

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.44>
УДК 004.62

Моделювання інформаційно-системних властивостей процесу реалізації вимірювань заданої надійності

Положаєнко Сергій Анатолійович¹⁾

Д-р техніч. наук, професор, завідувач каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4082-8270>; sanp277@gmail.com

Прокоф'єва Людмила Леонідівна¹⁾

Ст. викл. каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-2402>; luleopro@gmail.com

Руський Петро Вікторович¹⁾

Аспірант каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3896-9329>; peter.russkiy@gmail.com

Татарин Олексій Васильович¹⁾

Аспірант каф. Комп'ютеризованих систем та програмних технологій
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3888-6569>; tatarynov@gmail.com

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

Для останніх років характерно неперервне ускладнення систем, призначених для реалізації тих або інших інформаційних процесів, та зростання різноманіття таких процесів в одній системі. Збільшується також число джерел та приймачів інформації, ускладнюються процеси обробки інформації.

На відміну від окремо створюваних раніше систем автоконтролю, телемеханіки, передачі інформації, зберігання та пошуку інформації, тощо на теперішній час створюються комплексні системи, які набули назву інформаційних або ж, в залежності від свого основного призначення, інформаційно-вимірювальних, інформаційно-довідкових та інформаційно-керуючих. Однією з важливих практичних задач, з якими приходиться стикатися при створенні інформаційних систем (ІС), є забезпечення достовірності отриманої при вимірюванні інформації. Дієвим шляхом вирішення цієї задачі можна вважати застосування метрологічного аналізу (МА) на всіх етапах життєвого циклу ІС: при проектуванні, виробництві, експлуатації та відновленні (ремонті).

Метрологічний аналіз складає один з найважливіших розділів метрології, забезпечуючи виконання фундаментальної умови вимірювань — встановлення гарантованої точності отриманих результатів.

В цілому, метрологічний аналіз (МА) охоплює, як різноманітні методи досліджень (розрахунковий, за допомогою імітаційного моделювання (ІМ) або за допомогою метрологічного експерименту (МЕ), так і різноманітні об'єкти цих досліджень (похибки, характеристики похибок, метрологічні характеристики (МХ) засобів та умов вимірювань). Таким чином, важливою задачею є розрахункове оцінювання характеристик похибок — складова частина МА, яка відіграє особливу роль на етапах проектування (синтезу) вимірювальних засобів (процедур), а також в ситуаціях, коли інші методи (ІМ, МЕ) не можуть бути використані або виявляються неефективними.

Окрім визначення оцінок похибок вимірювальних процедур також важливим питанням при організації вимірювань є синтез раціонального варіанту структури інформаційної (або інформаційно-управляючої) системи (підсистеми) (ІУС). Ця задача пов'язана з вибором технічних засобів, що характеризуються певною множиною показників, іноді, навіть, суперечливих. Звідси виникає необхідність розв'язання математичної задачі (зокрема, математичного моделювання), що трактується як багатокритеріальна.

Виділено групу оцінок надійності на кожному етапі здійснення вимірювань, для яких сформовано фактори, що визначають точність та достовірність процесу оцінювання. Досліджено похибки вимірювань, зокрема, системні регулярні та методичні. Побудовано «зони» перерозподілу значущості факторів, які впливають на точність та достовірність вимірювань.

Ключові слова: інформаційні системи; інформаційно-вимірювальні системи; оцінки надійності та достовірності вимірювань; похибки вимірювань

Вступ. Інформаційні та інформаційно-вимірювальні системи набувають всебічного застосування у всіх сферах діяльності людини: техніці, науці, транспорті, суспільному житті тощо. Від якості (точності) та надійності функціонування цих систем, у значній мірі, залежить достовірність отриманої за їх допомогою інформації та прийняття – на підставі останньої – подальших рішень [1]. З огляду на зазначене, дослідження надійності функціонування інформаційних та інформаційно-вимірювальних систем набуває першочергового значення. Одним з дієвих та ефективних (з точки зору матеріальних витрат) шляхів розв'язання задачі дослідження якісних характеристик вказаного класу систем є моделювання.

В практиці визначення надійності (або, що те саме – діагностування технічного стану), зокрема, тензометричних систем, не завжди можна застосувати точні моделі. Це пов'язано з відсутністю

повної вихідної інформації щодо виміру параметрів, зокрема апаратних засобів систем вимірювання (АЗСВ), часу та умов експлуатації, якості проведених технічних оглядів та ремонтів. Тому, в прикладних дослідженнях цілком допустимо використання також і **евристичних моделей** вимірювальних процедур, Особливості застосування останніх полягає у наступному.

Діагностування являє собою одну з найбільш інтелектуальних процедур в процесі експлуатації складних технічних об'єктів (СТО). Однак, при створенні об'єктів діагностування (ОД) знання щодо них, які вкладаються в алгоритми, програми АЗ діагностування, часто виявляються недостатніми для забезпечення необхідного рівня готовності ОД в процесі його експлуатації. Це відноситься до таких ОД, як, наприклад, автономні вимірювальні системи. Такі ОД являють собою складні динамічні системи зі значною структурою, часовою та функціональною надлишковістю, та такі, що складаються з великої кількості елементів з різноманітними принципами дії, режимами роботи, процедурами обслуговування і умовами експлуатації. Процеси деградації в елементах таких СТО мають різноманітні закономірності і часто недостатньо вивчені. Досить проблематичною є установка необхідних датчиків щодо забезпечення задачі діагностування (навіть, якщо вони існують) на ряді елементів та організація інтерфейсу для передачі діагностичної інформації. Зазначене вище зумовлює обмеженість вихідної бази знань (БЗ) системи діагностування та призводить до зниження рівня достовірності рішень, що приймаються, про актуальні та прогностичні технічні стани ОД. Очевидно, що для таких ОД досить проблематично створити точні моделі, але, з достатньою для практики точністю, можна застосувати зазначені вище евристичні моделі, які відбивають найважливіші особливості відповідних ОД.

В загальній теорії вимірювань [1] під **вимірювальною процедурою** (ВП) розуміється операція порівняння об'єктів за деякими ознаками, що вміщує в собі визначення відношень між об'єктами та спосіб їх порівняння. При цьому під об'єктом мається на увазі рівень зумовленості (інтенсивності) тої або іншої властивості (якості).

Нехай S є множина рівнів зумовленості певної діагностичної ознаки, і на цьому рівні існує множина відносин V , наприклад, відносин домінування. Введемо множину L певних елементів (термінів, символів, найменувань) та множину W відношень на ньому, наприклад, відношень порядку, а також однозначне відображення g елементів множини S на множину L . Сукупність процедур формування вказаних множин, а також відображення g і являють собою процедуру вимірювання, а кортеж $\{S, V, L, W, g\}$ при цьому виступає в якості «шкали».

Основна частина. З інформаційно-системної аксіоматики формалізації процесу реалізації вимірювань заданої надійності слід виділити оцінку надійності на кожному етапі здійснення вимірювань (зокрема: фіксація величини, що вимірюється, первинним датчиком; перетворення первинної інформації у вигляді неелектричної фізичної величини в електричний сигнал; передача електричного сигналу з певними параметрами по каналу зв'язку; прийом електричного сигналу з каналу зв'язку; його перетворення та інформаційна обробка, тощо), яка характеризує хід вимірювань з метою з'ясування питань щодо досягнення вимірюваннями необхідних (достовірних) значень, а саме: $PH_i, i = \overline{1, n}$ (n – число задіяних етапів процесу вимірювань). Крім того слід з'ясувати: наскільки достовірно виконано оцінку. Береться до уваги, що кожний етап процесу вимірювань завершується підтвердженням виконанням вимог стосовно надійності $PH_{ij} \in [PH_{ij}]_{\gamma}, i = \overline{1, n}$ з урахуванням довірального інтервалу значень показників надійності при довіральної вірогідності γ . Останнє співвідношення має сенс лише в «інформаційній системі координат» j -го етапу процесу вимірювань, оскільки об'єктом, що підлягає оцінюванню є результат вимірювань саме на j -му етапі.

Виходячи з цих положень, необхідно враховувати дві групи факторів, що визначають точність та достовірність оцінки значень PH_{ij} [2–4]. Це фактори, які визначають точність та достовірність оцінки значень PH в «інформаційній системі координат» j -го етапу вимірювань, та фактори, які визначають точність та достовірність оцінки в «інформаційній системі координат» завершального етапу процесу вимірювань. При цьому, факторами першої групи виявляються: ступінь відповідності моделі, за якою здійснюється оцінювання PH , до результату вимірювань на j -му етапі; адекватність, достовірність та точність вихідної (вимірювальної) інформації, що використовується

для оцінки PH_j ; адекватність, достовірність та точність метода оцінки PH (припущення метода, точність обчислювальних процедур, точність обробки результатів). До факторів другої групи можна віднести: ступінь відповідності (адекватності) результату j -го етапу вимірювань кінцевому результату вимірювань (завершальному значенню).

Причому, для кількісного виразу ролі факторів другої групи можна використати шкалу так званого «інформаційного коефіцієнта адекватності», який пропонується представляти наступним чином

$$0 \leq \eta_j \leq 1, j = \overline{1, s}.$$

Основними методами дослідження надійності результатів вимірювань на етапах процесу вимірювань є розрахункові методи [1, 5]. Їх реалізація має на увазі використання існуючого в даній предметній області розрахункового апарату та інформації щодо вірогідносних властивостей вихідних величин. Тому в рамках факторів першої групи, які визначають точність та достовірність оцінки значень PH_j формуються (за традиційною класифікацією [6]) похибки **систематичні** та **випадкові**.

Загальним видом похибок для методів, які використовуються для оцінки PH систем вимірювання, що проектується, виявляються **систематичні, регулярні** похибки, і ці похибки утворюються через неточність математичного опису процесу вимірювань, спрощенню вихідної фізичної картини інформаційних процесів – тобто являють собою **методологічні** похибки [7, 8]. Вказаний вид систематичних похибок, що притаманний факторам першої групи, повинен розглядатися лише в тій мірі, в якій можливо виразити відмінність етапного результату процесу вимірювань і тих математичних описів (математичних моделей), які використовуються на конкретному етапі вимірювань для виконання досліджень та розрахунків. В іншому випадку цей вид похибок повинен розглядатися в рамках факторів другої групи.

В числі з розглянутим видом **систематичних** похибок, методам оцінки PH процесу вимірювань можуть відповідати і інші види **методичних** похибок. Так, для методів статистичного моделювання властиві методичні похибки, що зумовлені використанням наближених процедур числового інтегрування вихідних диференціальних рівнянь, обмеженістю обсягів статистичних випробовувань, наближенням розподілів «вихідних» величин теоретичними функціями розподілу у вигляді відомих законів або розкладів у ряди (наприклад, Грама-Шарл'є та інш.). В рамках факторів першої групи, які визначають точність та достовірність оцінки значень PH_j окремих вимірювань, наявними є загальні для всіх методів оцінки надійності, що використовуються, випадкові похибки, які, в свою чергу, породжено неповним представленням про можливий випадковий характер фізичних явищ процесу вимірювання та передачі вимірювальної інформації, обмеженість та різноманітність вихідної статистичної інформації про них. Всі перераховані похибки, так само як і похибки методичного характеру, пов'язано з неточністю математичного опису процесу вимірювань (або апаратних засобів, за допомогою яких здійснюються вимірювання та передається вимірювальна інформація), можуть бути враховані розрахунковим шляхом або за допомогою **експертних оцінок**.

Аналіз розглянутих **систематичних** та **випадкових** похибок, що відносяться до факторів першої групи, і які визначають точність та достовірність оцінки PH , дозволяють визначити в «системі координат» j -го етапу вимірювань відповідність вимогам досягнутого рівня надійності (достовірності). Ці вимоги виконано, якщо оцінки $PH_j \in [HP]_y$. Однак, даний аналіз носить методичний характер у тому відношенні, що дає представлення щодо точності обчислення оцінок PH_j у межах інформаційної «системи координат», що розглядається. Причому, оскільки розглянуті похибки першої групи є, в певних межах, керованими (зміна кроку інтегрування, збільшення обсягу статистичних випробовувань, варіювання числом експертів, тощо), то в рамках j -ї «системи координат» формується обґрунтоване судження щодо виконання вимог відносно надійності.

Точність та достовірність оцінки PH_j результату здійснення вимірювань на j -му етапі визначаються з урахуванням похибок що відносяться до факторів другої групи. Ці похибки оцінюються інформаційним коефіцієнтом адекватності j -го перетворювача η_j . Причому, оцінка полягає у корегуванні значень довірю вальної вірогідності, з якою досягнуте на j -му етапі

підтвердження процесу вимірювань вимогам по надійності може бути перенесено на наступні етапи $\gamma_{j+1} = \eta_j \cdot \gamma_j$.

На завершуючих етапах вимірювального процесу використовуються моделі та методики оцінки досягнутого рівня надійності, адекватні щодо конкретної процедури вимірювань та апаратних засобів її реалізації. Вони обробляють фактичну експериментальну статистичну інформацію про хід процесу вимірювань.

В аналізі точності та достовірності оцінки *ПН* певного процесу вимірювань, актуальними є питання: як співвідносяться між собою фактори першої та другої групи, що визначають точність та достовірність *ПН*; які є можливості щодо підвищення точності та достовірності оцінки; як реалізувати витрати на підвищення точності та достовірності оцінювання. З метою формування відповідей на поставлені питання необхідно зіставити «долі недостовірності», які приходяться на фактори першої та другої групи. При цьому необхідно врахувати, що, оскільки, міру точності та достовірності по факторах першої групи (інтервал значень, в якому повинні знаходитись показники, що оцінюються, та відповідна довірлива вірогідність) регламентовано необхідністю підтверджувати на кожному етапі вимірювального процесу $PH_{ij} \in [HPI_{ij}] \gamma, i = \overline{1, n}$, то, у відношенні до цих факторів, не зовсім коректно ставити питання щодо підвищення точності та достовірності *ПН*. По відношенню до цих факторів необхідно розглядати задачі забезпечення перевірки виконання умов $PH_{ij} \in [HPI_{ij}] \gamma, \overline{1, n}$ для варіантів конструкторських розробок та раціоналізації витрат на вимірювання за рахунок використання для оцінки *ПН* адекватних j -му етапу інформаційних засобів. По відношенню до факторів другої групи зазначені питання сформульовано некоректно. Це означає, що можливі дії, спрямовані на підвищення достовірності оцінювання *ПН* певного процесу вимірювань. При цьому, оскільки достовірність оцінювання, в даному випадку, залежить від усієї сукупності інформаційних засобів, що визначають глибину та якість вимірювань на j -му етапі, у відповідності до поставлених критеріїв, то і зусилля повинні бути всебічними, спрямованими по всіх інформаційних складових. Зокрема, необхідно розширення спектру математичного моделювання певних етапів або всього процесу вимірювання в цілому; реалізація оптимізаційних та імітаційних досліджень; використання ефективних програмних засобів (навіть створення САПР) тощо.

Наведені міркування можуть бути доповнені якісним представленням тенденцій (рис. 1), що відбивають взаємодію інтенсивності вимірювань з послідовною реалізацією міри адекватності η_j , яка може розглядатися як відбиток цільового спрямування на результат, що досягається, в виконанні вимірювань на певному їх етапі. На рис.1 зіставлено зони «недостовірності», що визначаються факторами першої (крива 1) та другої (крива 2) груп. Між цими кривими перебуває зона, яка характеризує перерозподіл значимості вказаних факторів. Перерозподіл відбувається за рахунок зміни інформативності певних етапів вимірювань (точніше: їх «вагових коефіцієнтів»), що віднаходить відображення у підвищенні значень інформаційного коефіцієнту адекватності на величину $\Delta\eta_j$.

Підвищення точності та достовірності оцінки *ПН* процесу вимірювань при переході з етапу на етап (за умови виконання вимоги: кожний етап закінчується підтвердженням правила $PH_{ij} \in [HPI_{ij}] \gamma$) може досягатися за рахунок прийняття до уваги на наступному етапі достовірності оцінки, яку досягнуто на попередньому етапі та яка переноситься на етап, що розглядається, за правилом $\gamma_{j+1} = \gamma_j \eta_j$. При цьому, перенесення центра тяжіння щодо якості процесу вимірювань на попередній його етапи, спричиняє очевидний ефект: $\gamma_{j+1} = \gamma_j (\eta_j + \Delta\eta_j)$, $\Delta\gamma_{j+1} = \gamma_j \Delta\eta_j$, де $\Delta\gamma_{j+1}$ – прирощення достовірності, що переноситься на наступний етап вимірювань, за рахунок прирощення значень інформаційного коефіцієнта адекватності.

При «просуванні» по етапах процесу вимірювань, по мірі зміни значущості факторів першої та другої груп, у зв'язку зі зближенням етапного результату реалізації вимірювань, принциповим стає можливість обліку достовірності в оцінці *ПН* процесу вимірювань, яку досягнуто на попередньому етапі і яку задіяно у розрахунку *ПН* на поточному етапі процесу вимірювань.

В даному випадку є задіяними значні складові загальних витрат на вимірювання, пов'язані із залученням інформаційних ресурсів, необхідних для точної та достовірної оцінки *ПН*.

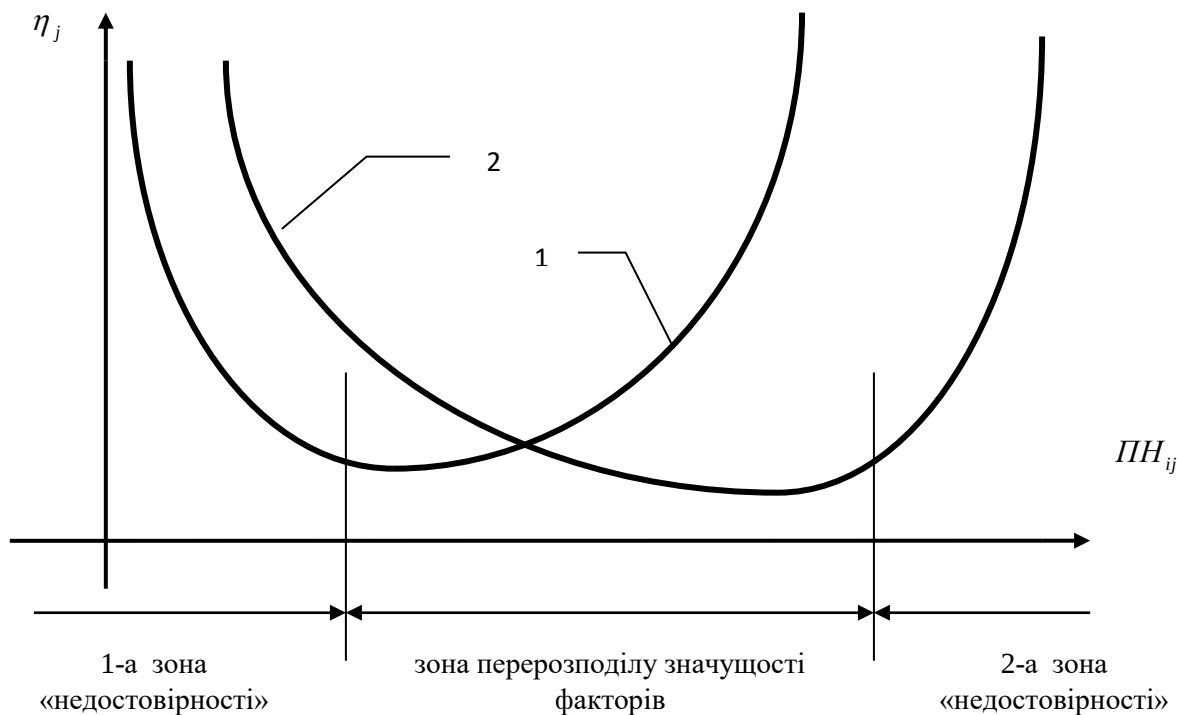


Рис. 1. Перерозподіл зон значущості факторів, що впливають на точність та достовірність вимірювань

Висновок. Показано, що в ході моделювання якісних характеристик інформаційних та інформаційно-вимірювальних систем можна дослідити систематичні та методичні похибки систем. При цьому моделювання дозволяє отримати об'єктивні характеристики, на відміну від часто застосованих експертних оцінок, заснованих на «суб'єктивізмі» експерта-людини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Savelev A. A., Prokofieva L. L. “Qualitative Analysis of Mathematical Models of Energy Processes Based on the General Theory of Models”. *Mathematical and Computer Modelling. Series: Technical Sciences*. 2025; 27: 140–148. DOI: <https://doi.org/10.32626/2308-5916.2025-27.140-148I>.
2. Положаєнко С. А., Гаращенко Ф. Г., Прокоф'єва Л. Л. “Математичне моделювання надійності тензометричних систем на основі евристичних моделей вимірювальних процедур”. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2022; 12 (4): 358–367. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v12.no4.358>.
3. Прокоф'єва Л. Л., Савельєв А. А. “Евристичні моделі вимірювальних процедур в задачах аналітичного дослідження тензометричних систем”. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія Техн. науки*. 2023; 24: 68–78. DOI: <https://doi.org/10.32626/2308-5916.2023-24.67-78>.
4. Savelev A. A., Prokofieva L. L. “Planning of the diagnostic experiment in the localization of troubleshooting failures of single-free systems”. *Informatics and Mathematical Methods in Simulation*. 2025; 15 (2): 166–175. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v15.no2.166>.
5. Savelev A. A., Prokofieva L. L. “Methods of Mathematical Simulation and Machine Identification of Abnormal Energy Processes”. *Colloquium-Journal*. 2024; 16 (209): 36–43, <https://colloquium-journal.org/wp-content/uploads/2024/06/Colloquium-journal-2024-209-1.pdf>. DOI: <https://doi.org/10.24412/2520-6990-2024-16209-36-42>.
6. Верлань А. А. “Аналіз можливості діагностування об'єктів зі структурою, яка переналаштовується”. *Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. праць ІПМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України*. 2008; 45: 3–9.
7. Верлань А. А., Положаєнко С. А., Осман І. Х. “Декомпозиційний метод локалізації несправних електронних підсхем”. *Електромашинобудування та електрообладнання*. 2007; 69: 72–76.

8. Verlan A., Polozhaenko S. “Formalization of Representation of Sequence of Test Hypotheses in Diagnosing Electronic Schemes”. *Proceedings of the 2018 IEEE 38th International Conference «Electronics and Nanotechnology» (IEEE Xplore Digital Library).* 2018. 548–552.

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.44>
UDC 004.62

Modelling of information system properties of the process of implementing measurements of a specific reliability

Sergii A. Poloshaenko¹⁾

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Computerized Systems and Software Technologies

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4082-8270>; sanp277@gmail.com

Ludmila L. Prokofieva¹⁾

Senior Lecturer of the Department of Computerized Systems and Software Technologies

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-2402>; luleopro@gmail.com

Peter V. Ruskiy¹⁾

Postgraduate Student of the Department of Computerized Systems and Software Technologies

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3896-9329>; peter.ruskiy@gmail.com

Oleksii V. Tataryn¹⁾

Postgraduate Student of the Department of Computerized Systems and Software Technologies

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3888-6569>; tatarynov@gmail.com

¹⁾ Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Av. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

In recent years, the continuous complication of systems designed to implement certain information processes and the growth of the diversity of such processes in one system is characteristic. The number of sources and receivers of information is also increasing, and information processing processes are becoming more complicated.

Unlike previously separately created systems of automatic control, telemechanics, information transmission, information storage and retrieval, etc., complex systems are currently being created, which have been called information or, depending on their main purpose, information-measuring, information-reference and information-management. One of the important practical tasks that one has to face when creating information systems (IS) is ensuring the reliability of the information obtained during measurement. An effective way to solve this problem can be considered the use of metrological analysis (MA) at all stages of the IS life cycle: during design, production, operation and restoration (repair).

Metrological analysis is one of the most important sections of metrology, ensuring the fulfillment of the fundamental condition of measurements – establishing guaranteed accuracy of the obtained results. In general, metrological analysis (MA) covers both various research methods (computational, using simulation modeling (IM) or using metrological experiment (ME)), and various objects of these studies (errors, error characteristics, metrological characteristics (MC) of measuring instruments and conditions). Thus, an important task is the computational assessment of error characteristics – a component of MA, which plays a special role at the stages of design (synthesis) of measuring instruments (procedures), as well as in situations when other methods (IM, ME) cannot be used or are ineffective.

In addition to determining the estimates of measurement procedure errors, an important issue in organizing measurements is the synthesis of a rational version of the structure of the information (or information-management) system (subsystem) (ISM). This task is associated with the choice of technical means characterized by a certain set of indicators, sometimes even contradictory. Hence the need to solve a mathematical problem (in particular, mathematical modeling), which is interpreted as multi-criteria.

A group of reliability estimates is identified at each stage of measurement, for which factors are formed that determines the accuracy and reliability of the assessment process. Measurement errors, in particular, systematic regular and methodical, are studied. “Zones” of redistribution of the significance of factors that affect the accuracy and reliability of measurements are constructed.

Keywords: Information systems; information-measuring systems; estimates of measurement reliability and reliability; measurement errors