вихідні дані беруться конкретні реальні значення  $g_i, m_j$  і  $s_k$ , що відносяться до конкретних вимірів. Функції  $\alpha, \beta, \gamma$  і  $f$  представляються у вигляді квадратичної форми від змінних  $g_i, m_j$  і  $s_k$ . У подальшому здійснюють імітаційне моделювання з використанням нормально розподілених випадкових величин для одержання статистично великої кількості випадкових змінних, тобто моделюють результати отримання інформації за допомогою ГІС в управлінні територіями на підставі даних  $g_i, m_j$  і  $s_k$ . Далі за методом найменших квадратів визначають коефіцієнти рівнянь для кожної функції. Оскільки у функціях  $\alpha, \beta, \gamma$  значення  $g_i, m_j$  і  $s_k$  мають різну розмірність, для приведення їх до безрозмірного вигляду використовують такі центровані величини:

$$\frac{g_i - \bar{g}}{\sigma_{g_i}}, \quad \frac{m_j - \bar{m}}{\sigma_{m_j}}, \quad \frac{s_k - \bar{s}}{\sigma_{s_k}}.$$

Величини  $f, \alpha, \beta, \gamma$  залежать від значення математичного очікування функції  $z$ . Тому в кожному конкретному випадку зі зміною  $z$  будуть змінюватися і величини  $f, \alpha, \beta, \gamma$ .

Використовуючи наведену методику, можна моделювати різні варіанти людино-машинних похибок у ГІС, підбирати оптимальні значення окремих компонент.

При моделюванні процесу обробки інформації ГІС у СУТ важливим питанням є не стільки моделювання самого процесу, скільки моделювання похибок, що виникають у процесі обробки. Тому актуальним є визначення середньої квадратичної погрішності  $\sigma_z$ .

Похибка функції залежить від погрішностей аргументів  $U, V, W$ , за якими вона обчислюється, і від вигляду  $f$  самої функції.

$$\sigma_z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial U}\right)^2 \sigma_U^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial V}\right)^2 \sigma_V^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial W}\right)^2 \sigma_W^2 + 2\left(\frac{\partial f}{\partial U}\right)\left(\frac{\partial f}{\partial V}\right) \cdot \text{cov}(U, V) + \dots}$$

$$+ 2 \left( \frac{\partial f}{\partial U} \Big|_P \right) \left( \frac{\partial f}{\partial W} \Big|_P \right) \cdot \text{cov}(U, W) + 2 \left( \frac{\partial f}{\partial V} \Big|_P \right) \left( \frac{\partial f}{\partial W} \Big|_P \right) \cdot \text{cov}(V, W), \quad (2)$$

де  $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$ ,  $\sigma_W$ , – середньоквадратичні похибки випадкових змінних  $U$ ,  $V$ ,  $W$ , тобто похибки, що вносяться людиною, ГІС в управлінні територіями або окремим приладом і середовищем;

$\text{cov}(U, V)$ ,  $\text{cov}(U, W)$ ,  $\text{cov}(V, W)$  – коваріації між випадковими змінними  $(U, V)$ ,  $(U, W)$ ,  $(V, W)$ .

Середньоквадратичні похибки  $\sigma_U$ ,  $\sigma_V$  і  $\sigma_W$  можна визначити відомими способами при апріорному розрахунку з формули (2), якщо відома середньоквадратична похибка  $\sigma_z$ . Їх також можна оцінити з формули (1) за умови, що спільні розподіли компонентів векторів  $G$ ,  $M$ ,  $S$  сконцентровані головним чином в околі точок А  $(\overline{g_1}, \overline{g_2}, \dots, \overline{g_i})$ ; В  $(\overline{m_1}, \overline{m_2}, \dots, \overline{m_j})$ ; С  $(\overline{s_1}, \overline{s_2}, \dots, \overline{s_k})$ .

Провівши попередні дослідження стану компонентів людино-машинної системи (людини-оператора, приладу (програми) і середовища), можна вказати границі, в яких змінюються похибки, що вносяться людиною-оператором –  $\sigma_U$ , ГІС в управлінні територіями (приладом) –  $\sigma_V$  і середовищем –  $\sigma_W$ :

$$\underline{\sigma_U} \leq \sigma_U \leq \overline{\sigma_U}, \quad \underline{\sigma_V} \leq \sigma_V \leq \overline{\sigma_V}, \quad \underline{\sigma_W} \leq \sigma_W \leq \overline{\sigma_W}.$$

Моделювання процесу обробки інформації в ГІС можна здійснювати й іншими методами. Наприклад, можливий метод моделювання процесу обробки інформації в ГІС, заснований на ідентифікації їх моделей методами багатовимірного лінійного регресійного аналізу. Такий підхід ґрунтується на припущенні, що ГІС у СУТ у процесі обробки інформації нагадує відстежувальні системи, за аналогією з якими структурна схема спостережень і фіксації інформації може бути подана у вигляді, представленому на рис. 3.

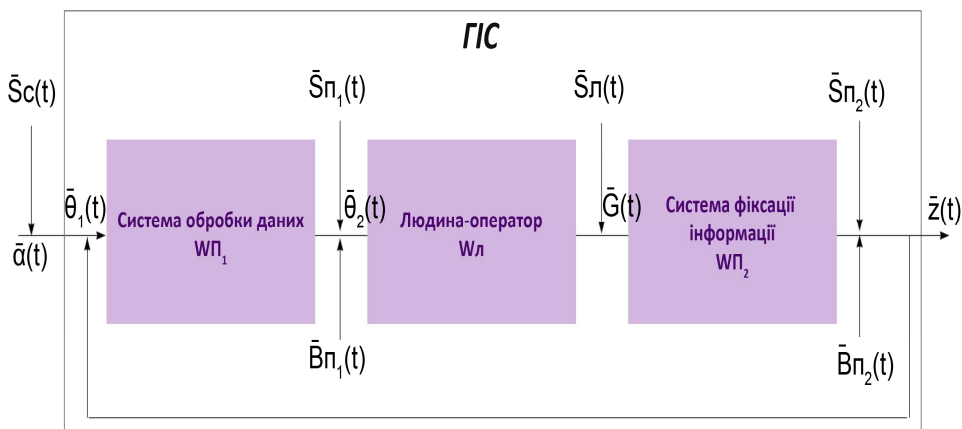


Рис. 3. Функціональна схема процесу обробки інформації ГІС в управлінні територіями

На рис. 3  $\overline{\alpha}(t)$  – вхідний сигнал;  $\overline{z}(t)$  – вихідний сигнал (результати спостережень);  $\overline{S_C}(t)$ ,  $\overline{S_{\Pi_1}}(t)$ ,  $\overline{S_{\Lambda}}(t)$ ,  $\overline{S_{\Pi_2}}(t)$  – вплив зовнішнього середовища на вхідний сигнал, людину-оператора і прилад (програму);  $\overline{\theta_1}(t)$  – сигнал, що надходить на вхід системи обробки інформації в ГІС;  $\overline{\theta_2}(t)$  – сигнал, що надходить до людини;  $W_{\Lambda}$ ,  $W_{\Pi_1}$  і  $W_{\Pi_2}$  – передатні фун-

кції людини-оператора і відповідних систем ГІС;  $\bar{B}_{\Pi_1}(t)$  і  $\bar{B}_{\Pi_2}(t)$  – вплив похибок приладу на сигнал, що проходить через певний функціональний блок, тобто транзитний сигнал.

Простежимо шлях проходження сигналу  $\bar{\alpha}(t)$  у системі обробки інформації ГІС в управлінні територіями. На вхід ГІС надходить сигнал  $\bar{\theta}_1(t)$ , зашумлений впливом зовнішнього середовища  $\bar{S}_C(t)$ . Далі він перетворюється оператором  $W_{\Pi_1}$  і на нього здійснюють вплив завади  $\bar{S}_{\Pi_1}(t)$  і  $\bar{B}_{\Pi_1}(t)$ . У результаті він стає сигналом  $\bar{\theta}_2(t)$ , який надходить на вхід до людини-оператора.

Перетворений оператором  $W_{\Lambda}$  і впливом завади  $\bar{S}_{\Lambda}(t)$ , він стає сигналом  $\bar{G}(t)$ , який фіксується на пристроях реєстрації і носіях інформації ГІС в управлінні територіями.

У свою чергу на сигнал  $\bar{G}(t)$  здійснюють вплив оператор  $W_{\Pi_2}$  і завади  $\bar{S}_{\Pi_2}(t)$  і  $\bar{B}_{\Pi_2}(t)$ . Після всіх цих трансформацій на виході утворюється результат виміру. При цьому необхідно враховувати важливу обставину. Завади  $\bar{S}_{\Pi_1}(t)$ ,  $\bar{S}_{\Lambda}(t)$  і  $\bar{S}_{\Pi_2}(t)$ , по суті, роблять вплив не на сам транзитний сигнал, а на оператори  $W_{\Pi_1}$ ,  $W_{\Lambda}$  і  $W_{\Pi_2}$ . У результаті трансформуються передатні функції функціонального блока (програми) і людини-оператора, що позначається на якості транзитного сигналу.

Отже, вихідна величина  $\bar{z}(t)$  буде визначатися таким чином:

$$\bar{z}(t) = W_{\Pi_2} \bar{G}(t) + \bar{S}_{\Pi_2}(t) + \bar{B}_{\Pi_2}(t),$$

де  $\bar{G}(t) = W_{\Lambda} \bar{\theta}_2(t) + \bar{S}_{\Lambda}(t)$  і  $\bar{\theta}_2(t) = W_{\Pi_1} \bar{\theta}_1(t) + \bar{S}_{\Pi_1}(t) + \bar{B}_{\Pi_1}(t)$ .

При аналізі й синтезі ГІС у СУТ необхідно мати інформаційну математичну модель, що характеризує залежність виходів  $\bar{\theta}_2(t)$ ,  $\bar{G}(t)$  і, врешті-решт,  $\bar{z}(t)$  від впливу відповідно характеристик  $\bar{\theta}_1(t)$ ,  $\bar{\theta}_2(t)$  і  $\bar{G}(t)$ .

Побудова математичної моделі полягає у визначенні оператора  $F$ , що ставить у відповідність  $z$  і  $\bar{G}$ :

$$z = F(\bar{G}). \quad (3)$$

Аналіз стохастичного зв'язку між  $z$  і  $\bar{G}$  зводиться до пошуку числових значень оцінок і дисперсій оцінок коефіцієнтів передбачуваного зв'язку між величинами  $z$  і  $\bar{G}$  (оцінювання параметрів зв'язку).

Одним із способів побудови математичних моделей подібних систем є спосіб статистичної пасивної ідентифікації [8], при якій математична модель будується, ґрунтуючись на спостереженнях за випадковими вхідним  $\bar{G}$  і вихідним  $z$  сигналами.

Достатньо повною ймовірнісною характеристикою оператора  $F$  є оператор умовної щільності ймовірностей  $f(z|\bar{G})$  вихідного сигналу  $z$  при спостереженні вектора  $\bar{G}$  (вхідного сигналу). Ця характеристика встановлюється дослідним шляхом і є оператором, який визначає зв'язок між повними ймовірнісними характеристиками вхідної і вихідної випадкових величин, тобто між щільностями ймовірностей  $f(\bar{G})$  і  $f(z)$  –

$$f(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(z|\bar{G}) / f(\bar{G}) d\bar{G}.$$

Стохастична залежність (3) може бути охарактеризована рівнянням регресії – умовним математичним очікуванням  $M[z|\bar{G}]$  випадкової вихідної змінної  $z$  при фіксованому векторі значень вхідного сигналу  $\bar{G}$ :

$$M[z|\bar{G}] = \Phi(\bar{G}) \quad (4)$$

і центрованим випадковим відхиленням  $\psi(z)$  випадкової величини  $z$  від умовного середнього. Отже, стохастичний зв'язок (3) можна представити у вигляді  $z = M[z|\bar{G}] + \psi(z)$ . Зазвичай передбачається, що структура рівняння регресії (4) має такий вигляд:

$$M[z|\bar{G} = \bar{g}] = M[z|g_1, g_2, \dots, g_n] = a_0 + a_1 g_1 + \dots + a_n g_n, \quad (5)$$

де  $g$  – спостережуване значення випадкового вектора  $\bar{G}$ .

Аргументи  $g_1, g_2, \dots, g_n$  визначають  $z$  лише в середньому, тобто  $z$  залежить у «середньому» лінійно від аргументів  $g_1, g_2, \dots, g_n$ . Задача полягає в перевірці правомірності припущення про наявність залежності вигляду (5) і знаходженні оцінок коефіцієнтів  $a_0, a_1, \dots, a_n$  рівняння (5), які дають мінімум функціоналу:

$$T(a_0, a_1, \dots, a_n) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \{z_j - (a_0 + a_1 g_{1j} + \dots + a_n g_{nj})\}^2.$$

Ця задача вирішується за допомогою способу найменших квадратів і розв'язку систем лінійних рівнянь відносно невідомих коефіцієнтів рівняння регресії. Величина коефіцієнтів  $a_i$  вказує на ступінь впливу  $i$ -ї характеристики  $G_i$  на вихід  $z$ . Аналогічно можна визначити наявність і величину зв'язків між  $\bar{\theta}_2$  і  $\bar{G}$ ,  $\bar{\theta}_1$  і  $\bar{\theta}_2$ .

#### 4. Висновки

Важливість визначення людського фактора в системі управління територіями визначається тим, що інтенсивність процесу внесення похибок людиною на 1–2 порядки перевищує інтенсивність збоїв технічних пристроїв, особливо при підготовці і введенні даних у ГІС операторами з недостатньою кваліфікацією.

Забезпечення достовірності обробки даних пов'язано з необхідністю вирішення комплексу взаємопов'язаних задач розробки ефективних методів контролю і/або їх раціонального вибору з урахуванням орієнтації на конкретну специфіку похибок, потенціальних витрат ресурсів на захист і наступне відновлення викривленої інформації.

За допомогою запропонованої моделі можна визначити усереднені характеристики процесу обробки інформації ГІС у СУТ, при яких на виході отримують значення у припустимих границях у процесі експлуатації. Цим характеристикам будуть відповідати певні величини зв'язків між зазначеними вище сигналами, які можна назвати базовими. Виділяючи для конкретного випадку величини зв'язків, можна визначити, чи виходять вони (і які саме) за межі базових значень, і зробити висновок про джерело збурень і величину його впливу на кінцевий результат.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Эдельман В.И. Надежность технических систем: экономическая оценка / Эдельман В.И. – М.: Экономика, 1988. – 151 с.

2. Стрелков Ю.К. Инженерная и профессиональная психология: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / Стрелков Ю.К. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 360 с.
3. Пат. України на винахід № 76642, МПК (2006) G09B 19/00. Спосіб тренажерного комп'ютеризованого навчання виконанню техн. процесів геодезичних і землепорядних робіт / Боровий В.О., Бурачек В.Г., Зацерковний В.І., Терещук О.І; патентовласник ЧДІЕУ; заявл. 24.12.04; опубл. 15.08.06, Бюл. № 8.
4. Пат. України на винахід 82750, МПК (2006) G01C 3/00. Оптико-електронний тренажерний пристрій для навчання геодезичним вимірам / Боровий В.О., Бурачек В.Г., Зацерковний В.І., Воеділов І.А., Макаренко О.М.; патентовласник, ЧДІЕУ. – № 82750; заявл. 13.07.06; опубл. 12.05.08, Бюл. № 9.
5. Пат. України на винахід 95319, МПК (2011.11) G01C 11/02. Інтелектуальна система тренажерного навчання геодезичних вимірів / Бурачек В.Г., Зацерковний В.І., Паранич В.П., Коледа Л.Д., Хомушко Д.В.; патентовласник Коледж інформаційних технологій та землепорядкування. – № 95319; заявл. 28.05.09; опубл. 25.07.11, Бюл. № 14.
6. Бурачек В.Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних / Бурачек В.Г., Железняк О.О., Зацерковний В.І. – Ніжин: ТОВ Видавництво «Аспект-Поліграф», 2011. – 440 с.
7. Москвин Б.В. Теория принятия решений: учебник / Москвин Б.В. – СПб.: ВКА им. Можайского, 2005. – 383 с.
8. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: учебник для вузов: в 2 т. / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян. – [2-е изд., испр]. – Т. 1: Айвазян С.А. Теория вероятностей и прикладная статистика. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.

*Стаття надійшла до редакції 22.05.2013*