

## ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА МЕТОДИ ДОСЯГНЕННЯ ЗАДАНИХ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ДАВАЧІВ

*Робота присвячена аналізу сучасного стану розвитку інформаційних і керуючих систем. Встановлено, що на сьогоднішній день з упевненістю можна говорити, що основними елементами, які визначають технічний рівень інформаційних і керуючих систем є саме давачі.*

*Вибір показника – критерію ефективності інформаційно-вимірювальної системи – важливий етапом формулювання цілей і завдань системи. Від цього етапу залежать уявлення про властивості системи і результати її роботи.*

*Для характеристики процесу вимірювання, як процесу перетворення інформації та енергії, слід ввести так звані інформаційно-енергетичні характеристики вимірювальних перетворювачів, які показують ефективність давача за характером інформаційно-енергетичного обміну в системі "об'єкт вимірювання – давач", і основні співвідношення для їх визначення.*

**Ключові слова:** вимірювання, давач, надійність, ресурс, перетворювач, інформаційний ККД

Характерною рисою світового розвитку інформаційних і керуючих систем кінця ХХ – початку ХІХ століття є все більш широке застосування в усіх сферах життєдіяльності давачів різноманітних фізичних величин. Вони застосовуються в промисловому контролі, в автоматизації інформаційно-виробничих процесів, в автомобільному, авіаційному і залізничному транспорті, ракетно-космічній та авіаційній техніці, тощо. На сьогоднішній день з упевненістю можна говорити, що основними елементами, які визначають технічний рівень інформаційних і керуючих систем є саме давачі. При цьому крім високих метрологічних характеристик давачі повинні мати високий ступінь надійності, довговічності, стабільності, мати малі габаритами, масу і енергоспоживання.

Різноманіття параметрів, що вимірюються на сьогоднішній день в різних галузях народного господарства, конструктивні особливості принципів дії, матеріали, що використовуються в давачах значно ускладнює їх аналіз і синтез, а також можливість досягнення ними необхідних експлуатаційних характеристик. Для кожного типу давачів характерні свої особливості будови, яка залежать також від конкретних цілей і завдань перетворення інформації.

Розробка нових, більш, сучасних вимірювальних пристроїв вимагає системного підходу до аналізу і синтезу перетворювачів інформації. Для цього вимірювальну систему і всі операції в ній, пов'язані з перетворенням інформації, слід розглядати як єдине ціле, у взаємозв'язку один з одним. При цьому слід враховувати цільове призначення системи для отримання необхідних властивостей системи не тільки за рахунок вдосконалення характеристик первинних або вторинних перетворювачів інформації, що входять в систему, але і за рахунок властивостей, обумовлених загальною структурою. Разом з тим, розгляд процесу перетворення інформації слід вести з урахуванням зовнішніх зв'язків (зовнішнього середовища), тобто враховувати вимоги розгляду аналізованої системи як частини (підсистеми) деякої більш загальної системи.

У більшості випадків показниками повноти досягнення мети побудови системи служать такі показники, як точність, надійність, економічна ефективність тощо. Вибір показника – критерію ефективності системи – важливий етапом формулювання цілей і завдань системи. Від цього етапу залежать уявлення про властивості системи і результати її роботи.

Всі сучасні інформаційно-вимірювальні системи (ІВС), побудовані із застосуванням мікропроцесорів, контролерів і комп'ютерів, неодмінно мають на низовому рівні (процес, установка, виріб, агрегат) давач – перетворювач контрольованих параметрів об'єкта. І якщо ці давачі не будуть мати необхідних експлуатаційними характеристиками, то програмно-апаратними засобами практично неможливо забезпечити інформативність вимірювань і контроль параметрів об'єкта. Все це призводить не тільки до фінансових втрат, але може стати причиною екологічних і техногенних катастроф. Разом з тим, підвищення стабільності давачів – дуже складна комплексна задача, яка включає в себе створення нових конструктивно-технологічних рішень, розробку прогресивних технологій, методів і процедур контролю випробувань, довготривалий аналіз відмов і дефектів давачів в процесі експлуатації.

Унікальні можливості в напрямку різкого підвищення ресурсу, надійності і

функціональних можливостей надаються за рахунок впровадження досягнень мікроелектроніки в процесі розроблення і виготовлення давачів нового покоління – мікроелектронних давачів. Інтеграція мікроелектронних конструкцій чутливих елементів зі схемами оброблення, підсилення і узгодження дозволяє якісно поліпшити їх характеристики шляхом надання мікроелектронним давачам штучного інтелекту.

Так, зокрема, використовуючи ефект мультичутливості напівпровідникових структур до різних фізичних параметрів, можна реалізувати комбіновані давачі, наприклад, тиску і температури, тиску і вібрацій, різного роду газоаналізатори.

Поряд з усвідомленням необхідності розв'язання проблем, пов'язаних із забезпеченням стабільності виготовлення продукції, слід розуміти, що дана проблема – багатогранна, оскільки, пов'язана з різними галузями знань (матеріалознавство, фізика твердого тіла, обчислювальна техніка, системний аналіз тощо). Тому для вирішення питань стабілізації параметрів давача необхідний комплексний, системний підхід, що включає наступні аспекти [3]:

- науковий (теоретичні дослідження, моделювання, аналіз різних фізичних ефектів);
- технологічний (розробка і впровадження нових технологічних процесів та операцій);
- матеріалознавчий (пошук і дослідження нових матеріалів, в тому числі і композитних).

Давач є основною інформаційною ланкою в системі «об'єкт регулювання – регулятор» [1]. Його взаємодія з вимірюваним середовищем або об'єктом регулювання визначає якість регулювання. Взаємодія в першу чергу визначається інформаційною сприйнятливістю давача, тобто можливістю сприймати максимальний обсяг інформації про контрольований об'єкт і передавати її з найменшими спотвореннями для подальшого оброблення. З іншого боку, так як давачі тиску, за своєю суттю є енергетичними перетворювачами, то їх якість характеризує енергетичний ККД. Таким чином, за характером інформаційно-енергетичного обміну в системі «об'єкт вимірювання – давач» можна говорити про його ефективність.

Для характеристики процесу вимірювання, як процесу перетворення інформації та енергії, слід ввести так звані інформаційно-енергетичні характеристики вимірювальних перетворювачів, що характеризують ефективність давача за характером інформаційно-енергетичного обміну в системі «об'єкт вимірювання – давач», і основні співвідношення для їх визначення. До таких характеристик можна віднести: 1) кількість інформації; 2) ентропія; 3) інформаційна здатність і інформаційний ККД; 4) енергетичний ККД і енергетична порогова чутливість.

Таким чином, на основі інформаційно-енергетичного підходу запропоновані узагальнені математичні моделі різного типу давачів, досліджені можливості оптимізації їх основних характеристик та шляхи досягнення умов їх оптимального функціонування. Ці моделі не призначені для синтезу нових технічних рішень і розрахунку вихідних характеристик [1-3].

Розробка нових перетворювачів і їх аналіз суттєво ускладнюється тим, що опис фізичних процесів, на яких заснований принцип дії цих перетворювачів, як правило, ведеться на мові, притаманному даному класу фізичних явищ (магнітних, електричних, гідравлічних тощо). Таке описання різних класів фізичних явищ істотно відрізняються одне від одного за математичним апаратом, що використовується і дозволяє глибоко досліджувати специфічні особливості, властиві відповідного класу явищ, але ускладнює синтез нових елементів управління.

Використання елементів теорії аналогій і подібності для опису найрізноманітніших за своєю природою явищ присвячено безліч робіт. Більшість з них не має на меті узагальнити опис процесів всіх без винятку фізичних явищ, і призначені лише для вивчення якого-небудь одного явища за аналогією з іншим відомим. Однак процеси первинного сприйняття і переробки інформації в перетворювачах, незважаючи на використання самих різних явищ, вимагає для свого опису єдиної узагальненої моделі, що відображає специфічні особливості процесу отримання і перетворення інформації. Таке завдання вирішує теорія енергоінформаційних моделей кіл [2,3].

Дана теорія використовується переважно на етапі пошуку нових технічних рішень. Переваги застосування теорії енергоінформаційних моделей полягають в наступному: по-перше, вона дозволяє розглядати явища різної фізичної природи за допомогою рівнянь, інваріантних до самої фізичної природи; по-друге, вона дозволяє об'єднувати в одній моделі явища різної фізичної природи; по-третє, дає можливість перекласти потужний апарат аналізу і синтезу електричних кіл на дослідження явищ іншої фізичної природи. Саме тому для опису самих різних за своєю природою явищ використовуються елементи теорії аналогій і подібності.

Енергоінформаційна теорія дає можливість не тільки графічно зображати причинно-

наслідкові зв'язки між величинами і параметрами, але і відносно просто отримати аналітичні залежності однієї величини у функції іншої величини.

Обмеженням для використання цієї теорії є недостатня кількість фізико-технічних ефектів, описаних енерго-інформаційним методом (близько 250 з 5000 відомих).

Суть інформаційно-енергетичного підходу до моделювання вимірювальних приладів полягає у встановленні якісних і кількісних зв'язків між енергією, витраченої при вимірах, і одержаної при цьому інформації. Будь який сенсор за своєю суттю є перетворювачем енергії (тиску, температури, удару, вібрацій тощо) в інформаційний сигнал (цифровий код, звуковий сигнал тощо), Тобто в ньому йде багатоступінчате перетворення енергії з одного виду в інший (тиск в деформацію, деформацію в зміну опору тощо). Окремі енергетичні потоки в процесі цих перетворень можна врахувати шляхом їх вимірювання, наприклад, струм, напруга, потужність, а інші виміряти дуже важко або взагалі неможливо, тому їх визначають побічно і часто дуже приблизно.

Для виявлення величин і параметрів в колі будь-якої фізичної природи використовуються основні і похідні критерії, які представляють собою певні елементарні взаємозв'язки між величинами параметрами всередині кола однієї фізичної природи. Відповідно до цих критеріїв, а також за експериментальними і теоретичними моделями, запропонованими фізиками для опису розглянутих процесів в колі певної фізичної природи, визначаються величини і параметрами даного кола.

Інформаційно-енергетична теорія варіює наступними величинами: P-величина імпульсу, U-величина впливу, I-величина реакції, Q-величина заряду; і параметрами: R-опір,  $G = 1 / R$ -провідність, C-ємність,  $W = 1 / C$ -жорсткість, L-індуктивність,  $D = 1 / L$ - дедуктивність.

Величини характеризують зовнішній вплив на коло даної природи і її реакцію на цей вплив. Параметри характеризують відносну незмінність матеріального середовища, в якій протікають фізичні процеси.

Аналіз і синтез технічних рішень істотно полегшується, якщо розглядати відповідний технічний пристрій, як сукупність простих ланок, кожна з яких характеризує елементарну залежність величини або параметра від іншої величини тієї ж або іншої фізичної природи. Принцип дії будь-якого перетворювача заснований на взаємодії кіл різної фізичної природи. Все це дозволяє формалізувати опис принципу дії перетворювача механічної величини в вигляді параметричної структурної схеми. Кожна елементарна ланка такої схеми відображає одне перетворення. Перетворювач механічних велич в загальному випадку являє собою сукупність таких ланок, з'єднаних між собою в певному порядку, утворить параметричну структурну схему давача.

Використання апарату параметричних структурних схем дозволяє зробити процес пошукового конструювання перетворювачів механічних і електричних величини більш змістовним, забезпечити можливість залучення уваги проєктантів до найбільш відповідальним вузлів об'єкта конструювання, частково автоматизувати процес вибору принципу дії і скелетної конструкції технічного рішення, використовуючи принцип багатокритеріальної оптимізації параметричної структурної схеми.

Елементарне ланка структурної схеми перетворювача механічної величини зображується у вигляді прямокутника з позначенням вхідної і вихідної величини (рис. 1). Усередині прямокутника записується коефіцієнт передачі ланки. Для елементарних ланок, які відображають процеси, що відбуваються всередині ділянки кола однієї фізичної природи, всередині прямокутника записується параметр – опір, провідність, ємність, жорсткість, індуктивність, дедуктивний. Для ланок, відповідних динамічних (часовим) критеріальних залежностей, всередині прямокутника записується оператор диференціювання або інтегрування, що відображає часову залежність.

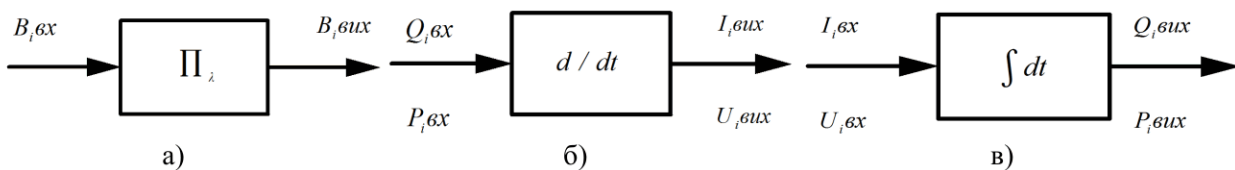


Рис. 1 Елементарні ланки структурної схеми перетворювача механічної величини

Запропонована графічна топограма (рис. 2.) можливих зв'язків усередині кола однієї і тієї ж фізичної природи (зокрема механічної). Ці топограми внутрішніх зв'язків однакові для всіх кіл, що мають повний набір параметрів.

Взаємодія кіл різної фізичної природи в технічних пристроях відображаються за

допомогою фізико-технічних ефектів (ФТЕ).

Фізико-технічним ефектом називається об'єктивно існуючий причинно-наслідковий зв'язок, що відображає залежність між фізичними величинами. ФТЕ може бути представлений у вигляді елементарної ланки параметричної структурної схеми (ПСС).

Аналітичні вирази для коефіцієнтів ФТЕ і числові значення цих коефіцієнтів, а також експлуатаційні характеристики технічних реалізацій ФТЕ визначаються за результатами теоретичних і експериментальних досліджень в галузі фізики і техніки. При цьому необхідно враховувати такі особливості: одне фізичне явище може бути представлено, як кілька ФТЕ в залежності від того, які і в якому співвідношенні величини і параметри різної фізичної природи беруть участь в описі фізичного явища; для кожного ефекту повинні бути чітко вказані вхідні і вихідні величини.

Кожен ФТЕ може мати найрізноманітніші технічні реалізації, що відрізняються габаритами, діапазонами вимірювання вхідних і вихідних величин, параметрами, коефіцієнтами, матеріалами тощо. Конструктивний опис і зображення технічних реалізацій ФТЕ доцільно виконувати простими, але досить наочними для зорового уявлення сутності ефекту способами.

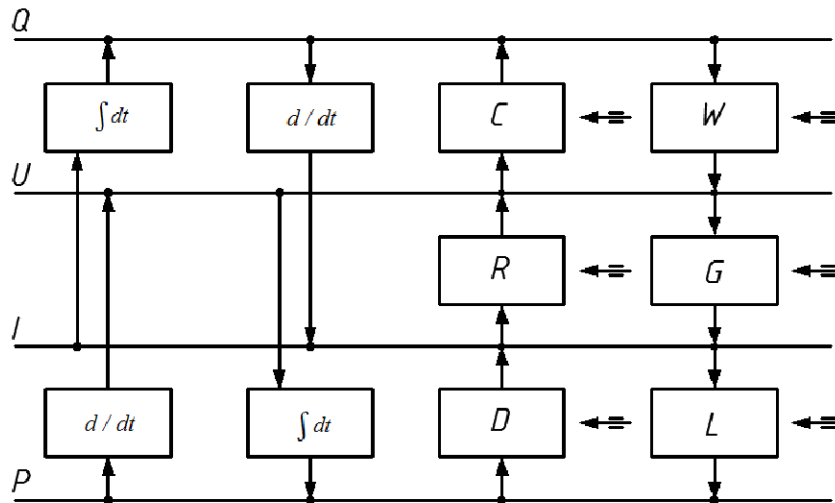


Рис.2. Топограма внутрішніх залежностей в колі давача

У вимірювальній техніці для лінеаризації і корекції похибок вимірювання широко застосовуються методи, які засновані на отриманні інформаційної надмірності – додаткової інформації не тільки про вимірювану фізичну величини, але й похибки, що допускаються під час вимірювань.

Застосування зазначених методів дозволяє синтезувати ІВС високої точності на базі нестабільних вимірювальних перетворювачів. Дані методи отримали назву «алгоритмічні методи корекції похибок». Алгоритмічні методи корекції похибок діляться на ітераційні методи, методи зразкових мір, тестові методи и методи надлишкових вимірювань.

Ітераційні методи корекції похибок, які отримали розвиток в роботі [1], засновані на послідовному наближенні результатів вимірювань до істинного значення шуканої фізичної величини.

Проведений вище аналіз показує, що давач є специфічним вимірювальним перетворювачем, але його вимірювальне коло має методичну та інструментальну похибки, як будь-який інший засіб вимірювань. Відомі методи підвищення точності [1] розроблені в основному для зниження або виключення похибки перетворення активних величин, і, отже, область їх застосування в ємнісних і індуктивних датчиках починається з моменту появи активної величини, що пропорційна інформативному параметру первинного перетворювача. Тому структурні методи підвищення точності, успішно застосовуються в приладах, не дозволяють підвищити точність давача в цілому, а можуть бути використані тільки в окремих його вузлах, причому процес перетворення інформативного параметра первинного перетворювача, що є пасивною величиною, залишається поза областю застосування відомих методів підвищення точності. Практично єдиним винятком є тестові методи підвищення точності, але реалізація їх в давачах призводить до істотного зниження швидкодії і до значного ускладнення вимірювального кола. Тому областю застосування тестових методів є вимірювальні інформаційні системи, по-перше, що вимірюють параметри процесів, що повільно змінюються і, по-друге, встановлені на нерухомих об'єктах, де габарити і маса не

мають вирішального значення.

Однак успіхи, досягнуті в області структурних методів підвищення точності приладів, є об'єктивним фактором, що впливає на розробника давача і змушує його застосовувати їх хоча б для корекції похибки окремих вузлів. Крім того, принцип корекції похибки є основоположним для підвищення точності будь-якого засобу вимірювань, і застосування його для зменшення похибки всього давача є актуальним. Це відноситься до корекції, як інструментальної, так і методичної, як основної, так і додаткової похибки давача.

#### Інформаційні джерела

1. Арбузов В.П. Структурные методы повышения точности измерительных цепей емкостных и индуктивных датчиков: монография / В. П. Арбузов. – Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2008. – 230 с.
2. Соколов А.В. Математическое моделирование чувствительных элементов и измерительных модулей датчиков давления и температуры: дис. ... канд. техн. наук 05.13.18/ А.В. Соколов ФГБОУ ВПО «Пензенский ГТУ» – П., 2015.–166 с.
3. Шикунская О.М. Расчет чувствительности энергоинформационных моделей цепей произвольной структуры / О.М. Шикунская, Э.Р. Незаметдинова // Авиакосмическое приборостроение. – 2006. – № 12. – С. 59-60.

**Симонюк В.П., к.т.н., Приступа С.А., к.т.н., Линник А.П., магистрант**

Луцкий национальный технический университет

#### **ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И МЕТОДЫ ДОСТИЖЕНИЯ ЗАДАННЫХ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ**

*Работа посвящена анализу современного состояния развития информационных и управляющих систем. Установлено, что на сегодняшний день с уверенностью можно говорить, что основными элементами, определяющими технический уровень информационных и управляющих систем является именно датчики.*

*Выбор показателя - критерия эффективности информационно-измерительной системы - важный этап формулировки целей и задач системы. От этого этапа зависит представление о свойствах системы и результатах ее работы.*

*Для характеристики процесса измерения, как процесса преобразования информации и энергии, следует ввести так называемые информационно-энергетические характеристики измерительных преобразователей, которые показывают эффективность датчика по характеру информационно-энергетического обмена в системе "объект измерения - датчик", и основные соотношения для их определения.*

**Ключевые слова:** измерение, датчик, надежность, ресурс, преобразователь, информационный КПД.

**V. Simonyuk, S. Prystupa, O. Linnik**

Lutsk National Technical University

#### **TRENDS OF DEVELOPMENT AND METHODS OF ACHIEVING METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF MICROELECTRONIC PRECISES**

*The article is devoted to the analysis of the current state of development of information and control systems. It is established that for today it is safe to say that the main elements determining the technical level of information and control systems are the sensors themselves.*

*The choice of the indicator - the criterion of the effectiveness of the information and measurement system - an important stage in formulating the goals and objectives of the system. From this stage, an understanding of the properties of the system and the results of its work depend on it.*

*To characterize the process of measurement, as the process of converting information and energy, the so-called information and energy characteristics of the measuring converters, which show the effectiveness of the sensor on the nature of the information-energy exchange in the system "object of measurement - the sensor", and the basic relationships for their definition, should be introduced.*

**Keywords:** measurement, sensor, reliability, resource, converter, information efficiency