

# АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

УДК 531.7:004.932

Е.О. Аристархова, к.б.н., доц.  
Ю.О. Подчашинський, к.т.н., доц.

Л.О. Чепюк, ст. викл.

*Житомирський державний технологічний університет*

В.О. Зінченко, к.с.-г.н., доц.

*Житомирський національний агроекологічний університет*

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ БІОТЕСТУВАННЯ ЕФЕКТУ ДІЇ ФІТОСТИМУЛЯТОРІВ

Підвищення точності контролю морфологічних характеристик рослин забезпечується за рахунок переходу від візуального контролю до обчислення кількісних значень і порівняння цих значень з кількісними значеннями відповідних показників зразків. Продуктивність контролю можливо підвищити за рахунок автоматизації його процедури на основі застосування швидкодіючої електронної обчислювальної машини (ЕОМ) для обробки зображень морфологічних характеристик рослин.

Контроль морфологічних характеристик рослин потрібно виконувати в такій послідовності:

1. Сформувати зображення дослідних зразків, які контролюють, і перетворити їх на цифрову форму за допомогою пристрою формування зображень (цифрової відеокамери або цифрового фотоапарату).

2. Зображення, що отримані в п. 1, ввести в пам'ять ЕОМ за допомогою одного з інтерфейсів передачі цифрових даних.

3. Розрахувати кількісні значення морфологічних показників зразків, що контролюються.

4. Результати розрахунку, що отримані в п. 3, порівняти з кількісними значеннями відповідних показників зразків, що контролюються.

5. На основі результатів порівнянь сформувати висновок про можливість визначення ефекту дії фітостимуляторів.

Даний спосіб контролю морфологічних характеристик рослин може бути реалізований за допомогою апаратних засобів формування й обробки відеозображень, що представлені на рисунку 1.

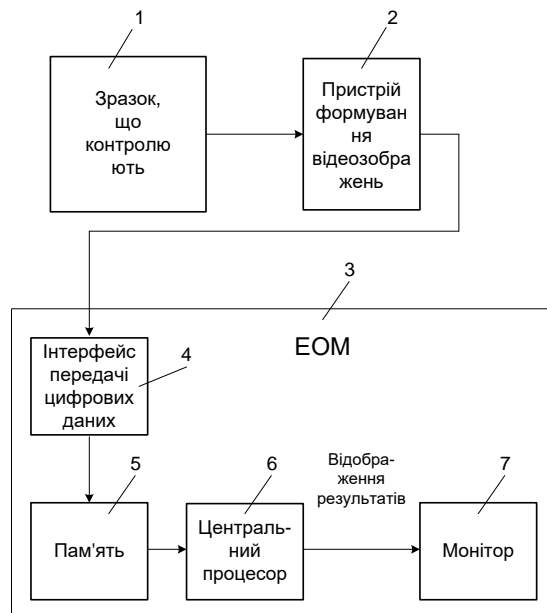


Рис. 1

До складу пристрою входять: зразок 1, що контролюють, пристрій 2 формування відеозображень (наприклад, цифрова відеокамера або цифровий фотоапарат), ЕОМ 3, до складу якої входять інтерфейс 4 передачі цифрових даних, пам'ять 5, центральний процесор 6 та монітор 7.

Зразок 1, який контролюють, розміщують у полі зору оптичної системи пристрою 2 формування відеозображень. Відстань від зразка 1, який контролюють, до пристрою 2 формування відеозображень заздалегідь обирається такою, щоб якість і ступінь деталізації зображення зразка 1, що контролюється, були достатніми для визначення морфологічних ознак рослин.

Визначимо основні вимоги до технічних характеристик апаратних засобів формування цифрових відеозображень, які можуть бути використані для контролю морфологічних характеристик рослин. Перш за все, це цифрові фотоапарати й відеокамери.

Основним параметром, що характеризує світлочутливу матрицю цифрового фотоапарату, є кількість пікселів  $N$ , тобто мінімальних елементів (дискретних точок) відеозображення. Значення яскравості й кольору кожної дискретної точки фіксуються в пам'яті. Якщо вважати, що припустиме відхилення геометричного розміру, який вимірюється, може бути зафіксовано зміною розміру зображення зразка в одну дискретну точку, то необхідна кількість цих точок на відеозображенні дорівнює:

$$N = \left( \frac{4}{3} L \right)^2, \quad (1)$$

де  $L$  – розмір зразка, що вимірюється. Коефіцієнт  $4/3$  враховує стандартне співвідношення сторін світлочутливої матриці й, відповідно, цифрового відеозображення.

Умови фотозйомки дозволяють створити оптимальне освітлення об'єкта й не ставити жорстких вимог до світлосили (відносної діафрагми) об'єктива. Тому суттєвою вимогою до об'єктива можна вважати необхідну величину його фокусної відстані. Визначимо цю величину на основі таких припущень:

- зображення зразка повинно займати максимально можливу площу світлочутливої матриці;
- фотографування зразків різних розмірів проводиться з фіксованої відстані.

Наведені припущення можна представити у вигляді такої умови:

$$L_0 \gg F, \quad (2)$$

де  $L_0$  – відстань від об'єктива до зразка;  $F$  – фокусна відстань об'єктива.

З урахуванням співвідношення (2) відомий з геометричної оптики вираз для коефіцієнта збільшення  $K$  (швидше за все – коефіцієнта зменшення) може бути представлений у вигляді:

$$K = F / L_0. \quad (3)$$

Сам же коефіцієнт збільшення визначається як відношення розміру  $l$  світлочутливої матриці до розміру зразка. З урахуванням формули (3) маємо:  $F = L_0 \cdot l / L$ .

Таким чином, при використанні об'єктива зі змінною фокусною відстанню і фіксованого положення цифрового фотоапарату відносна зміна фокусної відстані (кратність) визначається можливою відносною зміною розмірів зразків, що вимірюються. Необхідна величина фокусної відстані визначається розмірами світлочутливої матриці й може бути змінена шляхом відповідного вибору положення цифрового фотоапарату відносно зразків.

Лінійна відстань між двома опорними точками з координатами  $(x_i, y_i)$  і  $(x_j, y_j)$ , що належать контуру об'єкта, визначається за формулою:  $d = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$ .

Визначення кутових величин виконується на основі координат двох точок за формулою:

$$\gamma = \arctg \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}.$$

Можливі два методи пошуку й виділення об'єктів на зображенні: на основі виділення контурів (контурних ознак зображення) з подальшим переходом до символічного опису зображення; на основі розподілу зображення на об'єкт і фон шляхом сегментації.

Перший метод складніший, потребує більшого об'єму обчислень і призначений для обробки зображень, які: містять багато об'єктів складної форми; мають недостатню якість, обумовлену об'єктивними обставинами, наприклад, низький контраст об'єктів і фону через недостатнє освітлення або значний рівень шумів.

Другий метод базується на сегментації зображень. Сегментація зображення – розподіл зображення на області за ознакою подібності властивостей їх точок. Найбільш часто сегментацію проводять за яскравістю на основі граничного значення яскравості.

Таким чином, контроль морфологічних характеристик рослин запропоновано здійснювати на основі сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій обробки вимірювальної відеоінформації.

**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.**  
**І.О. Білоус, магістрант, V курс, гр. ПМ-71, ГЕФ**  
*Національний технічний університет України "КПІ"*  
**О.О. Добржанський, доц.**  
*Житомирський державний технологічний університет*

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІРОСКОПІЧНОГО ГРАВИМЕТРА АГС

Проведено лабораторні дослідження роботи гірогравіметра, метою яких було з'ясування характеристик точності гірогравіметра на основі ГЛП за різних умов його роботи та при різних значеннях конструктивних параметрів гірогравіметра. За відсутності лінійних та кутових вібраційних збурень (статичний режим роботи гірогравіметра) характеристики точності гірогравіметра збіглися з характеристиками точності відкаліброваного стандартного гравіметра (в нашому випадку гравіметра типу ГАЛ). Середньоквадратична похибка гірогравіметра не перевищила значення 0,15 мГл.

Типове значення середньоквадратичної похибки гірогравіметра спостерігалось на рівні 0,15 мГл. Різниця між усередненим результатом вимірювання  $\bar{g}_{\xi, \text{вим}}$  гірогравіметром та результатом вимірювання  $\bar{g}_{\xi, \text{оп}}$  гравіметром типу ГАЛ, що сягнула 0,05 мГл, може бути пояснена тим, що  $\bar{g}_{\xi, \text{вим}}$  та  $\bar{g}_{\xi, \text{оп}}$  вимірювалися у різний час, і до того ж  $\bar{g}_{\xi, \text{вим}}$  усереднювалося на невеликій кількості замірів (11 замірів). Проте величина середньоквадратичної похибки 0,15 мГл свідчить про те, що параметри гірогравіметра  $H = 0,004 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$  та  $l = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  обрані коректно.

За наявності лінійних вібраційних збурень (динамічний режим роботи гірогравіметра), типових для літакових вимірювань (частота 1640 р/с; амплітуда  $10 \text{ м}/\text{с}^2$ ), середньоквадратична похибка гірогравіметра з урахуванням похибки навігаційної системи не перевищує бажаної межі похибки гірогравіметра у 2 мГл. Цим ще раз підтверджується правильність обрання параметрів  $H = 0,004 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$  та  $l = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

За наявності лінійних вібраційних збурень (динамічний режим роботи гірогравіметра), нетипових для літакових вимірювань, спостерігалось підвищення похибки гірогравіметра пропорційно підвищенню амплітуди вібраційних прискорень та обернено пропорційно зменшенню їх частоти: при частоті 800 р/с та амплітуді  $10 \text{ м}/\text{с}^2$  лінійних вібрацій середньоквадратична похибка зростає до 2,17 мГл; при подальшому зниженні частоти похибка квадратично зростає і набувала високих (10–100 мГл) значень навіть за малих амплітуд вібраційних збурень ( $1\text{--}1,5 \text{ м}/\text{с}^2$ ).

За наявності лінійних вібраційних збурень (динамічний режим роботи гірогравіметра) з частотами, що перевищують типову (1640 р/с) для літакових вимірювань частоту вібраційних збурень, спостерігалось зменшення середньоквадратичної похибки за квадратичною залежністю, а на частотах вібраційних збурень вище 3000 р/с середньоквадратична похибка утримувалась в межах 1,12–1,15 мГл (з урахуванням похибки навігаційної системи в 1 мГл). З чого можна зробити висновок, що похибки від високочастотних збурень прямують до нуля при підвищенні частоти збурень, а залишаються лише похибки, властиві статичному режиму роботи гірогравіметра. Перевірка роботи гірогравіметра на частотах вібраційних збурень, що близькі до частот резонансу (100–200 р/с), показала відсутність будь-яких суттєвих ознак резонансу: не спостерігалось ознак різкого зростання похибок, раптових стрибків кутової швидкості  $\dot{\alpha}$  обертання поворотної платформи, виходу механічної системи гірогравіметра з режиму стійкості на режим нестійких коливань. Цей факт можливо пояснити тим, що одним з параметрів гірогравіметра, що налагоджувався, був коефіцієнт в'язкого тертя у внутрішньому підвісі гіромотора, який при налагодженні на осі внутрішнього підвісу рідинного демпфера з в'язкою демпфуючою рідиною досяг значення  $f_1 = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ . Підвищення  $f_1$  вплинуло на коефіцієнти характеристичного рівняння гірогравіметра і, найімовірніше, змістило резонанс в область нижчих частот. Зміною параметрів  $\dot{\gamma}$  та  $l$  варіювали значення параметрів  $H$  та  $\bar{\alpha}$  (при  $n = \text{const}$ ). Встановлено, що при  $n = \text{const}$  та за відсутності вібраційних збурень (статичний режим роботи гірогравіметра) середньоквадратична похибка помітно зменшується при зменшенні  $l$  та менш помітно зменшується при збільшенні  $H$ . Або, враховуючи, що  $\bar{\alpha} = m \cdot l \cdot \bar{g}_{\xi} / H$ , похибка знижується при зниженні  $\bar{\alpha}$  (на 0,03 мГл при зміні параметра на

1,12 рад./с). Найсуттєвіші похибки статичного режиму роботи гірогравіметра при  $n = \text{const}$  залежать переважно від  $\bar{\alpha}$ : при підвищенні  $\bar{\alpha}$  зменшується час  $(t_k - t_n)$ , при цьому зростає похибка від  $\Delta[t_k - t_n]$ , і додатково, якщо  $\bar{\alpha}$  зменшується за рахунок збільшення  $H$  при збільшенні  $\dot{\gamma}$ , то зменшується похибка від  $\Delta\dot{\gamma}$ , якщо  $\Delta[t_k - t_n]$  та  $\dot{\gamma} = \text{const}$ .

Встановлено, що при  $n = \text{const}$  та за наявності збурюючих лінійних прискорень середньоквадратична похибка гірогравіметра зменшується (динамічний режим роботи гірогравіметра) пропорційно зменшенню  $l$ , але вона також зменшується при зменшенні  $H$  (на 0,15 мГл при зміні параметра на  $0,003 \text{ кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}$ ), хоча у статичному режимі зменшення  $H$  викликає підвищення середньоквадратичної похибки гірогравіметра. Характер зміни середньоквадратичної похибки гірогравіметра в динамічному режимі можливо пояснити наявністю домінуючої похибки від  $\tilde{W}_\xi$ . При зменшенні  $l$  зменшується  $\bar{\alpha}$ , а значить, збільшується  $(t_k - t_n)$  при  $n = \text{const}$ . При збільшенні  $(t_k - t_n)$  за отриманим виразом похибка від  $\tilde{W}_\xi$  зменшується. Підтверджено, що похибка від  $\tilde{W}_\xi$  буде зменшуватися як при зменшенні  $l$ , так і при зменшенні  $H$ , і навіть інтенсивніше при зменшенні  $H$ .

Зміною нахилу осі чутливості гірогравіметра (вісь  $\xi$ ) у межах  $0-5^\circ$  змінювали значення  $g_\xi$  у межах  $0-5$  Гл. Гірогравіметр чітко реагував на зміну  $g_\xi$ . Середньоквадратична похибка не залежала від змін  $g_\xi$ . Різниця між теоретично розрахованими значеннями  $\bar{g}_{\xi, \text{вим}}$  та тими, що отримані від гірогравіметра, не перевищувала 0,1 мГл і також не залежала від змін  $g_\xi$ . Робимо висновок, що зміна  $g_\xi$  в межах  $\pm 0-5$  Гл не впливає суттєво на величину похибки гірогравіметра, а гірогравіметр чітко реагує на зміну  $g_\xi$  у всьому діапазоні вимірювань:  $g_\xi \in (\bar{g}_\xi \pm 5 \text{ \AA})$ . Проведено експериментальне дослідження ефективності розробленого алгоритму роботи гірогравіметра. Результати експерименту підтверджують ефективність впровадження у систему функціонування гірогравіметра каналу контролю частоти обертання ротора гіромотора. Завдяки врахуванню змін  $\bar{\gamma}$  у значенні  $R_{cm}$  при перерахунку вимірювальної інформації у  $\bar{g}_{\xi, \text{вим}}$  вдається отримати  $\bar{g}_\xi$  з точністю 2 мГл (враховано похибку навігаційної системи в 1 мГл). Отже, завдяки контролю поточної частоти обертання ротора можливо визначити поточний статичний передатний коефіцієнт гірогравіметра, який використовується для кінцевого розрахунку  $\bar{g}_{\xi, \text{вим}}$ , і, таким чином, нормалізувати точність вимірювання, яке за інших умов було б відкинута як таке, що містить грубу похибку. Запропонований алгоритм роботи гірогравіметра дозволяє запобігти втраті певної частини вимірювальної інформації.

Також експериментально підтверджено можливість контролю кута повороту гіромотора у внутрішньому підвісі з метою визначення характеристик вібраційного збурюючого лінійного прискорення з подальшим визначенням досить точних значень похибки гірогравіметра. Це є важливим у випадку реальних літакових вимірювань  $\bar{g}_\xi$ , коли здійснюється одноразове визначення  $\bar{g}_\xi$  на поточному відрізку шляху польоту й немає можливості здійснити усереднення великої кількості даних для визначення середньоквадратичної похибки. Запропонований процес важливий для відбракування вимірювальної інформації шляхом визначення ступеня впливу збурень на результат вимірювання.

За даними, що отримані під час експериментальних досліджень, визначені основні метрологічні характеристики гірогравіметра, найсуттєвіші з яких: абсолютна похибка:  $\pm [0,15-2]$  мГл, залежно від режиму роботи гірогравіметра; відносна та приведена похибки:  $\pm [1,5 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4}] \%$ , залежно від режиму роботи гірогравіметра; статична характеристика гірогравіметра як наземного гравіметра (Г-Н):  $\bar{g}_{\xi, \Gamma-H} = \bar{g}_\xi \pm 1,5 \cdot 10^{-1}$  мГл; статична характеристика гірогравіметра авіаційної гравіметричної системи (Г-АГС):  $\bar{g}_{\xi, \Gamma-AGC} = \bar{g}_\xi \pm 2$  мГл; розрядність вихідного сигналу гірогравіметра: 8 десяткових розрядів; роздільна здатність:  $10^3$ , для області вимірювань  $(\bar{g}_\xi \pm 5 \text{ \AA})$ ; швидкодія:  $5-10$  с, залежно від режиму роботи гірогравіметра; клас точності Г-Н: « $1,5 \cdot 10^{-5}$ »; клас точності Г-АГС: « $2 \cdot 10^{-4}$ » (враховуючи номінальні умови використання гірогравіметра).

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.

Р.В. Бичук, студ.

Ю.В. Киричук, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України "КПІ"

### МІКРОСИСТЕМНИЙ АКСЕЛЕРОМЕТР

Одним з актуальних питань сучасного приладобудування є розробка вимірювачів параметрів руху, таких, як лінійні й кутові акселерометри, виміру кутових швидкостей і кутів. Вимірювачі параметрів руху працюють у складних умовах – від допустимих перевантажень до ударів, наприклад при злетах і посадках. В екстремальних режимах вимірювачам надають властивість робастності, яка виражається в зниженні чутливості до неінформаційних параметрів.

На рисунку 1 наведена структурна схема мікросистемного акселерометра зі зворотним зв'язком.

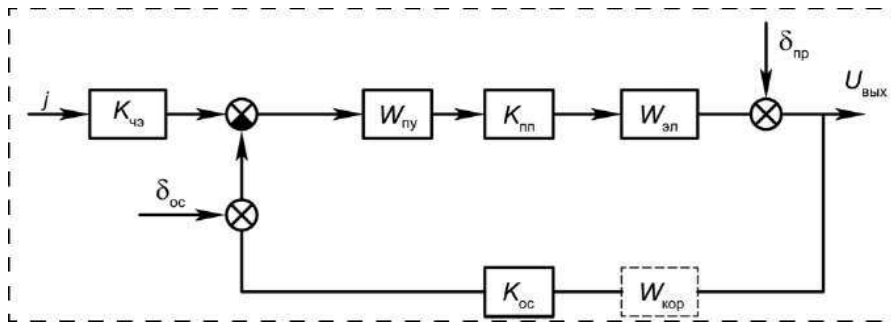


Рис. 1. Структурна схема мікросистемного акселерометра

Конструктивно мікросистемний акселерометр виконаний з трьох вузлів: механічного чутливого вузла (маятника) (рис. 2), електронного блоку й єдиного корпусу для механічної та електричної частин. Похибка мікроакселерометра в будь-якому режимі роботи визначається тільки похибкою ланки зворотного зв'язку. Мікроакселерометр в робастному режимі завжди стійкий.

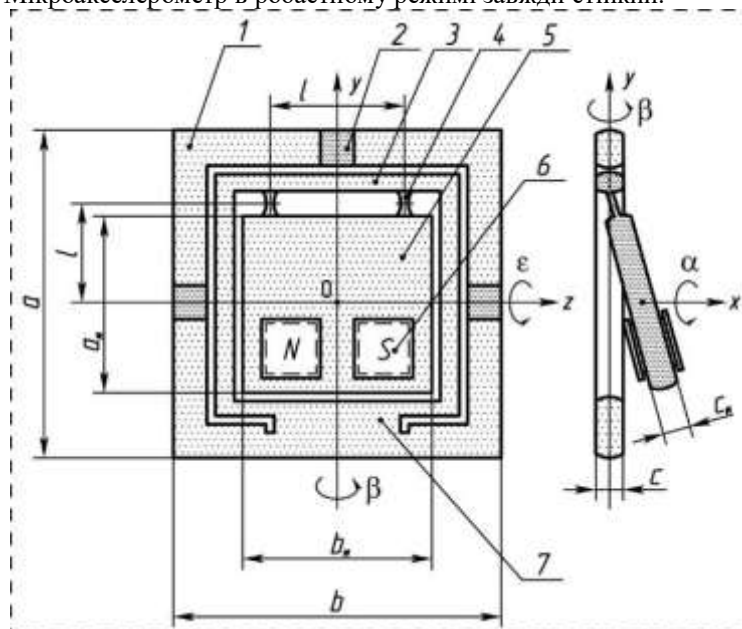


Рис. 2. Кремнієвий провідний вузол: 1 – рамка; 2 – контактні площадки;

3 – пластина кристалічного елемента; 4 – пружні підвіси маятника;

5 – маятник; 6 – магніти силової обробки; 7 – консоль

Створено математичну модель та проведені дослідження впливу геометричних параметрів акселерометра на його характеристику.

Отримана повна передаточна функція акселерометра відповідно до структурної схеми:

$$W_{акс}(s) = \frac{K_{ЧЕ} K_{ПП} W_{ЕЛ}(s)}{(Js^2 + K_{ДУ}s + G_y) + K_{ОС} K_{ПП} W_{кор}(s) W_{ЕЛ}(s)},$$

де  $s$  – оператор Лапласа;  $K_{ЧЕ} = ml_q$  – маятниковість ЧЕ;  $J$  – момент інерції маятника відносно осі  $z$ ;  $K_{ДУ}$  – абсолютний коефіцієнт демпфування кутових рухів відносно осі  $z$ ;  $G_y$  – кутова жорсткість, залежить від форми балки;  $K_{ПП}$  – перетворювач переміщення;  $K_{ОС}$  – крутизна характеристики магнітоелектричного перетворювача;  $W_{кор}$  – передатна функція коректуючого пристрою.

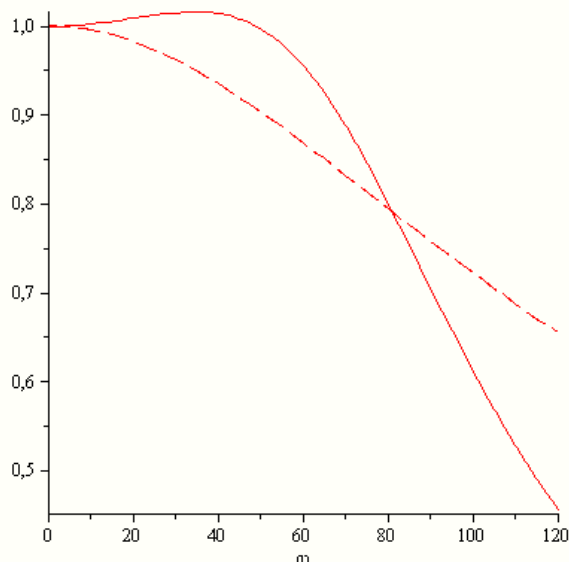


Рис. 3. Амплітудно-частотна характеристика

При зміні параметрів змінювалася постійна часу. Досліджуючи систему, зроблено такі висновки:

- на крутизну амплітудно-частотної характеристики найбільш впливають такі параметри: зміна довжини тягарця, довжина пружного елемента, ширина пружного елемента, мінімальна товщина пружного елемента (максимальний вплив). Інші параметри впливають неістотно;
- зміна параметрів: довжина, ширина й товщина тягарця, довжина пружного елемента, максимальна товщина пружного елемента впливають на постійну часу корегуючого пристрою ( $T$ ). При зменшенні цих параметрів значення  $T$  зменшується, при збільшенні – зростає. Зміна параметрів: ширина пружного елемента, мінімальна товщина пружного елемента мають протилежний вплив на  $T$ ;
- максимально впливає на систему зміна параметра – мінімальна товщина пружних елементів та їх кількість;
- на статичну характеристику всі параметри впливають неістотно, змінюючи лише кут нахилу прямої;
- зміна всіх параметрів у межах  $-10\% \dots +10\%$  від початкових даних не виводить систему зі стану стійкості.

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.

Є.В. Гура, аспір.

Національний технічний університет України "КПІ"

А.В. Коваль, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

## СИСТЕМА РЕЄСТРАЦІЇ СИГНАЛУ ГІРОГРАВІМЕТРА АГС

Визначення основної ідеології побудови системи реєстрації сигналу гірографіметра. Для реалізації визначення середнього значення  $\bar{g}_z$  вертикальної складової  $g_z$  вектора гравітаційного прискорення за допомогою АГС з гірографіметром, який побудовано на базі гіроскопічного інтегратора лінійних прискорень, необхідно організувати зчитування вимірювальної інформації з гірографіметра й передати цю інформацію в ЕОМ для проведення обчислень за рівнянням роботи гірографіметра:

$$\bar{g}_{z,вим} = \frac{-H}{m \cdot l} \cdot \left[ (\alpha(t_k) - \alpha(t_n)) - \frac{m \cdot l}{H} \cdot \left( \int_{t_n}^{t_k} W_z dt \right) + \left( \int_{t_n}^{t_k} \omega_z dt \right) \right] \cdot \frac{1}{(t_k - t_n)} \quad (1)$$

Для обчислення за формулою (1) необхідно зареєструвати сигнал  $\alpha(t)$  у два моменти часу: момент  $t_n$  часу початку вимірювання та момент  $t_k$  часу кінця вимірювання. Визначення величини  $(t_k - t_n)$  необхідно проводити з відносною похибкою не вище  $10^{-7}$ , тоді складова абсолютної похибки визначення  $\bar{g}_{z,вим}$ , спричинена неточністю визначення величини  $(t_k - t_n)$ , не перевищить 0,1 мГл.

Якщо організувати реєстрацію сигналів  $\alpha(t_n)$ ,  $\alpha(t_k)$ ,  $t_n$ ,  $t_k$  безпосередньо ЕОМ, то точність визначення величини  $(t_k - t_n)$  буде визначатися точністю наявного в ЕОМ тактового генератора та часом реакції ЕОМ на запит про зчитування даних з порту ЕОМ.

Тактові генератори, що застосовуються у стандартних комп'ютерних системах, які можливо використати як бортову ЕОМ, не забезпечують стабільність частоти в  $10^{-7}$ , а час реакції ЕОМ на запит про зчитування даних з порту може бути недопустимо великий і залежить від складності комп'ютерної системи та процесів, що в ній відбуваються: системи пріоритетів переривань, запізнення надходження сигналів лініями, частоти роботи системної шини, тривалості циклів запису/зчитування регістрів порту та оперативної пам'яті, часу зупинки виконання програм, що вже запущені в ЕОМ, тривалості циклу підготовки (програмування керуючих регістрів) порту до прийому зовнішніх даних.

Вже це призводить до того, що неможливо гарантувати відносну точність  $10^{-7}$  визначення величини  $(t_k - t_n)$  у випадку організації реєстрації сигналу гірографіметра безпосередньо ЕОМ. Саме тому необхідно застосовувати зовнішній прецизійний генератор у сукупності з мінімальною кількістю інтегральних елементів для організації реєстрації сигналу гірографіметра.

Система реєстрації сигналу гірографіметра повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- 1) підготовка до роботи;
- 2) початкова ініціалізація системи;
- 3) проведення вимірювання;
- 4) збір даних про вимірюваний параметр;
- 5) збереження даних про вимірюваний параметр;
- 6) передача даних на обробку;
- 7) забезпечення можливості моніторингу з боку ЕОМ системи реєстрації сигналу гірографіметра;
- 8) забезпечення виконання принципу незалежності від ЕОМ та принципу неперервності вимірювань.

Система повинна мати елементи для збереження даних про вимірюваний параметр (реєстри або блоки пам'яті), елементи фіксації сигналів управління (тригери), елементи-еталони (прецизійний генератор опорної частоти), елементи визначення величини  $(t_k - t_n)$  (електронні лічильники), елементи керування доступом (мультиплексори).

Окремі елементи системи необхідно поєднати лініями зв'язку, які також можливо розподілити за функціональними ознаками: лінії передачі даних (введення/вивід), лінії організації вибірки (адресні лінії); лінії управління (управління ініціалізацією системи, ввімкнення/вимкнення окремих функцій, забезпечення послідовності виконання операцій).

Систему реєстрації сигналу гірографіметра можливо представити в узагальненому вигляді, як показано на рисунку 1.

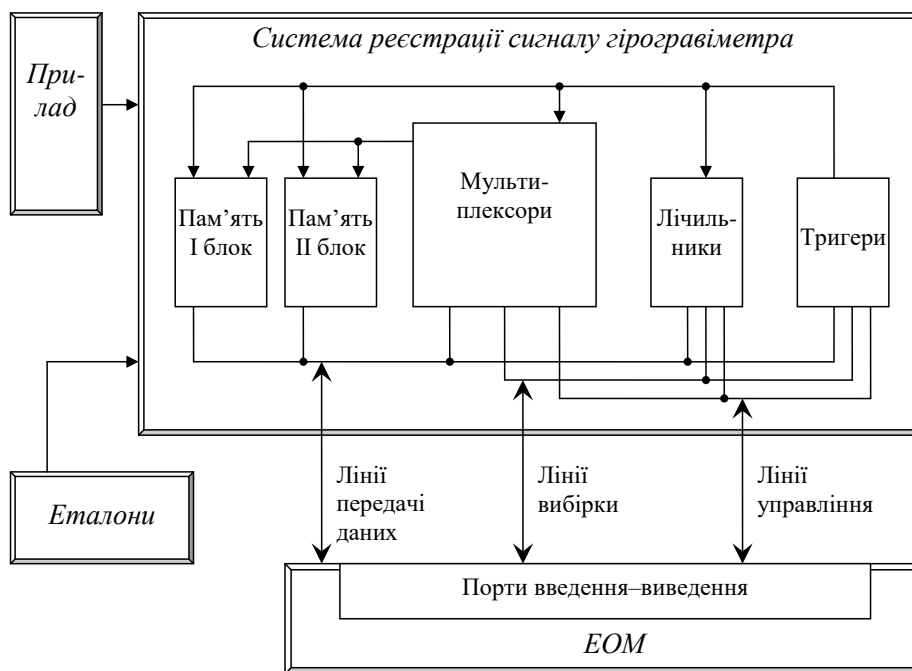


Рис. 1. Структура системи реєстрації сигналу гірографіметра

Проведено аналіз проблемних місць у реалізації реєстрації та передачі на обробку сигналів від гірографіметра авіаційної гравіметричної системи до ЕОМ. Потреба у проміжній схемі викликана необхідністю вимірювати моменти початку та кінця відліку даних гірографіметра з точністю до  $10^{-6}$  секунди.

Розроблено систему реєстрації сигналу гірографіметра. У системі передбачено окремий прецизійний генератор опорної частоти та розроблено підсистему зчитування і збереження даних.

Система функціонує за принципом жорсткої логіки.

Запропонований новий для подібних систем принцип одночасного доступу до пам'яті системи передбачає процес зчитування сигналу гірографіметра у пам'ять системи одночасно зі зчитуванням у пам'ять ЕОМ даних, записаних в пам'ять системи раніше.

Розроблено підсистему перевірки працездатності системи за допомогою команд від ЕОМ. Перевірка здійснюється лише по двох основних шинах зв'язку.

У системі передбачено одну шину управління (5 біт) та одну шину (16 біт), яка по чергово використовується як шина адреси та шина даних.

Розроблено функціональну схему системи реєстрації сигналу.



**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.**  
*Національний технічний університет України "КПІ"*  
**О.О. Добржанський, к.т.н., доц.**  
*Житомирський державний технологічний університет*

### ГІРОСКОПІЧНИЙ ГРАВИМЕТР АВІАЦІЙНОЇ ГРАВИМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ

Актуальним науково-технічним завданням є підвищення точності та швидкодії вимірювань величини гравітаційного прискорення шляхом створення гіроскопічного гравіметра авіаційної гравіметричної системи (гірогравіметра) на основі гіроскопічного інтегратора лінійних прискорень (ГІІП).

Гірогравіметри сьогодні є найперспективнішими, з точки зору широкомасштабного вивчення розподілу гравітаційного поля Землі, що необхідно в таких галузях: аерокосмічній – для корекції інерціальних навігаційних систем рухомих об'єктів; геології, геофізиці, геодезії – для визначення форми Землі, вивчення розподілу та руху глибинних мас, для розвідки корисних копалин. Гірогравіметр є основним чутливим елементом авіаційної гравіметричної системи (АГС). В авіаційній гравіметрії в СНД найбільш відомі роботи А.М. Лозинської (струнний гравіметр), Є.І. Попова (кварцовий гравіметр); за кордоном – ЛаКосте, Ромберга (гравіметр ЛаКосте–Ромберга), Графа (гравіметр Асканія–Граф). Точність та швидкодія існуючих гравіметрів недостатні. Однак відсутні роботи, присвячені дослідженням можливості та доцільності використання як авіаційного гравіметра гірогравіметра на основі гіроскопічного інтегратора лінійних прискорень, перевагами якого перед відомими гравіметрами є відсутність необхідності проведення фільтрації вихідного сигналу; ГІІП виготовляється у високопрецизійних умовах, прилад розраховано на значні перенавантаження (до 10 g) та великі перепади температур. Різні аспекти роботи ГІІП висвітлено в роботах школи видатних гіроскопістів НТУУ «КПІ»: М.А. Павловського, А.А. Одинцова, О.В. Збруцького, Б.Б. Самотокіна.

Обґрунтовано необхідність досліджень, спрямованих на підвищення точності вимірювання величини гравітаційного прискорення, тим, що існуючі авіаційні гравіметричні системи (АГС) забезпечують точність авіаційних гравіметричних робіт 8 мГл. В.Граметртом та Дж.Харісоном для ефективного практичного застосування АГС визначена вимога до точності вимірювань у 2 мГл.

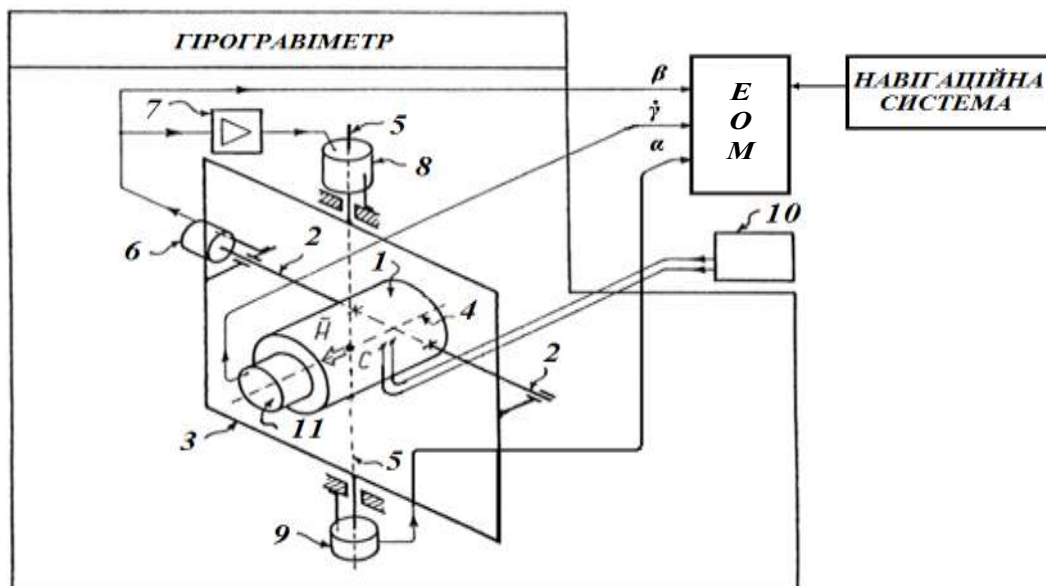


Рис. 1. Гірогравіметр АГС

Запропоновано застосувати в АГС гірогравіметр, що побудований на основі гіроскопічного інтегратора лінійних прискорень (рис. 1), де 1 – гіромотор; 2 – вісь внутрішнього підвісу гіромотора; 3 – зовнішня рамка; 4 – вісь обертання ротора гіромотора; 5 – вісь підвісу зовнішньої рамки; 6 – перший датчик кута  $\beta$  повороту гіромотора у внутрішньому підвісі; 7 – підсилювальний елемент; 8 – датчик моменту; 9 – другий датчик кута  $\alpha$  повороту зовнішньої рамки; 10 – блок живлення стабілізованої частоти; 11 – датчик частоти обертання ротора гіромотора.

Запропоновано алгоритм роботи гірогравіметра: бортова ЕОМ зчитує інформацію про кут  $\beta$  відхилення рамок підвісу гіромотора від перпендикулярності, про кут  $\alpha$  повороту зовнішньої рамки та про частоту  $\dot{\gamma}$  обертання ротора гіромотора. Бортова ЕОМ перевіряє виконання умов:

$$\dot{\gamma} = \text{const} \pm \Delta\dot{\gamma}, \quad \beta = 0 \pm \Delta\beta,$$

де  $\Delta\beta, \Delta\dot{\gamma}$  – відхилення величин  $\beta, \dot{\gamma}$ , якими можна знехтувати. Якщо умови не виконуються, то інтервал вимірювальної інформації позначається як такий, що викривлений завадами. Для поточного значення  $\dot{\gamma}$  бортова ЕОМ розраховує поточний статичний передатний коефіцієнт  $R$ :

$$R = m \cdot l / (J \cdot \dot{\gamma}),$$

де  $m \cdot l$  – маятниковість гіромотора;  $J$  – момент інерції ротора гіромотора відносно осі обертання ротора гіромотора. Бортова ЕОМ розраховує середнє значення вертикальної складової вектора гравітаційного прискорення  $\bar{g}_\xi$ :

$$\bar{g}_{\xi, \text{вим}} = \frac{-1}{R} \cdot \left[ (\alpha(t_k) - \alpha(t_n)) - R \cdot \left( \int_m^{t_k} W_\xi dt \right) + \left( \int_m^{t_k} \omega_\xi dt \right) \right] \cdot \frac{1}{(t_k - t_n)},$$

де  $t_k, t_n$  – моменти часу початку та кінця відліку інтервалу даних, інтеграли в дужках – поправки за постійні вертикальні складові векторів лінійного прискорення та кутової швидкості рухомої основи, які бортова ЕОМ розраховує за сигналами від навігаційної системи.

Застосування запропонованого гірогравіметра дозволяє подолати недоліки існуючих гравіметрів АГС тим, що він забезпечує стабільність статичного передатного коефіцієнта гравіметра АГС, можливість визначення поточного статичного передатного коефіцієнта гравіметра АГС, зниження рівня перешкод у вихідному сигналі гравіметра АГС. Контроль поточного значення  $\dot{\gamma}$  дозволяє уникнути складової похибки вимірювання, спричиненої зміною  $R$  при зміні  $\dot{\gamma}$ . Інтегруючі властивості запропонованого гірогравіметра дозволяють уникнути процесів усереднення, фільтрації даних, отриманих від гірогравіметра, і цим звільнитися від похибки, яка виникає при дискретному інтегруванні сигналу.

**ОЦІНКА ПОХИБОК ДИНАМІЧНО НАСТРОЮВАЛЬНИХ ГІРОСКОПІВ**

Динамічно настроювальні гіроскопи в складі гіроскопічного вимірювача вектора кутових швидкостей (ГВВКШ) розташовані дуже близько один біля одного. Тому вони чинять один на одного вібраційні впливи на "небезпечних" частотах, що породжуються статичним і динамічним дебалансами маховика й ротора електроприводу, недосконалістю геометрії шарикопідшипників, силами електромагнітного тяжіння в електроприводі й іншими причинами.

Було встановлено, що точність характеристики ДНГ, що випробовувався автономно, у 1,5–2 рази краща, ніж у складі ГВВКШ. Явище це виявилось надзвичайно складним як для експериментального дослідження, так і для теоретичного аналізу.

Метою дослідження є оцінка обумовлених внутрішніми збуреннями похибок показань ДКШ–ДНГ (датчиків кутових швидкостей–динамічно настроювальних гіроскопів), що встановлені на віброізольованій платформі, один на одного через систему віброзахисту.

Виходячи з цього, основними завданнями статті є:

1. Отримати рівняння руху платформи (ГВВКШ), в якій припускається, що один з двох ДНГ генерує вплив на два інші за рахунок зсуву центрів мас, обумовленого статичною незбалансованістю.

2. Використовуючи результати, отримані з рівняння руху платформи, визначити похибки ДНГ: кінематичний відхід; неперетинність осей крутіння торсіонів; пружна податливість опор ротора; статична незбалансованість. Також отримати залежність похибок ДНГ від точності монтажу віброзахисної системи та її параметрів.

Прийняті системи координат зображені на рисунку 1, схема розташування ДНГ – на рисунку 2.

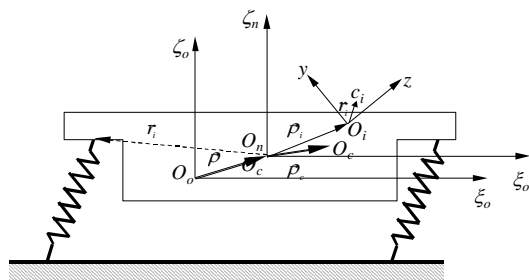


Рис. 1. Системи координат

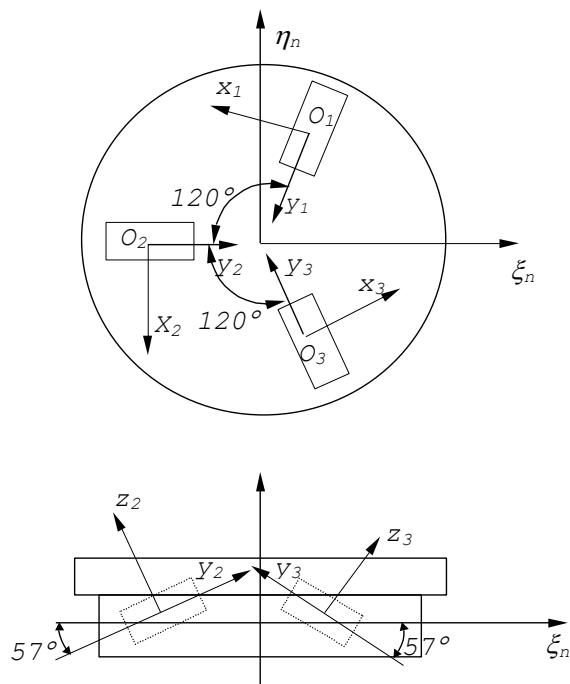


Рис. 2. Схема розташування гіроскопів

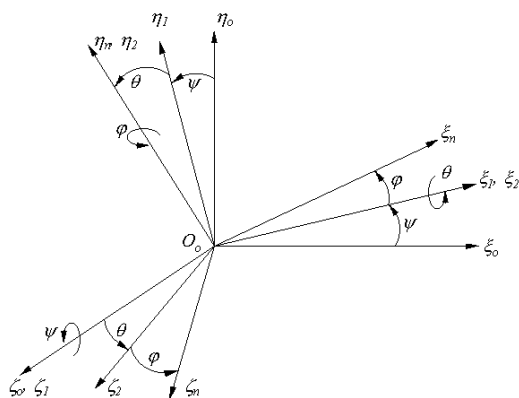


Рис. 3. Послідовність поворотів осей координат на кути  $\psi, \theta, \varphi$

За допомогою методу комплексних амплітуд визначалися поодинокі рішення, що відповідають вимушеним коливанням системи. Отримані переносні рухи платформи використовуються для обчислення необхідних похибок ДНГ.

Визначалися похибки ДНГ:

1. Кінематичний відхід визначався з виразів 4.4 і 4.5.

2. Швидкість відходу ДНГ в умовах поступальних прискорень, що повільно змінюються, – нерівножорсткість підвісу:

$$\omega_y = M_p j_z j_y \left\{ b \left[ (1+q)^2 - \frac{1}{2}q \right] c^{-1} - (1-q)^2 c_\xi^{-1} \right\} H^{-1}.$$

3. Швидкість відходу ДНГ в умовах поступальних прискорень, що повільно змінюються, – осьова розбалансованість і неперетинність осей:

$$\omega_y = -M_p j_y a \left[ 2d_3 + q(d_1 + d_2) + (1+q) \left( l_o + \frac{1}{2}l_{23}^x \right) \right] (2H)^{-1}.$$

4. Швидкість відходу ДНГ в умовах осьової вібрації на частоті  $\Omega$  – статичний дебаланс, неперетинність осей і недосконалість геометрії шарикопідшипників:

$$\omega_z = -\Omega^2 (\tilde{A}_1 M_p) \left[ \left( \varepsilon_{32} - \frac{1}{2}l_m^y \right) + \Omega^2 M_p \varepsilon_{32} \frac{1}{c_\eta} \right] (H)^{-1};$$

$$\omega_y = \Omega^2 (\tilde{A}_1 M_p) \left[ \left( \varepsilon_{33} - \frac{1}{2}l_n^z \right) + \Omega^2 M_p \varepsilon_{33} \frac{1}{c_\eta} \right] (H)^{-1},$$

де  $c_\xi$  – лінійна жорсткість 1-ї пари торсіонів;  $c_\eta$  – лінійна жорсткість 3-ї пари торсіонів,  $c_\eta = 2c_\xi$ ;  $c$  – лінійні жорсткості торсіонів вздовж осі ОУ;  $\tilde{A}_1$  – амплітуда осьових коливань роторів,  $\tilde{A}_1 = \omega_\xi^2 \eta_o / \left| \omega_\xi^2 - \Omega^2 \right|$ ;

$\omega_\xi$  – частота радіальних коливань вздовж осі  $O\xi$ ,  $\omega_\xi = \Omega / \sqrt{\frac{2,765}{2M_p} - 1}$ ;  $b = a = 1 + \frac{\Omega^2}{\omega_\xi^2}$ ;  $l_o$  – зміщення осі крутіння 3-ї пари торсіонів відносно тієї самої осі 2-ї пари торсіонів вздовж осі ОХ;  $j_z, j_y$  – проекції вектора абсолютного поступального прискорення  $j$  корпусу гіроскопа на осі  $OX_o Y_o Z_o$ ;  $\varepsilon_{32}$  – зміщення центра мас 3-го ротора відносно 2-ї головної осі інерції;  $\varepsilon_{33}$  – зміщення центра мас 3-го ротора відносно 3-ї головної осі інерції;  $q = M_k / M_p$  – відношення маси кільця до маси ротора;  $M_p$  – маса ротора ДНГ;  $M_k$  – маса кільця ДНГ;  $d_1, d_2, d_3$  – зміщення центра мас  $i$ -го ротора ( $i = 1, 2, 3$ ) вздовж головної осі інерції ОХ;  $\Omega$  – кутова швидкість власного обертання ротора;  $l_m^y, l_n^z$  – радіальне зміщення колінарних торсіонів 2 і 3 (двох разом) вздовж осей ОУ' і ОZ' відповідно.

У результаті досліджень були отримані власні частоти системи віброзахисту, похибки ДНГ (табл. 1) за наявності переносного руху платформи за рахунок: зсуву центра мас платформи на 1 мм, розкиду жорсткостей віброізоляторів на 10 %, неточності встановлення віброізоляторів 2 мм.

Таблиця 1

Таблиця похибок з урахуванням змін параметрів

Показник		Ідеальний випадок	Зміщення центра мас платформи (1 мм)	Розкид жорсткостей ВІ по осі $\zeta$ (10 %)	Неточність встановлення ВІ по осі $\zeta$ (2 мм)
Кутові швидкості відходу гіроскопа, град./год.	$\alpha$	1,59934e-3	1,59915e-3	1,59926e-3	1,59936e-3
	$\beta$	-2,48235e-3	-2,48262e-3	-2,48223e-3	-2,48238e-3
Нерівножорсткість підвісу, град./год.		-2,48704e-6	-3,60237e-6	-2,48636e-6	-2,48685e-6
Неперетинність осей і осьова розбалансованість, град./год.		-0,0571268	-0,059253	-0,0571259	-0,0571274
Статична незбалансованість, град./год.		0,03483085	0,035552	0,03483085	0,0348299

На основі отриманих результатів можна зробити наступні висновки. Отримана методика і написана програма, а також отримані результати оцінки взаємного впливу ДНГ одне на одного з урахуванням системи віброзахисту. Аналіз отриманих результатів показав, що найбільш істотно впливають моменти, що обумовлені жорсткістю пружного підвісу і неперетинністю осей та залежать, крім інших причин, від лінійних прискорень платформи в місці установки ДНГ. Для реальних статичних зсувів центра мас ДНГ – джерела збурень, досліджуваний ДНГ може мати похибку до 1 град./год.

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.

Ю.В. Киричук, к.т.н., доц.

Національний технічний університет України "КПІ"

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ,  
ЕЛЕМЕНТІВ І ПРИСТРОЇВ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

Наведено відомості про практичні розробки та результати експериментальних досліджень систем керування (СК), елементів і пристроїв навігаційних систем (НС).

Розроблено методику проведення експериментальних досліджень гіростабілізованої головки систем керування навігаційних систем. Запропоновано засоби проведення вимірювань при експериментальних дослідженнях. Викладено методики й рекомендації з проведення експериментальних досліджень системи керування НС без урахування і з урахуванням системи ударо- й віброзахисту в складі рухомих об'єктів, а також наведено склад обладнання, необхідного для проведення експериментів. Проведено експериментальні дослідження системи керування НС, що підтверджують можливість і доцільність практичної реалізації запропонованої схеми. Конструктивно головку СК НС розроблено в декількох варіантах: варіант 1 (рис. 1, а), варіант 2 (рис. 1, б) і варіант 3 (рис. 1, в). На рисунку 1 гіростабілізована головка є литим корпусом, у якому розташовано гіростабілізатор (ГС) 2, аретир 3 і відбиваюче дзеркало 4.

Вхідне вікно закрито захисним склом 5, що забезпечує більш кут огляду тангажа. З'єднання з корпусом здійснюється за допомогою стикувального фланця, у якому є вихідний отвір для пропускання оптичних променів. Ущільнення забезпечує герметичність усередині головки і, тим самим, захищеність ГС 2 від впливу зовнішнього середовища. Підвіс ГС у корпусі 1 здійснюється, з одного боку, на підшипниковій опорі, що виключає осьовий люфт, і, з іншого боку, на оригінальній чотирироликівій опорі, що допускає осьові переміщення зовнішньої рами. Внаслідок такого підвісу температурні розширення не призводять до значних осьових навантажень на опори. Конструкція ГС 2 – це зовнішня рама 6, у якій розташована внутрішня рама – платформа 7 і головне дзеркало 8 на титановій підкладці стільникової конструкції (для зменшення моменту інерції ГС). Зв'язок між платформою і дзеркалом здійснюється через стрічкову передачу зі співвідношенням 1 : 2, яка має стрічковий механізм натягу, що містить шків головного дзеркала 9, механізм натягу та шків гіростабілізатора 13. На платформі 7 встановлено два двоступеневі гіроскопи, причому їхні вектори кінетичних моментів спрямовано паралельно й зустрічно. Вздовж осей стабілізації ГС 2 встановлено синусно-косинусні обертальні трансформатори 10 і двигуни розвантаження 11. Електричний зв'язок по електричних ланцюгах між рухомою й нерухомою частинами стабілізатора здійснюється за допомогою вузла 12 гнучких струмопідводів. Недоліком конструкції СК НС, варіанта 1, виявилася складність розміщення датчиків кута та двигуна розвантаження в одній площині й на одній і тій самій осі, що призвело до додаткового екранування датчика кута й ускладнило виводи живлення гіроскопічного вузла (струмопідводів).

У варіанті 2 (рис. 1, б) ці проблеми частково вирішені завдяки рознесенню розташування датчиків кута (позиція 6) і двигуна розвантаження (позиція 15) на протилежних боках внутрішньої рами. У внутрішню раму встановлено платформу, а також консольно встановлено головне дзеркало 2. У верхній частині головки введено привід головки 7, що через передачу 8 забезпечує поворот усієї зовнішньої рами, встановленої на підшипнику 4.

Конструкція головки СК НС, варіант 2, має кращі характеристики, порівняно з варіантом 1. Вона дала можливість виявити недоліки конструкції як за міцністю в різних режимах роботи, так і за вібростійкістю. Основні позитивні рішення попередніх варіантів було перенесено в конструкцію головки СК НС варіанта 3, що, в основному, була дороблена у зв'язку зі зміною компоновки НС на об'єкті. У варіанті 3 головки СК НС (рис. 1, в) додатково опущено нижню опору завдяки введенню кронштейна 8, що поліпшило вібростійкість конструкції. Датчики кута повороту зовнішньої рами й двигун розвантаження 10 розміщені в нижній опорі кронштейна й мають досить зручний доступ при налаштуванні та ремонті. Введення кронштейна поліпшило характеристики вібростійкості й значно зменшило масу головки. Для зменшення моменту інерції головне дзеркало виконане на берилієвій підкладці стільникової конструкції із застосуванням плівкового скла на поверхні. Важливим етапом створення систем керування НС є практичне підтвердження основних характеристик: точності (припустимої похибки) стабілізації, стійкості при впливі як керуючих і збурюючих впливів з боку об'єкта-носія НС, так і зовнішнього середовища: вітру, температури, вібрації та ін.

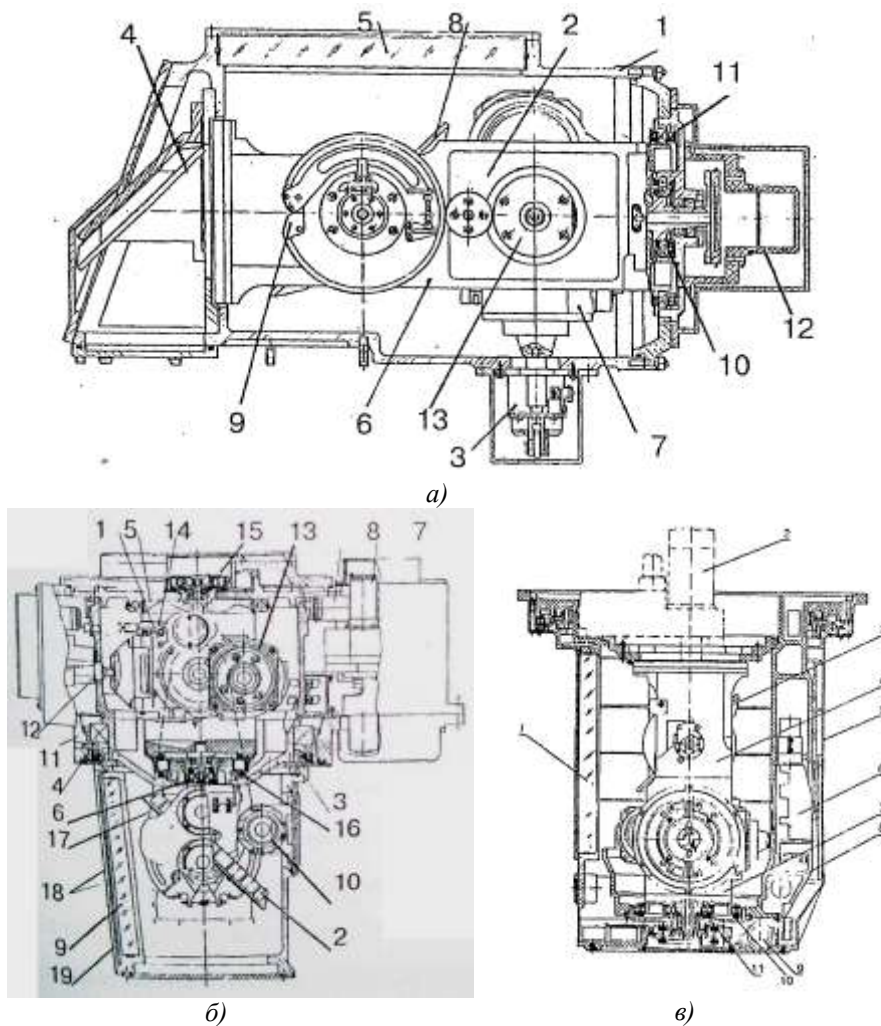


Рис. 1. Конструкція головки СК НС: а) варіант 1; б) варіант 2; в) варіант 3

Експериментальні дослідження СК НС виконувалися у кілька етапів:

1. Підтвердження необхідних параметрів електронних пристроїв: електронних підсилювачів, що коригують пристрої.

2. Підтвердження необхідних параметрів прецизійних механічних і оптико-механічних пристроїв (гіроскопів, гіростабілізаторів, механічних і оптико-механічних пристроїв системи стабілізації та слідкуючих приводів).

Для проведення випробувань елементів, пристроїв та СК НС потрібне розроблення спеціальних стендів і стендового устаткування. До їх складу входять:

1. Стенди для проведення випробувань СК у складі НС на вібростійкість у вертикальній і горизонтальній площинах. Випробування полягають у підтвердженні припустимої похибки стабілізації та роздільної здатності сигналів бачення при впливі зовнішніх вібрацій у широкому діапазоні частот від 20 до 500 Гц і амплітуд, що забезпечують прискорення від 0,1 до 5 g.

2. Оптичні коліматори, призначені для формування оптичного променя, спрямованого на головне дзеркало денної або нічної системи бачення, що мають оптичну сітку із ціною розподілу 1", на яку проєктується відбитий від головного дзеркала промінь, амплітуда коливань якого пропорційна розмаху похибки стабілізації гіростабілізатора. Оптичний коліматор (ціна розподілу 3") використовується при оцінюванні похибки стабілізації, вібростійкості СК НС на вібростендах вертикальних або горизонтальних вібрацій.

3. Вимірювальні й записуючі пристрої та прилади, що служать для вимірювання параметрів СК НС (електронні датчики, погоджувальні підсилювачі) і запису цих сигналів на жорсткий або магнітний носій.

У результаті експериментальних досліджень було встановлено, що похибка стабілізації лінії візування при амплітуді коливання до 1 g складає до 20".

**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.**  
 Національний технічний університет України "КПІ"  
**А.А. Остапчук, аспір.**  
 Житомирський державний технологічний університет

### ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БАЛІСТИЧНОГО ГРАВИМЕТРА

Балістичні гравіметри (БЛГ) застосовуються для абсолютних вимірювань  $g$ . Принцип дії БЛГ заснований на вимірюванні часу проходження падаючого тіла через декілька точок, відстань між якими відома.

Проведено лабораторні дослідження з визначення прискорення сили тяжіння (ПСТ). Для цього використано варіант балістичного методу вимірювання  $g$ . Нехай пробне тіло А (металева куля з магнітними властивостями) (рис. 1) падає з деякої висоти з нульовою початковою швидкістю.

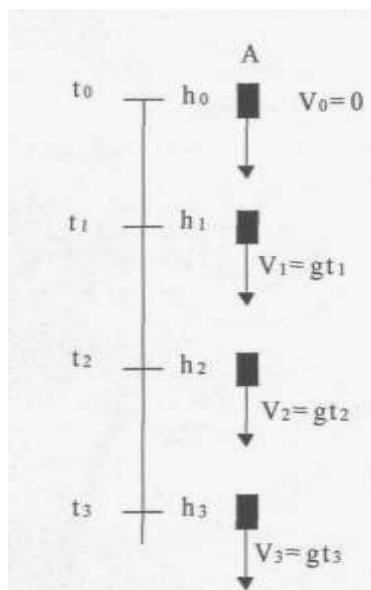


Рис. 1. Лабораторна установка для експериментальних досліджень ПСТ

Аналіз літератури показав, що експерименти з визначення ПСТ  $g$  є громіздкими та вимагають великих апаратних та розрахункових затрат. Тому актуальним є дослідження можливості використання простого варіанта балістичного методу вимірювання  $g$ .

Мета роботи: створення установки та визначення на ній абсолютного значення  $g$  у лабораторних умовах.

Балістичні гравіметри застосовуються для абсолютних вимірювань  $g$ . Принцип дії балістичного гравіметра заснований на вимірюванні часу проходження падаючого тіла через декілька точок, відстань між якими відома. У роботі використано простий лабораторний варіант балістичного методу вимірювання  $g$ . Схема установки для вимірювання прискорення вільного падіння представлена на рисунку 1.

Використовуючи формули рівноприскореного руху для швидкості та пройденого шляху, запишемо такі співвідношення для інтервалів  $S_1$  та  $S_2$  пройденого шляху:

$$S_1 = V_1 \Delta t_1 + \frac{g \Delta t_1^2}{2}; \quad (1)$$

$$S_2 = S_1 \Delta t_2 + \frac{g \Delta t_2^2}{2} = (V_1 + g \Delta t_1) \Delta t_2 + \frac{g \Delta t_2^2}{2}, \quad (2)$$

де  $S_1 = h_2 - h_1$  і  $S_2 = h_3 - h_2$  – два інтервали шляху, який послідовно проходить пробне тіло за час  $\Delta t_1 = t_2 - t_1$  і  $\Delta t_2 = t_3 - t_2$  відповідно.

Отримаємо швидкість  $V_1$  з рівняння (1) і підставимо її вираз у формулу (2). Після нескладних перетворень одержимо формулу для визначення ПСТ за вимірними значеннями  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $\Delta t_1$  і  $\Delta t_2$ :

$$g = \frac{2(S_2/\Delta t_2 - S_1/\Delta t_1)}{\Delta t_1 + \Delta t_2}. \quad (3)$$

Якщо встановити відстані між вимірювальними котушками однаковими ( $S = S_1 = S_2$ ), то розрахункову формулу можна представити у вигляді:

$$2S = g \cdot \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{1/\Delta t_2 - 1/\Delta t_1}, \quad (4)$$

звідки отримаємо ПСТ:

$$g = \frac{2S(1/\Delta t_2 - 1/\Delta t_1)}{\Delta t_1 + \Delta t_2}. \quad (5)$$

У цьому випадку, виконавши серію експериментів для різних  $S$ , можна побудувати графік, по осях якого відкладати  $2S$  і  $T$ . Позначимо

$$T = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{1/\Delta t_2 - 1/\Delta t_1}, \quad (6)$$

тоді

$$g = \frac{2S}{T}. \quad (7)$$

За кутом нахилу отриманої прямої можна визначити прискорення  $g$ .

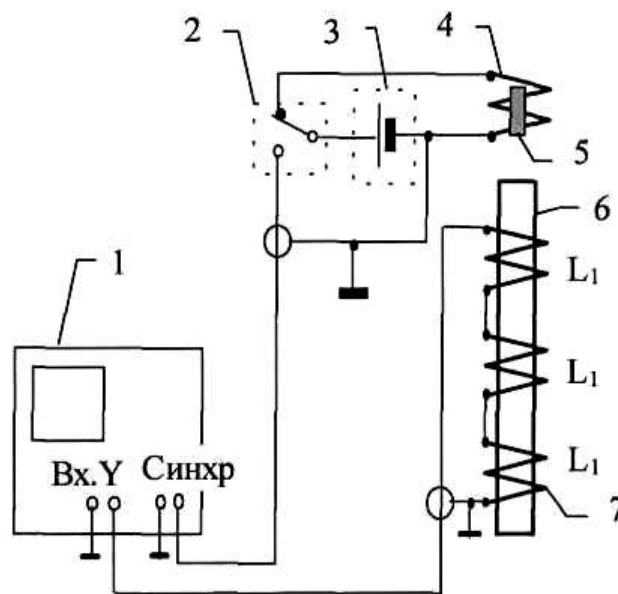


Рис. 2. Установа для вимірювання прискорення вільного падіння:  
 1 – осцилограф; 2 – кнопка “пуск”; 3 – блок живлення соленоїда;  
 4 – соленоїд; 5 – падаюче тіло;  
 6 – напрямляючий циліндр; 7 – вимірювальні котушки

Виконавши серію експериментів для різних  $S$ , побудовано графік, по осях якого відкладено  $2S$  і  $T$ . За кутом нахилу одержаної прямої визначено прискорення  $g$  (якщо пряма не проходить через початок координат, це означає, що в експерименті присутня систематична похибка).



**О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.  
С.С. Ткаченко, асист.**

*Національний технічний університет України "КПІ"*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОХИБКИ ВИМІРЮВАНЬ КУТА НОВОГО КУТОМІРНОГО ПРИСТРОЮ**

У приладобудуванні, аерокосмічній галузі, машинобудуванні та в інших галузях науки й техніки велику увагу приділяють високоточному вимірюванню кутів.

Сьогодні постійно підвищуються вимоги до точності та швидкодії вимірювання кутів, оскільки саме вони обмежують точність та швидкодію вимірювань інших механічних величин (прискорення, гравітаційного прискорення тощо).

Точності вимірювання кутів присвячено праці багатьох видатних вчених України та СНД: Ю.В. Філатова, Д.П. Лукьянова, П.О. Павлова, Г.С. Тимчика, В.Г. Колобродова, В.І. Бузанова та інших. Слід зазначити досягнення видатних шкіл з точного вимірювання кутів, створених на базі КП «Центральне конструкторське бюро «Арсенал» та приладобудівного факультету НТУУ «КПІ». Між цими двома організаціями ведеться плідна співпраця десятки років.

Відомі засоби вимірювання кутів: неавтоматизовані (точність 1–10"), точність та швидкодія яких незадовільні; напівавтоматизовані (точність 0,6–1"), точність та швидкодія яких є недостатніми.

Актуальними у наш час є розробка та дослідження повністю автоматизованого вимірювача кутів точністю не менше 0,3".

Протягом останнього десятиріччя на КП «Центральне конструкторське бюро «Арсенал» за участю наукової лабораторії вимірювальних перетворювачів кафедри приладобудування приладобудівного факультету НТУУ «КПІ» за участю авторів створено та досліджено новий автоматизований вимірювач кутів, який забезпечує одночасно процес вимірювання, реєстрацію та обробку вимірювальної інформації в реальному масштабі часу за допомогою ЕОМ.

У результаті аналізу наукових, теоретичних та практичних праць у галузі вимірювання кутів одним з найбільш перспективних можна вважати гоніометр.

Гоніометр повинен мати високі основні метрологічні характеристики: точність та швидкодію. Для підвищення точності вимірювань кутів ведуться інтенсивні розробки вимірювачів, заснованих на нових фізичних принципах. Але найбільш перспективними вважаються гоніометри з використанням кільцевих лазерів (КЛ).

У відомій літературі стосовно гоніометрів відсутні роботи з підвищення їх точності та швидкодії на основі кільцевого лазера з автоматизованою обробкою результатів вимірювання.

Тому дослідження нового високоточного вимірювача кута (ВК) з кільцевим лазером з метою підвищення точності та швидкодії вимірювання кутів є актуальним.

Метою роботи є підвищення точності та швидкодії вимірювань кутів шляхом використання нового автоматизованого високоточного вимірювача кута з кільцевим лазером.

Основні завдання роботи:

- провести аналіз літератури в галузі високоточних вимірювачів кута;
- проаналізувати вплив на похибку вимірювання кутів нового вимірювача кута кутової швидкості обертання Землі;
- розробити нову математичну модель похибки вимірювання кутів нового автоматизованого високоточного вимірювача кута на основі кільцевого лазера;
- провести дослідження впливу фотоелектричного автоколіматора на похибку вимірювання кутів нового вимірювача кута;
- провести дослідження стабільності похибок нового вимірювача кута;
- провести дослідження впливу кільцевого лазера на похибку вимірювання кутів нового вимірювача кута;
- провести експериментальні дослідження систематичних і випадкових похибок вимірювача кутів з кільцевим лазером з метою підтвердження адекватності теоретичних результатів досліджень.

Об'єкт дослідження: процес вимірювань кутів шляхом використання нового автоматизованого високоточного вимірювача кута з кільцевим лазером.

Предмет дослідження: новий автоматизований високоточний вимірювач кута з кільцевим лазером.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі використано такі методи досліджень:

- методи математичного аналізу для отримання математичної моделі вимірювача кутів на основі КЛ та її дослідження;
- метод найменших квадратів для аналізу характеристик вимірювача кута;
- методи статистичної обробки результатів вимірювань для експериментальних досліджень;
- експериментальні методи та моделювання на ЕОМ для перевірки достовірності теоретичних положень.

Наукова новизна одержаних результатів. На відміну від відомих робіт, отримано такі нові наукові результати:

- обґрунтовано доцільність дослідження нового високоточного вимірювача кута з метою підвищення точності та швидкодії вимірювання кутів;
- уперше проведено аналіз похибки вимірювань нового вимірювача кута з використанням методу калібрування;
- розроблено нову математичну модель похибки нового вимірювача кута на основі кільцевого лазера та проведено аналіз її основних складових;
- проаналізовано вплив на похибку вимірювань кутової швидкості обертання Землі та доповнено вираз математичної моделі вимірювача кута відповідною поправкою;
- уперше проведено дослідження похибки вимірювання кутів, обумовленої фотоелектричним автоколіматором, за допомогою стандартної призми;
- проаналізовано вплив дрейфу масштабного коефіцієнта кільцевого лазера на похибку вимірювання кутів та, з метою компенсації цього впливу, додано поправку до математичної моделі вимірювача кута;
- проведено дослідження стабільності похибок нового вимірювача кута з кільцевим лазером з метою подальшого збільшення його точності;
- обґрунтовано перспективність використання нового вимірювача кута у гравіметричних та навігаційних вимірюваннях.

Наукові та практичні здобутки роботи впроваджені у ВАТ «Науково-виробничий комплекс «Київський завод автоматики ім. Г.І. Петровського» (м. Київ) та в навчальному процесі на кафедрі приладобудування Національного технічного університету України «КП» (м. Київ) у дисципліні «Перетворюючі пристрої приладів та комп'ютеризованих систем». Досліджено похибку нового вимірювача кута, обумовлену кільцевим лазером. Розглянуто особливості використання кільцевих лазерів у кутомірних засобах.

Виявлено, що з усіх факторів, які найбільше впливають на точність КЛ, є лінійний дрейф масштабного коефіцієнта КЛ. Експериментально встановлено, що у проміжку між 16 і 17 циклами вимірювань відбувся стрибок масштабного коефіцієнта. До цього стрибка його лінійний дрейф склав величину близько  $b = 0,03$  пер/с, після –  $b = 0,047$  пер/с.

Похибка вимірювання кутів 24-гранної призми, обумовлена таким лінійним дрейфом масштабного коефіцієнта, складає  $\Delta\varphi_0 = 0,002''$  та  $\Delta\varphi_0 = 0,004''$  відповідно. Значення похибок є незначними, тому можна нехтувати таким лінійним дрейфом масштабного коефіцієнта. Проте при вимірюванні кутів  $90^\circ$  похибка вимірювання кутів складає  $\Delta\varphi_0 = 0,1''$  та  $\Delta\varphi_0 = 0,16''$  і може суттєво впливати на результат вимірювань. З метою компенсації похибки від дрейфу масштабного коефіцієнта КЛ введено поправку в математичній моделі похибки вимірювача кута.

З метою врахування зсуву нуля вихідної характеристики математичну модель доповнено коефіцієнтом  $f_0$ :

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\int_{t_1}^{t_2} [K(t)\omega_{КЛ}(t)\cos\alpha(t) + \frac{K_{-1}(t)}{\omega_{КЛ}(t)\cos\alpha(t)} + f_0(t)]dt}{\int_{t_1}^{t_2} [K(t)\omega_{КЛ}(t)\cos\alpha(t) + \frac{K_{-1}(t)}{\omega_{КЛ}(t)\cos\alpha(t)} + f_0(t)]dt} - \Delta\varphi_0 - \Delta\varphi_3 - \varphi$$

Стабільність роботи КЛ при обертанні за і проти руху стрілки годинника оцінювалася шляхом обчислення СКВ періодів за 5 обертів у кожному з півциклів вимірювань. До стрибка масштабного коефіцієнта СКВ при обертанні проти стрілки годинника більше за СКВ при обертанні у зворотний бік, однак після стрибка СКВ зрівнялися. Це свідчить про те, що після стрибка масштабного коефіцієнта відбулася перебудова резонатора. Оцінювання СКВ при двосторонньому обертанні запропоновано використовувати для контролю роботи КЛ. Рекомендовано вимірювання кутів проводити після розгону кільцевого лазера не менше 1 хв.

О.М. Безвесільна, д.т.н., проф.  
 Національний технічний університет України "КПІ"  
 Ю.О. Шавурський, аспір.  
 Житомирський державний технологічний університет

**АНАЛІЗ ПОХИБОК ТЕРМОАНЕМОМЕТРИЧНОГО ВИТРАТОМІРА**

При налаштуванні термоанемометричного витратоміра (ТАВ) по блоках кінцевих мір виникає похибка:

$$\Delta Z_R = \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right). \tag{1}$$

При налаштуванні по деталі з циліндричною поверхнею діаметром  $D_0$  (контролююча деталь, сопло двигуна, діаметром  $D$ ) похибка вимірювання (рис. 1):

$$\Delta Z_R = \frac{D_0}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E_0 \right) - \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right). \tag{2}$$

На рисунку 2 показано залежність  $\Delta Z_R$  від діаметра контрольованого сопла двигуна (від 5 до 500 мм) для вимірювальних сопел діаметром  $d_2$  (1,2 і 3 мм). З рисунка 2 видно, що кривизна поверхні істотно впливає на результати вимірювання витрати біопалива ТАВ, і цей вплив необхідно враховувати.

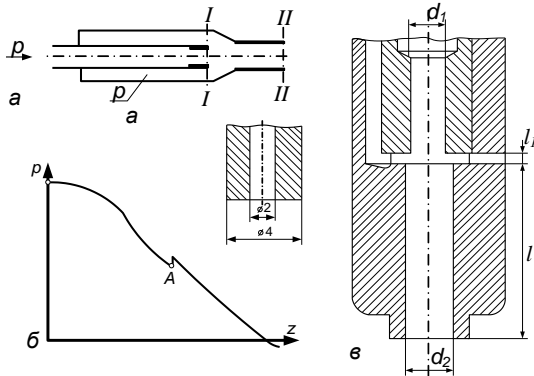


Рис. 1. Основні параметри ежекторного сопла ТАВ

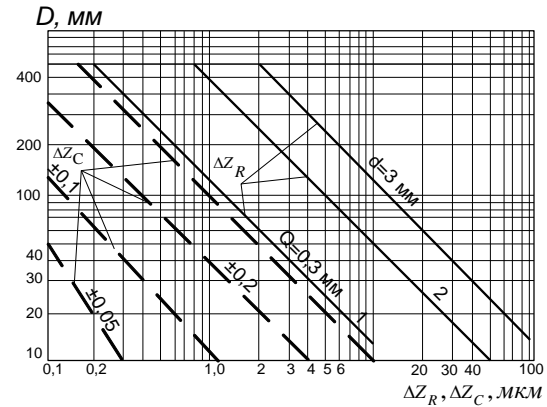


Рис. 2. Графік залежностей  $\Delta Z_R$  і  $\Delta Z_C$

Досліджено похибки ТАВ, спричинені впливом зміщення сопла. Похибка, яка виникає при зміщенні осі сопла відносно осі сопла двигуна, визначається:

$$\Delta Z_C = \frac{1}{2D} (2a^2 + r^2) - \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right), \tag{3}$$

де  $a$  – зміщення сопла двигуна;  $D$  – діаметр вхідного сопла двигуна.

На рисунку 2 показано графіки  $\Delta Z_C$ , побудовані згідно з (3), обирався діаметр  $D = 15-500$  мм, при  $a = \pm 0,05 \dots \pm 0,3$  мм.

Досліджено вплив шорсткості поверхні сопла. Для різних класів чистоти (шорсткості) поверхні при налагодженні зразкового та контрольованого сопел двигуна похибка вимірювання:

$$\Delta Z_w = 0,5(R_{Z_d} - R_{Z_{0B}}), \tag{4}$$

де  $R_{Z_d}$  – середня висота нерівностей контрольованого сопла;  $R_{Z_{0B}}$  – середня висота нерівностей зразкового сопла.

На рисунку 3 зображено отриманий графік залежності  $\Delta Z_w (R_Z)$ .

Встановлено, що для зменшення похибки вимірювання від шорсткості поверхні потрібно ТАВ настроювати за зразком, рівноцінним шорсткості контрольованого сопла двигуна, або вводити поправку за отриманою формулою до результатів вимірювань.

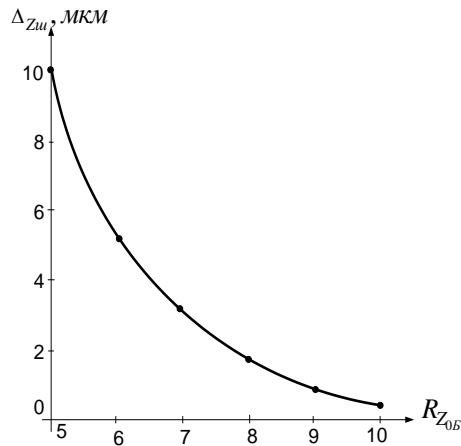


Рис. 3. Вплив шорсткості поверхні сопла

Встановлено основні параметри сопла ТАВ: сопло розраховане на тиск палива в діапазоні  $p = (1-2) \cdot 10^5$  Па; постійна часу ТАВ (0,3-0,5) с.

Отримано вираз сумарної похибки вимірювань ТАВ:

$$\Delta = \frac{D_o}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E_0 \right) - \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right) + \frac{1}{2D} (2a^2 + r^2) - \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right) + 0,5(R_{Z_{дл}} - R_{Z_{оо}}), \quad (5)$$

де  $\frac{D_o}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E_0 \right) - \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right) = \Delta Z_R$  – похибка через різницю прохідних перерізів між торцем вимірювального сопла й поверхнею сопла двигуна при настроюванні та вимірюванні;  $0,5(R_{Z_{дл}} - R_{Z_{оо}}) = \Delta Z_{ш}$  – похибка від впливу шорсткості поверхні двигуна;  $\frac{1}{2D} (2a^2 + r^2) - \frac{D}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - E \right) = \Delta Z_C$  – похибка від впливу зміщення сопла двигуна.

Розраховано сумарну похибку ТАВ. Для діаметра вимірювального сопла ТАВ  $d_2 = 2$  мм, діаметра форсунки  $D = 15$  мм отримано з номограми на рисунку 2 значення похибки ТАВ від кривизни поверхні сопла  $\Delta Z_R = 35$  мкм.

Прийнято зміщення осі двигуна відносно осі сопла ТАВ  $a = 0,2$  мм та  $D = 15$  мм. Знайдено з номограми на рисунку 2 значення похибки ТАВ від впливу зміщення сопла  $\Delta Z_C = 2,6$  мкм.

Розраховано сумарну похибку ТАВ  $\Delta = 35 + 2,6 = 37,6$  мкм.

Отримано середньоквадратичне значення похибки ТАВ:

$$\sigma = \left\{ 0,5 \left[ (\Delta Z_R)^2 + (\Delta Z_C)^2 \right] \right\}^{0,5} = 24,8 \text{ мкм}. \quad (6)$$

**АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ МАТРИЦІ КОРИГУЮЧИХ КОЕФІЦІЄНТІВ  
ПРИ СИНТЕЗІ БАГАТОВИМІРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

У методі простору стану більшість методів синтезу пов'язана з заданим розміщенням полюсів з використанням зворотного зв'язку за станом, але не завжди вихідні змінні синтезованої системи управління задовольняють необхідні критерії якості, тому перед інженерами-проектувальниками постає завдання введення компенсуючого пристрою у вигляді лінійного послідовного коефіцієнта підсилення у випадку однорічної системи управління або матриці відповідних коефіцієнтів для багатовимірних систем управління.

Модель синтезованої системи з використанням компенсуючого пристрою зображена на рисунку 1.

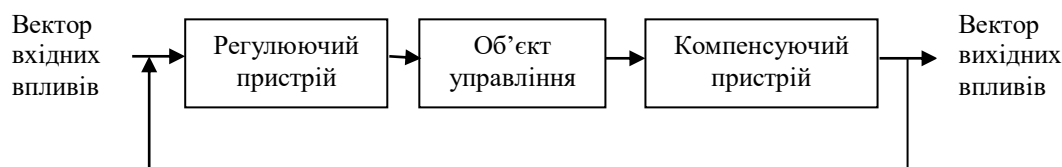


Рис. 1. Модель системи з компенсуючим пристроєм

Запропоновано алгоритм розрахунку матриці коригуючих коефіцієнтів при синтезі цифрових багатовимірних систем управління з використанням формули про кінцеве значення функції виходу досліджуваної системи:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \beta(t) = \lim_{z \rightarrow 1} z \cdot \beta(z), \tag{1}$$

де  $\beta(z) = W(z) \cdot \frac{z}{z-1}$ .

Для цього запишемо вираз для передавальної функції замкненої системи з початковим коефіцієнтом підсилення  $Kp$ :

$$H_{екв}(z) = \begin{pmatrix} \frac{z}{z-z_1} & 0 \\ 0 & \frac{z}{z-z_2} \end{pmatrix} \cdot Kp, \tag{2}$$

де  $Kp$  – матриця коефіцієнтів посилення розімкненої системи, яка визначається за допомогою виразу (3):

$$Kp = \begin{bmatrix} kp_{11} & kp_{12} \\ kp_{21} & kp_{22} \end{bmatrix};$$

$$kp_{ij} = b_{1j}c_{i1} + b_{2j}c_{i2};$$

$$i = \overline{1,2};$$

$$j = \overline{1,2}.$$

(3)

Враховуючи, що в результаті синтезу вихідний вектор повинен збігатися з вхідним впливом

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Y(t) = U = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}, \text{ справедлива така рівність:}$$

$$K \cdot H_{екв}(z) \cdot U = U.$$

(4)

З даного виразу визначаємо матрицю коригуючих коефіцієнтів  $K$ , яка розраховується за формулою (5):

$$K = Kp^{-1} \begin{pmatrix} \frac{z}{z-z_1} & 0 \\ 0 & \frac{z}{z-z_2} \end{pmatrix}^{-1} \cdot E. \tag{5}$$

В наведеному рівнянні матриця E – діагональна одинична матриця відповідної розмірності.

Розглянутий приклад синтезу підтвердив достовірність отриманих аналітичних виразів знаходження коригуючих коефіцієнтів для синтезованих багатовимірних цифрових систем управління.

Схема моделі цифрової системи з регулятором та перехідні процеси представлені відповідно на рисунках 2 та 3.

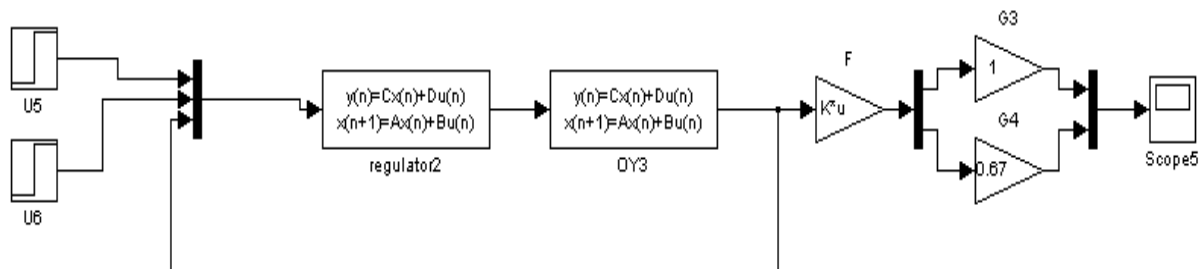


Рис. 2. Модель об'єкта управління з коригуючими коефіцієнтами

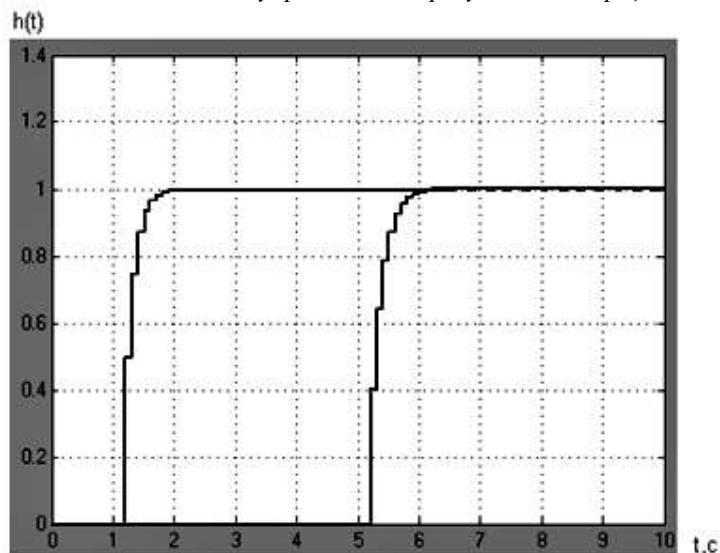


Рис 3. Графіки перехідних процесів об'єкта управління

### АЛГОРИТМИ МІНІМІЗАЦІЇ ЧАСУ ЗАПІЗНЕННЯ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ

У більшості галузей виробництва, областей науки і техніки присутні системи керування, до складу яких входить елемент або група елементів, що є ланками запізнення. Запізнення може породжуватися як конкретними елементами системи, так і структурою самої системи, часом обробки інформації дискретними перетворювачами. Наявність у системі керування чистого запізнення суттєво погіршує якість регулювання.

Для подолання запізнення в системах керування існують алгоритми його мінімізації. До них належить вдалий та дієвий алгоритм упереджувача Сміта, коли для подолання запізнення в системі використовується місцевий від'ємний зворотний зв'язок, яким охоплюється об'єкт керування. Для використання алгоритму упереджувача Сміта необхідно знати модель об'єкта регулювання. Якщо модель відома не точно або її параметри змінюються у часі – ефект від введення до складу системи упереджувача Сміта знижується.

Однак, не зважаючи на дієвість упереджувача Сміта, пропонується регулятор, за основу якого взятий метод синтезу цифрових систем методом бажаних передавальних функцій. Даний метод адаптований для використання при синтезі цифрових систем із запізненням. Його використання забезпечує стабільно високі показники якості синтезованої системи.

Запропонований метод мінімізує запізнення, наявне в системі, та не поступається упереджувачу Сміта за показниками якості. Мінімізація існуючого в системі запізнення досягається за рахунок використання двох коефіцієнтів підсилення, один з яких форсує перехідний процес у початковий момент часу.

Відповідно до методу синтезу, бажана передавальна функція замкненої системи має вигляд:

$$W_{\zeta}(z) = \frac{B(z) \cdot M_1(z)}{Q(z)};$$

$$1 - W_{\zeta}(z) = \frac{(z-1)^r \cdot C^-(z) \cdot N_1(z)}{Q(z)},$$

де  $Q(z)$  – бажане характеристичне рівняння;  $r$  – ступінь астатизму системи;  $M_1, N_1$  – поліноми, які забезпечують бажані властивості системи й обираються за виконання умов:

$$\|N_1\| \geq \|B\|;$$

$$\|M_1\| \geq \|C_1\| + r - 1.$$

Тоді цифровий регулятор описується такою передавальною функцією:

$$W_{ЦР}(z) = \frac{(z-1)^{r_0} \cdot C_1^+(z) \cdot M_1(z) k^{**}}{(z-1)^r N_1(z) \cdot z^m} \quad (1)$$

$$k^{**} = 0.205 \cdot k^* \cdot e^{\left(\frac{1}{m}\right)}; \quad (2)$$

$$k^* = m_0 = M_1(z), \quad (3)$$

де  $m$  – ціла кількість періодів запізнення системи.

Було проведено порівняльний аналіз двох моделей із запропонованими вдосконаленнями з синтезу цифрових систем із запізненням, які забезпечують бажані показники якості системи та мінімізацію запізнення. Дослідження проводилися на розроблених моделях у пакеті Matlab/Simulink. Моделі систем представлені на рисунку 1.

Як видно з графіків перехідних процесів (рис. 2), вихідна система (3) нестійка, а системи із запропонованим регулятором (2) та упереджувачем Сміта (1) мають необхідні показники якості та запізнення, яке в процесі мінімізується.

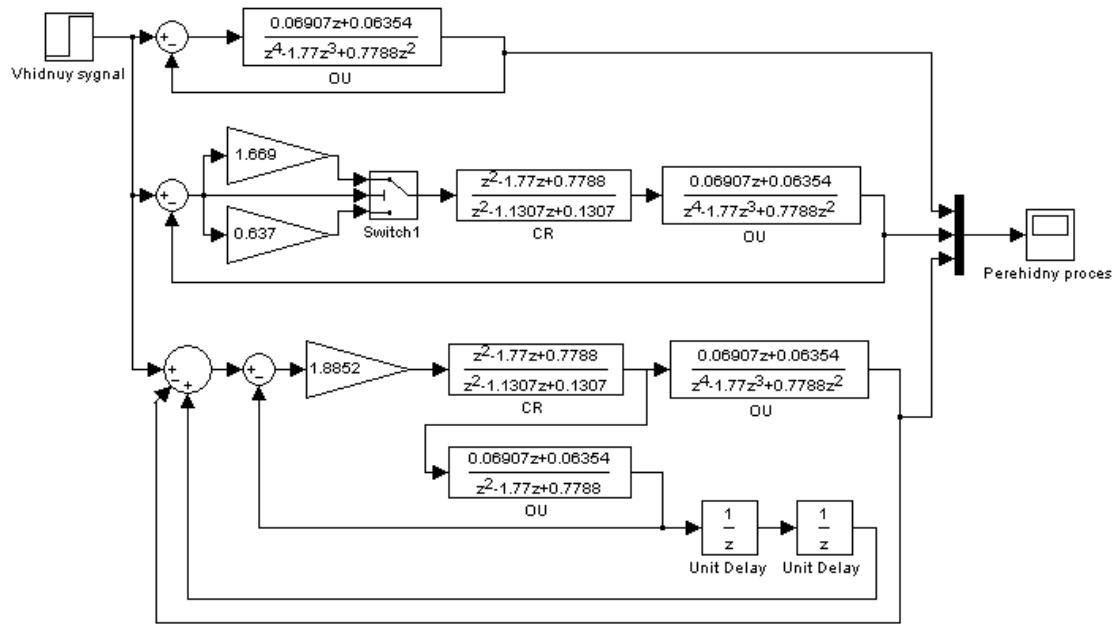


Рис. 1. Моделі досліджуваних цифрових систем

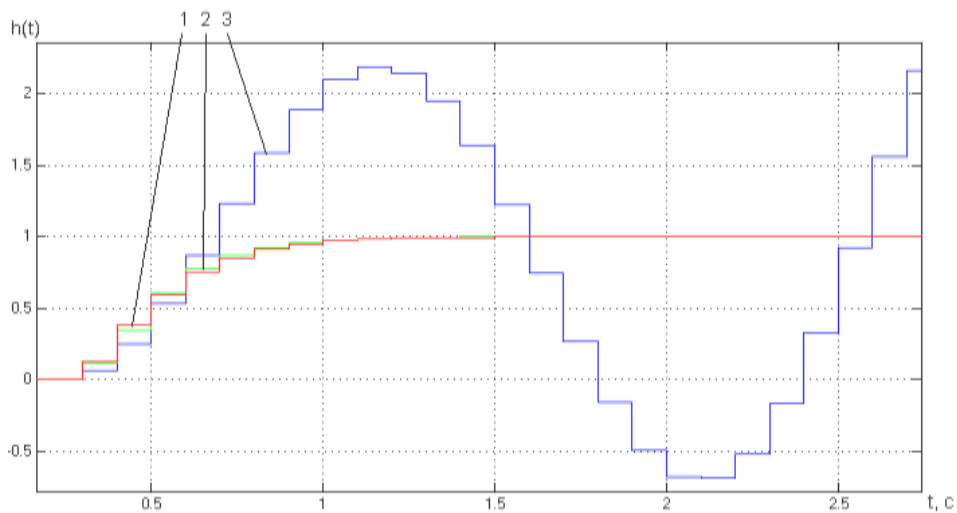


Рис. 2. Графіки перехідних процесів у системах із запізненням з упереджувачем Сміта (1), синтезованої системи із запізненням та вдосконаленим регулятором (2) і початкової системи із запізненням без регулятора (3)

Запропонований метод має однакові показники якості з упереджувачем Сміта, однак позбавлений його недоліків, основним з яких є надмірна складність системи.



**А.С. Вовкула, магістрант**  
 Науковий керівник – к.т.н., доц. Подчашинський Ю.О.  
 Житомирський державний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ФІЛЬТРАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО МІСТЯТЬ ВИМІРЮВАЛЬНУ ІНФОРМАЦІЮ

Однією з фундаментальних проблем сучасності є проблема зорового сприйняття. Виникнувши дуже давно, вона є актуальною і нині, бо зображення є природним засобом спілкування людини й машини в будь-яких системах обробки, аналізу та контролю.

Корисну інформацію із зображень можна отримати багатьма способами. В даному дослідженні таким способом є аналіз зображень об'єктів вимірювань, що мають високу якість. Тому постає питання, як саме підвищити якість сформованих зображень. Вирішенням цього завдання є вибір конкретного методу фільтрації. Щоб обрати один з методів, необхідно буде провести аналіз найбільш придатних методів для автоматизованої системи. Критерій, за яким буде обиратися метод фільтрації, може бути будь-який. Головне, щоб вказаний метод за цим критерієм був кращим від інших і давав високоякісні результати при обробці цифрових зображень.

Сучасні методи фільтрації зображень нараховують велику кількість видів. Вони можуть як відрізнятися в основних принципах дії, так і мати подібні алгоритми з деякими відмінностями, що вдосконалюють кожен метод. Проблемою вибору методу є відбір найефективнішого у вирішенні поставленого завдання. Основні з них розглядаються в цьому дослідженні, де висвітлюються методики кожного з них, їх переваги та недоліки.

У даному дослідженні використовуються аерокосмічні зображення.

Джерела шуму на цих зображеннях можуть бути різними:

- неідеальне обладнання для формування зображення – відеокамера, сканер тощо;
- погані умови зйомки – наприклад, сильні шуми, що виникають при нічній відеозйомці;
- перешкоди при передачі зображень по аналогових каналах – наведення від джерел електромагнітних полів, власні шуми активних компонентів (підсилювачів) лінії передачі;
- похибки фільтрації при виділенні сигналів яскравості й кольору з аналогового композитного сигналу тощо.

Найбільш поширені види шумів:

- гауссів шум;
- шум Релея;
- шум Ерланга (гамма-шум);
- експоненційний шум;
- рівномірний;
- імпульсний.

Можна виділити такі базові підходи до просторового заглушення шумів:

- 1) лінійне усереднення пікселів;
- 2) математична морфологія;
- 3) гауссове розмиття;
- 4) фільтри Вінера;
- 5) методи на основі вейвлет-перетворення;
- 6) метод головних компонентів;
- 7) анізотропна дифузія;
- 8) медіанна фільтрація.

*Лінійне усереднення пікселів.* Найпростіша ідея видалення шуму – усереднювати значення пікселів у просторовій області. Для кожного пікселя аналізуються сусідні для нього пікселі, які розташовуються в деякому прямокутному вікні навколо цього пікселя.

*Математична морфологія.* Шумозаглушення можна також здійснювати з використанням двох основних морфологічних операцій: звуження (erosion) і розширення (dilation), а також їх комбінацій – закриття (closing) і розкриття (opening). Розкриття (спочатку звуження, потім розширення) вилучає виступи на межах об'єктів, а закриття (спочатку розширення, потім звуження) заповнює отвори всередині й на межах.

*Гауссове розмиття.* Гауссове розмиття – це згортка зображення з функцією:

$$g(x, y) = A e^{-\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}},$$

де параметр  $\sigma$  задає ступінь розмиття, а параметр  $A$  забезпечує нормування. Фактично, це те ж усереднення, тільки піксель змішується з оточуючими за певним законом, заданим функцією Гауса.

*Фільтри Вінера.* Технічно фільтр Вінера реалізується за допомогою дискретного перетворення Фур'є в частотній області.

Умова застосування фільтра Вінера полягає в його використанні для обробки зображень, що мають досить великі розміри.

*Методи на основі вейвлет-перетворення.* Вейвлет-перетворення – це інструмент аналізу зображень. В області шумозаглушення воно дозволяє видаляти шум із зображення, не зачіпаючи значно межі й деталі зображення. Також воно дозволяє ефективно гасити шуми зі спектрами, відмінними від білого.

*Метод головних компонентів.* Метод головних компонентів (МГК) дозволяє виділити структуру в багатовимірному масиві даних і застосовується в основному для розпізнавання або стиснення зображень. В області шумозаглушення цей підхід є досить новим і мало дослідженим. Працює він краще за все для зображень з білим гауссівським шумом.

*Анізотропна дифузія.* Основна ідея даного підходу полягає в наступному. Яскравість кожного пікселя інтерпретується як значення температури в даній точці зображення, таким чином, всі зображення представляються у вигляді карти температур. Шумозаглушення проводиться шляхом вирівнювання температур (фактично, інтенсивностей пікселів) за допомогою моделювання процесу теплопереносу:

$$I_t = c \cdot \Delta I,$$

де  $c$  – коефіцієнт теплопровідності, а  $\Delta I$  – різниця яскравостей ("температур") двох пікселів.

*Медіанний фільтр* реалізує нелінійну процедуру видалення шумів. Медіанний фільтр – це вікно, що переміщується по зображенню та охоплює непарну кількість пікселів. Центральний піксель замінюється медіаною усіх елементів зображення у вікні. Медіанний фільтр використовується для видалення адитивного та імпульсного шумів на зображенні.

*Режекторні фільтри.* Режекторні фільтри видаляють або послаблюють частоти в кільцевій смузі навколо початку координат перетворення Фур'є. Передаточна функція ідеального режекторного фільтра задається виразом:

$$H(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{їдє} & D(u, v) < D_0 - \frac{W}{2}; \\ 0 & \text{їдє} & D_0 - \frac{W}{2} \leq D(u, v) \leq D_0 + \frac{W}{2}; \\ 1 & \text{їдє} & D(u, v) > D_0 + \frac{W}{2}, \end{cases}$$

де  $D(u, v)$  – відстань, що вимірюється від центра частотного прямокутника;  $W$  – ширина кільця, а  $D_0$  – радіус круга, що проходить через його середину.

*Смугові фільтри* здійснюють операцію, протилежну режекторним фільтрам. Передаточна функція  $H_{bp}(u, v)$  смугового фільтра може бути отримана з передаточної функції відповідного режекторного фільтра за допомогою виразу:

$$H_{bp}(u, v) = 1 - H_{br}(u, v).$$

*Вузькосмугові* фільтри і *вузькосмугові режекторні фільтри* відповідно пропускають або не пропускають частоти навколо своїх центральних частот.

При отриманні зображень із супутника та при аерофотозйомці звичайно виникає ряд шумів. Під час передачі зображень на Землю виникає імпульсний шум. Він характеризується заміною частини пікселів на зображенні значеннями фіксованої або випадкової величини. Оскільки зйомка ведеться на великій відстані, то присутній релеїв шум. За поганих умов прийому сигналу виникає гауссів шум. Оскільки зйомка ведеться тривалий час, а також існує вплив сонячних променів, то виникає тепловий шум.

### ТРИБЮЛЕТЕНЕВА СИСТЕМА ВИБОРІВ

Розробка систем голосування з високим рівнем захисту від спотворень результатів виборів є складним процесом з жорсткими обмеженнями на процедури проведення заходів та матеріальні носії волевиявлення.

На сьогоднішній день в Україні застосовується система таємного голосування, що є досить уразливою для фальсифікацій як при заповненні бюлетенів, так і під час їх транспортування, а також підрахунку голосів. Запобігти поширеним у нашій країні фальсифікаціям на деяких етапах дозволяють електронні системи голосування, проте вони мають ряд недоліків: високі витрати, додатковий інструктаж тощо. Система голосування з паперовими бюлетенями не зменшує впливу людського фактора, проте певні модифікації можуть зробити її більш захищеною від атак при спробі купівлі виборчого голосу та при підрахунку результатів.

Трибюлетенева система є новим способом голосування на основі паперових бюлетенів. Її характерною рисою є відсутність засобів криптографії, при цьому її принципи легкі та прості для розуміння. Суть цієї системи полягає в наступному.

Кожен виборець ідентифікує себе у списку виборців, після чого отримує мультібюлетень, що складається з трьох частин. Кожна частина є повноцінним бюлетенем (вони можуть бути розміщені на окремих аркушах паперу або надруковані на одному, що містить перфораційні лінії для зручного поділу на частини).

Всі бюлетені ідентичні, за винятком унікального ідентифікаційного номера (надалі ID), розташованого в нижній частині кожного з них. ID наноситься на бюлетень спеціальним пристроєм, цей процес розглянемо нижче. ID бюлетенів ніяк не пов'язані між собою, їм випадковим чином присвоюються унікальні значення, що не несуть криптографічного змісту. Верхня частина бюлетеня містить прізвища кандидатів, біля кожного з яких розташоване відповідне знакомісце для голосування. Отже, мультібюлетень має таку структуру: кожен рядок відповідає одному кандидату, в кожному рядку є три знакомісця (по одному на бюлетень). Заповнене знакомісце називатимемо позначкою.

Виборець отримує такі інструкції щодо заповнення мультібюлетеня:

- для того, щоб проголосувати «ЗА», необхідно заповнити будь-які два знакомісця у рядку обраного кандидата;
- для того, що проголосувати «ПРОТИ», потрібно заповнити будь-яке одне знакомісце;
- якщо рядок залишається абсолютно порожнім або у ньому заповнені всі три знакомісця, мультібюлетень не буде прийнято;
- мультібюлетень буде прийнято, якщо виборець проголосував проти всіх кандидатів.

Якщо розглядати бюлетені у сукупності, вони мають бути заповнені так: не більше одного кандидата з двома позначками, решта кандидатів має рівно одну позначку.

Шевченко	<input checked="" type="radio"/>	Шевченко	<input checked="" type="radio"/>	Шевченко	<input type="radio"/>
Ткач	<input type="radio"/>	Ткач	<input checked="" type="radio"/>	Ткач	<input type="radio"/>
Петренко	<input type="radio"/>	Петренко	<input type="radio"/>	Петренко	<input checked="" type="radio"/>
13243546		97867564		37584624	

Рис. 1

На рисунку 1 зображено зразок заповненої версії мультібюлетеня.

Виборець повинен отримати копію однієї з частин мультібюлетеня як квитанцію, котру він може забрати з собою. Він має право таємно і довільно обирати, копію якого саме бюлетеня отримати. Квитанція може бути надрукована, скажімо, на папері, що має колір, відмінний від стандартного кольору бюлетенів. Таким чином вона відрізнятиметься від оригіналу.

Процедура верифікації мультібюлетеня здійснюється за допомогою спеціального пристрою, що може розташовуватися у кабіні для голосування. Коли вибір зроблено, мультібюлетень опускається в

пристрій, що перевіряє, чи виконав виборець вказані вище вимоги. Якщо мультибюлетень заповнено неправильно, пристрій подає звуковий сигнал і вказує, де виникла помилка. Інакше подається звуковий сигнал, відмінний від попереднього випадку, і на кожен бюлетень пристрій наносить ID. Виборець вказує номер бюлетеня, копію якого він хотів би отримати як квитанцію. Пристрій розділяє мультибюлетень по перфораційних лініях, видає обраний бюлетень з копією та вміщує інші два бюлетені до корзини. Виборець перевіряє, чи ідентичні квитанція та обраний бюлетень. Якщо це так, він кидає бюлетень в урну для голосування і натискає кнопку «Готово», після чого корзина спорожняється в урну для голосування. Таким чином, виборець ніколи не побачить ID двох бюлетенів. Інакше, він натискає «Помилка», і пристрій спорожняє корзину з бюлетенями в урну зіпсованих бюлетенів. Виборець скаржиться працівнику виборчої дільниці, показуючи обраний бюлетень та невідповідну копію, і голосує ще раз. Отже, не потрібно турбуватися про загрозу запам'ятовування чи фотографування принаймні двох бюлетенів з трьох.

Після закриття виборчих дільниць весь набір бюлетенів сканується й публікується на веб-сайті разом зі списком виборців, які проголосували. Процес сканування дозволяє отримати зображення рішення виборця, в якому зафіксовано наявні позначки та ID бюлетеня. Сканування на рівні пікселів не використовується, оскільки виборець міг зробити нерозбірливу позначку на бюлетені, що дозволяє йому визначити зображення свого бюлетеня пізніше.

Після публікації результатів виборець може перевірити, чи збігається отримана ним квитанція з бюлетенем, опублікованим на веб-сайті. Якщо бюлетень, що збігається з квитанцією, відсутній, виборець може подати протест до відповідних органів, що зможуть дослідити квитанцію на автентичність, а також дозволити повторне сканування бюлетенів (для цього необхідно проводити ідентифікацію квитанцій, наприклад, застосовуючи цифровий підпис).

Якщо квитанція, принесена додому виборцем, не є обов'язковою копією одного зі своїх бюлетенів, то у суперника немає жодного способу підкупити його, навіть за умов співпраці. Для цього можна використовувати обмін квитанціями. Дана процедура полягає в наступному: на шляху виходу з виборчої дільниці розташовується урна з квитанціями, початково заповнена кількома порожніми квитанціями. Серійні номери фіктивних квитанцій будуть офіційно зареєстровані та розміщені на веб-сайті. Коли виборець залишає дільницю, він повинен забрати одну з квитанцій з корзини, а потім залишити власну. Квитанції, що залишаються в корзині, після процедури голосування офіційно реєструються та публікуються на веб-сайті.

Таким чином, виборець може перевірити, що бюлетень, який збігається з його квитанцією, наявний у списку на веб-сайті, а загальна кількість виборчих бюлетенів на веб-сайті в три рази перевищує кількість виборців, що проголосували. Суперник не може збільшити кількість бюлетенів на веб-сайті, не додаючи імена виборців, що може бути виявлено ким-небудь. Отже, будь-яке масштабне шахрайство буде викрито, і цілісність результатів виборів зберігається.

Квитанція не несе жодної достовірної інформації про те, як проголосував виборець, оскільки вона може мати будь-яку комбінацію позначок. Існує  $2^r$  варіантів зразків квитанції, де  $r$  – кількість рядків на бюлетені. Виборець може пред'явити сторонній особі лише часткову структуру позначок свого мультибюлетеня.

Бюлетені та результати виборів можуть бути підраховані будь-ким, з моменту опублікування на веб-сайті: якщо є  $n$  виборців і кандидати  $A$ ,  $B$  та  $C$  отримали  $a$ ,  $b$  і  $c$  голосів відповідно, то остаточний підрахунок за даною системою покаже  $n+a$ ,  $n+b$  та  $n+c$  позначок для  $A$ ,  $B$  і  $C$  відповідно; підсумки голосування за кожного кандидата можуть бути отримані шляхом віднімання кількості виборців  $n$  та кількості фіктивних квитанцій  $m$  від загальної кількості позначок для вказаного кандидата.

Таким чином, розглянута трибюлетенева система голосування дозволяє виборцям перевірити, що їхні голоси враховані належним чином і включені до підсумкового результату. Вона забезпечує хороший рівень «неперервної» можливості перевірки цілісності результатів. Дана система не знімає проблем, пов'язаних з певними типами атак на виборчу процедуру, таких, як: «каруселі», голосування на дому.

## ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ НЕСИНУСОЇДНОСТІ НАПРУГИ ЯК ОДНЕ ІЗ ЗАВДАНЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

Проблема несинусоїдності – проблема вищих гармонік – виникла останнім часом у зв'язку із застосуванням потужних електроприймачів з нелінійною вольтамперною характеристикою, таких, як електрозварювальні апарати, дугові сталеплавильні печі, некеровані та, особливо, керовані вентильні перетворювачі. Зараз проблема вищих гармонік є однією з важливих частин спільної проблеми електромагнітної сумісності приймачів електроенергії з живильною електричною мережею.

Обмеження несинусоїдності напруги з найбільшою ефективністю може бути досягнуто на етапі проектування енергопостачання промислових підприємств, але потребує додаткових затрат. Тому дане обмеження є техніко-економічною проблемою, котру не можна вирішувати у відриві від завдання компенсації реактивної потужності. Це пояснюється тим, що компенсуючі пристрої з ємнісними параметрами (наприклад, конденсаторні батареї, фільтри вищих гармонік) разом з індуктивним опором живильної мережі можуть викликати резонанс у даній мережі на високій частоті та збільшення окремих гармонік напруги і струму. Крім цього, в багатьох випадках з мережі споживається додаткова реактивна потужність, пов'язана з виникненням вищих гармонік напруги і струму. Це призводить до зростання втрат електроенергії в живильній мережі та до погіршення якості енергії, що підводиться до інших споживачів.

Таким чином, наявність гармонічних складових високого рівня у системах електропостачання промислових підприємств призводить до таких негативних явищ:

- 1) поява додаткових втрат активної потужності та електроенергії внаслідок споживання додаткової реактивної потужності;
- 2) зниження коефіцієнта потужності;
- 3) обмеження області застосування конденсаторних батарей внаслідок можливості появи резонансних або близьких до них режимів на частотах вищих гармонік;
- 4) прискорення старіння ізоляції електрообладнання, що пояснюється прискоренням на високих частотах електричного поля фізико-хімічних процесів, котрі спричиняють старіння діелектриків;
- 5) суттєве збільшення похибки індукційних лічильників для обліку активної та реактивної енергії;
- 6) шкідливий вплив на комутацію трифазних колекторних двигунів внаслідок великої похибки визначення коефіцієнта потужності;
- 7) хибне спрацювання деяких видів релейного захисту;
- 8) погіршення якості, а в деяких випадках збої при роботі систем контролю, автоматики, телемеханіки і зв'язку;
- 9) неможливість використання силових мереж як каналів для передачі інформації.

Поява збитковості від вищих гармонічних складових обумовлює необхідність зниження їх рівнів у системах електропостачання. В даний час основними заходами зі зменшення впливу вищих гармонік напруги на елементи електроустановок є:

- раціональна побудова схеми електропостачання;
- застосування багатофазних схем випрямлення, спеціальних законів управління перетворювачами;
- використання резонансних фільтрів;
- застосування синхронних компенсаторів;
- використання тиристорних компенсаторів реактивної потужності;
- застосування пасивних фільтрокомпенсуючих приладів;
- використання активних фільтрів;
- застосування параметричних джерел струму.

Найбільш вживаними і перспективними засобами зі зменшення струмів і напруг вищих гармонік до сьогоденних днів залишаються силові фільтри вищих гармонік.

Недоліки силових фільтрів вищих гармонік:

- 1) дорожнеча;
- 2) велика чутливість до точності налаштування.

Підвищена увага на даний момент приділяється також удосконаленню схемних рішень, методам розрахунку й питанням практичного застосування фільтрокомпенсуючих приладів.

Конденсаторні батареї – найбільш економічний засіб для компенсації реактивної потужності.

Їхні переваги:

- 1) дешевизна;
- 2) можливість встановлення як на високій, так і на низькій напрузі;
- 3) простота експлуатації;
- 4) простота виробництва й монтажу.

Недоліки конденсаторних установок:

- 1) вихід з ладу при проходженні через них струмів вищих гармонік;
- 2) низька чутливість при роботі з різкозмінним навантаженням через ступінчатість регулювання;
- 3) низька швидкодія;
- 4) низька механічна стійкість вимикачів.

Незважаючи на вживаність великою кількістю підприємств синхронних компенсаторів, інтерес до цього способу компенсації реактивної потужності в умовах перетворювального навантаження впав через складність експлуатації.

Суттєву роль при вирішенні проблеми несинусоїдності напруги можуть відіграти індуктивно-ємнісні перетворювачі, зокрема параметричні джерела струму. При перетворенні споживаної із живильної мережі енергії змінного струму на енергію стабілізованого постійного струму в умовах зміни напруги на навантаженні в широких межах, коли в інших перетворювачах з'являються накиди реактивної потужності й помітні спотворення мережевого струму, параметричне джерело струму різко знижує вказаний негативний ефект.

На даний час у всьому світі зростає інтерес до статичних (в основному тиристорних) компенсаторів реактивної потужності. На ці ж прилади покладаються функції фільтрації вищих гармонік та зниження ступеня несиметрії живильної напруги.

Варіанти схем статичних компенсуючих пристроїв:

- 1) мостові джерела реактивної потужності з індуктивним накопичувачем на стороні постійного струму;
- 2) реактори насичення з нелінійною вольтамперною характеристикою;
- 3) реактори з лінійною вольтамперною характеристикою і послідовно ввімкненими зустрічно-паралельними керованими вентилями.

Статичні компенсуючі пристрої мають такі переваги:

- 1) висока швидкодія;
- 2) достатній діапазон регулювання реактивної потужності;
- 3) можливість регулювання і споживання реактивної потужності;
- 4) мала інерційність;
- 5) мінімальні спотворення живильної напруги.

Виходячи з вказаного вище, можна зробити висновок, що проблема несинусоїдності напруги в Україні вирішена частково у відриві від завдання компенсації реактивної потужності. Скомпенсовується лише реактивна потужність від першої гармонічної складової напруги і струму, і, як наслідок, недокомпенсація спричиняє додаткові втрати активної потужності.

**Л.С. Киричук, магістрант**  
Науковий керівник – к.т.н., доц. Подчашинський Ю.О.  
Житомирський державний технологічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО МІСТЯТЬ ВІМІРЮВАЛЬНУ ІНФОРМАЦІЮ

(Науковий керівник к.т.н., доц. Ю.О. Подчашинський)

Зображення можна визначити як двовимірну функцію  $f(x, y)$ , де  $x$  та  $y$  — координати у просторі (конкретно, на площині). Значення функції  $f$  в будь-якій точці, що задається парою координат  $(x, y)$ , називається інтенсивністю або яскравістю зображення в цій точці. Якщо величини  $x$ ,  $y$  та  $f$  набувають скінченної кількості дискретних значень, то говорять про цифрове зображення.

Цифровою обробкою зображень називається обробка цифрових зображень за допомогою цифрових обчислювальних машин (комп'ютерів). Зазначимо, що цифрове зображення складається з кінцевої кількості елементів, кожен з яких розташований у конкретному місці й набуває певного значення. Ці елементи називаються елементами зображення або пікселями.

Значення функції  $f$  у точці з просторовими координатами  $(x, y)$  є позитивною скалярною величиною, фізичний зміст якої визначається джерелом зображення. Якщо розглядувані зображення є монохромними (чорно-білими), то їх значення знаходяться в деякому діапазоні яскравості.

При кодуванні зображень для збереження або передачі за допомогою мінімально можливої кількості цифр потрібно зберегти якість відтвореного зображення в припустимих межах. Для підвищення візуальної якості зображення розробляються системи поліпшення зображень. Системи відновлення зображень призначаються для компенсації викривлень і створення зображень, що наближаються до тих, які були б отримані за допомогою ідеальної системи, що не вносить викривлень. В усіх трьох завданнях загальним є питання про якість зображення — про те, щоб у процесі обробки зображення підтримувати, підвищувати або відновлювати його.

Якість зображення можна оцінювати двома методами: або визначаючи вірність відтворення, або оцінюючи дешифрованість зображення. Вірність відтворення характеризує ступінь відхилення обробленого зображення від деякого еталонного, а дешифрованість вказує, якою мірою людина чи машина може добути з зображення корисну інформацію. Найчастіше вірність відтворення пов'язана з невеликими розходженнями між обробленим і еталонним зображеннями. Про дешифрованість, навпаки, говорять, як правило, у зв'язку з великими розходженнями між цими зображеннями.

Очевидно, що кількісні міри вірності й дешифрованості зображення дуже потрібні для проектування та оцінки систем відтворення зображень. Ці міри багато в чому допоможуть позбутися трудомісткої й часом неточної сучасної методики оцінки зображень за допомогою суб'єктивної експертизи. Крім того, на основі кількісних мір можна розвивати методи оптимізації систем обробки зображень.

У розробці кількісних критеріїв вірності й дешифрованості зображень досягнуті значні успіхи. Однак введені критеріїв не є досить досконалими: дуже часто можна навести приклади зображень, якість яких формально оцінюється як висока, а суб'єктивно — як низька і навпаки. Створення більш досконалих критеріїв оцінки якості зображень пов'язано, безумовно, з більш глибоким вивченням властивостей зорової системи людини.

Оскільки предметом дослідження роботи є відновлення зображень, спотворених шумами (тобто повернення зображенням їх первісних, не викривлених характеристик), то для оцінки якості їх відтворення необхідно користуватися методами, заснованими, перш за все, на об'єктивних критеріях такого відтворення.

Тому при подальшому розгляді цього питання зосередимося на методах оцінки якості відновлених зображень, що визначають вірність їх відтворення (тобто тих, які характеризують ступінь відхилення обробленого зображення від деякого гіпотетично еталонного чи ідеального).

Побудові й розвитку системи кількісних мір вірності відтворення зображень приділяється велика увага. Розумні міри вірності повинні добре узгоджуватися з результатами суб'єктивних оцінок для широкого класу зображень, не вимагаючи при цьому надто складних обчислень. Крім того, бажано, щоб ці міри мали просту аналітичну форму й їх можна було б застосовувати як критерії оптимальності при оптимізації або виборі параметрів систем обробки зображень.

Кількісні міри вірності відтворення зображень можна розділити на дві групи: одиночні й парні. Одиночна міра є числом, що зіставляється з будь-яким зображенням на основі аналізу його структури. Парна міра є числовим результатом взаємного порівняння двох зображень.

Вимірювання вірності в цифровій системі обробки зображень можна провести, використовуючи або неперервне зображення, сформоване з масиву відліків, або сам цей масив. Зазвичай перевагу віддають другому способу, тому що він простіший, з практичної точки зору.

Розглянемо деякі важливі взаємозв'язки між елементами цифрового зображення. Як вказувалося вище, будемо позначати зображення у вигляді функції  $f(x, y)$ . Посилаючись на конкретні пікселі, користуватимемося малими літерами  $p$  і  $q$ .

В елемента зображення  $p$  з координатами  $(x, y)$  є чотири сусіди по вертикалі й горизонталі, координати яких представляються такими виразами:

$(x + 1, y), (x - 1, y), (x, y + 1), (x, y - 1)$ .
--

Ця множина пікселів називається четвіркою сусідів  $p$  і позначається  $N4(p)$ . Кожен її елемент знаходиться на одиничній відстані від  $(x, y)$ ; якщо ж точка  $(x, y)$  лежить на краю зображення, то деякі із сусідів виявляються за межами зображення. Чотири сусіди  $p$  по діагоналі мають координати:

$(x + 1, y + 1), (x + 1, y - 1), (x - 1, y + 1), (x - 1, y - 1)$
--

і позначаються  $ND(p)$ . Разом з четвіркою сусідів ці точки утворюють так звану вісімку сусідів, що позначається  $N8(p)$ . Як вказувалося вище, деякі точки множин  $ND(p)$  і  $N8(p)$  можуть також виявитися за межами зображення, якщо точка  $(x, y)$  лежить на його краю.

Відношення суміжності між елементами зображення є фундаментальним поняттям, що спрощує визначення великої кількості інших понять, пов'язаних з цифровими зображеннями, наприклад областей і меж. Щоб встановити, що два елементи зображення є суміжними, необхідно, щоб вони були сусідами та їхні рівні яскравості задовольняли заданий критерій подібності (скажімо, були рівні один одному). Наприклад, у бінарному зображенні, яскравість елементів якого може набувати тільки двох значень – 0 і 1, два пікселя можуть входити в четвірку сусідів один одного, але вважаються суміжними тільки в тому випадку, якщо їхні значення збігаються.

Виконання дискретизації описаним вище способом передбачає, що є доступним неперервне за обома координатами й за яскравістю зображення. На практиці, однак, спосіб отримання цифрового сигналу визначається конструкцією сенсорного пристрою, що застосовується для реєстрації зображення. Якщо зображення формується одним сенсором у сполученні з механічним його переміщенням, вихідний сигнал сенсора квантується, як описано вище, а дискретизація визначається вибором кроків механічного переміщення сенсора в процесі збору даних. Механічне переміщення може виконуватися з дуже високою точністю, тому в принципі майже немає меж для зменшення кроку дискретизації, однак на практиці межею є недосконалість оптичної системи, застосовуваної для фокусування світлової плями на чуттовому елементі, точність якої виявляється гіршою, ніж точність, що досягається при механічному переміщенні сенсора.

Зображення, як і будь-який інший сигнал, що формується, передається та обробляється в різному роду технічних системах, піддається різним впливам найрізноманітнішого характеру. Серед цих впливів чи не найпомітнішу роль відіграють так звані шуми, дія яких може негативно відбитися на якості відеозображень, що, зважаючи на їх поширення і використання, може мати більш загрозливий характер. Саме тому знання та аналіз факторів, що призводять до викривлень відеозображень, та методів боротьби з ними мають важливе значення.



**В.М. Лукашенко, магістрант**  
Науковий керівник – к.т.н., доц. Подчашинський Ю.О.  
Житомирський державний технологічний університет

## **ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ СЕГМЕНТАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ, ЩО МІСТЯТЬ ВИМІРЮВАЛЬНУ ІНФОРМАЦІЮ**

Досить часто при аналізі зображень виникає завдання розділення пікселів зображень на групи за деякими ознаками. Такий процес розбиття на групи називається сегментацією. У зв'язку з тим, що в усьому світі набирає обертів застосування інтелектуальних технологій на виробництві або при проведенні досліджень, важливими є методи аналізу зображень. Отже, виникла потреба у впровадженні нових більш складних методів сегментації, що можуть бути застосовані в ряді конкретних завдань.

Зараз у багатьох сферах, де аналізують відеозображення (геологія, мікробіологія, астрономія тощо), використовують методи сегментації, які підходять саме для цієї окремо взятої сфери діяльності. Хоча ці методи дуже рідко відрізняються чимось суттєвим, оскільки в них подібний принцип роботи. Але є й такі, які відрізняються від основної маси за своїм алгоритмом роботи.

Розвиток технологій обробки зображень призвів до виникнення нових підходів до вирішення завдань сегментації зображень і застосування їх при вирішенні багатьох практичних завдань.

Під сегментацією зображень розуміється процес розбиття зображення на складові частини, які містять корисну інформацію: об'єкти та їх межі, інші інформативні фрагменти, характерні геометричні особливості тощо. Сегментація зображень є одним з найскладніших завдань обробки зображень. Як правило, алгоритми сегментації зображень базуються на одному з двох базових властивостей сигналу яскравості: розривності й однорідності. В першому випадку підхід складається з розбиття зображення, керуючись різкими змінами сигналу, такими, як перепади яскравості на зображенні. Друга категорія методів використовує розбиття зображень на області, однорідні в розумінні завчасно обраних критеріїв. Прикладами таких методів можуть слугувати порогова обробка, вирощування областей, злиття і розбиття областей.

Сегментація розділяє зображення на області чи об'єкти, з яких воно складається. Та ступінь деталізації, до котрого доводиться таке розбиття, залежить від завдання, що вирішується. Сегментацію слід завершити тоді, коли об'єкти, які нас цікавлять, ізольовані. Наприклад, у завданні автоматизованого контролю збирання вузлів радіоелектронної апаратури інтерес становить аналіз зображень виготовлених виробів з метою виявлення конкретних дефектів, таких, як відсутність компонентів або розрив контактних доріжок на платі. Тому немає необхідності проводити сегментацію дрібніше того рівня деталізації, який необхідний для виявлення подібних дефектів. Так само і в будь-якому іншому завданні необхідно обрати прийнятний метод сегментації, з конкретним рівнем деталізації, достатнім для того, щоб давати якомога більше інформації при мінімальних затратах часу й технічного устаткування.

Кінцевий успіх комп'ютерних процедур аналізу зображень багато в чому визначається точністю сегментації, тому значна увага повинна бути приділена підвищенню її надійності. В деяких ситуаціях, наприклад у завданнях технічного контролю, можливо хоча б деякою мірою керувати умовами зйомки. Досвідчений проектувальник системи обробки зображень незмінно зверне увагу на подібні можливості.

В інших прикладних завданнях, наприклад в автономних системах наведення на ціль, розробник не може контролювати зовнішні умови, тому звичайний підхід полягає в тому, щоб зосередитися на виборі сенсора такого виду, який, скоріш за все, буде підсилювати сигнал від об'єктів, які нас цікавлять, і одночасно послаблювати вплив несуттєвих деталей зображення. Гарним прикладом такого підходу може бути зйомка в інфрачервоному діапазоні, яка може бути застосована у військових цілях для виявлення об'єктів з потужним тепловим випромінюванням, наприклад бойової техніки або військ.

Кількість запропонованих алгоритмів сегментації нараховують сотні, однак, узагальнюючи, більшість з них можна звести до виявлення однієї з двох фундаментальних властивостей зображень: збіг і розбіжність. Відносно цього зупинимося на двох основних підходах до сегментації, які використовуються в системах технічного зору (СТЗ) роботів: методах знаходження однорідних областей і методах виділення контурних ліній.

Один зі способів сегментації зображень розуміється як представлення об'єктів зображення у вигляді остовів. Остов – це геометричне місце точок, які мають таку властивість, що мінімум відстані від кожної точки до межі однорідної області досягається не для одного, а відразу для декількох елементів межі. В алгоритмах отримання остова використовується перетворення до серединних осей.

Однак набагато частіше в СТЗ роботів використовують методи сегментації, які базуються на виділенні контурів. Контурні лінії на зображенні створюються з видимих ділянок границь об'єктів, причому вони можуть слугувати межами не тільки між предметами робочої сцени й фоном, але й між зображеннями різних предметів і навіть між зображеннями суміжних поверхонь одного і того ж предмета.

Відомі й локальні оператори дальності сегментації, які базуються на вимірюваннях у колі пікселів, сформованому навкруги даної точки. Набір послідовних відліків дає сигнал кінцевої тривалості, яка залежить від кута огляду. Фур'є-аналіз цього сигналу дає змогу виділити рівні ділянки й різкі стрибки, зробити оцінку поля градієнта віддаленості.

Ця інформація не тільки може суттєво спростити обробку яскравісних зображень, але і сама стає дуже цінною при побудові геометричних моделей середовища. Протягом багатьох років основним алгоритмом сегментації було виділення контурів, так і зараз саме його досить часто застосовують.

Розглянемо основні методи сегментації відеозображень.

#### 1. Сегментація за яскравістю.

Сегментація зображень – це розділення або розбиття зображення на області за схожістю властивостей її точок. Найбільш часто проводять сегментацію за яскравістю для однокольорових зображень і кольоровими координатами для кольорового зображення. Крім цього, в процесі сегментації відбувається лише розбиття на окремі сегменти, потрібно встановити взаємозалежні співвідношення між ними і позначити їх відповідними символами.

#### 2. Порогове обмеження за яскравістю.

Багато зображень можна охарактеризувати тим, що вони містять деякий об'єкт, який нас цікавить, достатньо однорідної яскравості на фоні іншої яскравості.

Типовими прикладами можуть слугувати машинописні й рукописні тексти, медичні проби під мікроскопом, літаки на злітній смузі. Для таких зображень яскравість є відмітною ознакою, яка може використовуватися для локалізації об'єкта.

Якщо об'єкт, що нас цікавить, має білий колір і розташований на чорному фоні або навпаки, то визначення точок об'єкта є тривіальним завданням встановлення порогу за середньою яскравістю. На практиці, проте, зустрічаються певні труднощі, наприклад коли спостережуване зображення схильне до дії шуму, і причому як на об'єкті, так і на фоні допускається деякий розкид значень яскравості.

Інша трудність, що часто зустрічається, полягає в тому, що фон може бути неоднорідним. Якщо поріг встановити дуже низьким, то окремі частини букв зникнуть. Навпаки, якщо поріг встановити дуже високим, то в результаті на об'єктах виникнуть побічні деталі. Якнайкращий компроміс звичайно визначається експериментальним шляхом.

#### 3. Багатовимірне порогове обмеження.

Ідею порогового обмеження за яскравістю можна розповсюдити на сегментацію кольорових і спектрально-зональних зображень. Олендер розробив схему сегментації для природних кольорових зображень, засновану на багатовимірному пороговому обмеженні кольорових зображень, представлених у стандартних системах координат кольору, а також у системі нестандартних кольірних координат, що отримали назви інтенсивність, кольірний тон і насиченість.

#### 4. Нарощування областей.

Нарощування областей – один з найбільш простих для розуміння підходів до сегментації за яскравістю: сусідні елементи з однаковими яскравостями групуються разом і утворюють область. Проте на практиці для досягнення прийнятних результатів на процес нарощування областей вимагається накладати обмеження, причому деякі з них достатньо складні.

**О.В. Манько, к.т.н., с.н.с.**

**Ю.І. Михєєв, к.т.н., н.с.**

**О.І. Пінчук, с.н.с.**

*Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету*

## **РОЛЬ ТА МІСЦЕ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ В ОЦІНЮВАННІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ОБСТАНОВКИ**

Сьогодні сучасні технології та підходи щодо створення та впровадження засобів і систем автоматизації широко використовуються у военній сфері. Тому одним з перспективних напрямків розвитку збройних сил розвинутої держави є створення єдиної автоматизованої системи управління ними.

Автоматизація управління діями підрозділів інформаційного забезпечення потребує вирішення ряду завдань, серед яких одним з найважливіших є завдання з оцінювання обстановки в заданому районі. Аналіз військових конфліктів останніх десятиліть свідчить про високу динаміку зміни обстановки, що призводить до необхідності оперативного збору інформації про об'єкти та своєчасної корекції планів застосування технічних засобів. Однак ці завдання ускладнюються в умовах сучасних збройних конфліктів у зв'язку з різноманітністю технічних засобів та особливістю їх застосування у ході проведення операцій. Крім того, під час планування операції може бути декілька варіантів дій, що вимагає проведення їх всебічного аналізу з метою вибору найбільш доцільного. Зрозуміло, що для досягнення переваги в умовах сучасного збройного конфлікту вирішення цих завдань за часом повинне в діях випереджувати протидіючу сторону.

Підвищити оперативність аналізу обстановки з подальшим вибором варіантів дій можливо шляхом застосування програмної реалізації системи підтримки та прийняття рішень, яка широко використовується у процесах, що характеризуються високою складністю, невизначеністю та слабкою структурованістю. Розроблена система повинна мати здатність накопичувати та зберігати інформацію про наявні сили й засоби (свої та противника), інформаційно-психологічну обстановку в заданому районі з відображенням районів: відселення; загострення криміногенної ситуації; нестабільної соціально-політичної обстановки; компактного проживання національних меншин; посиленого морально-психологічного забезпечення дій своїх військ і т.д.

У доповіді розглядаються принципи побудови системи підтримки та прийняття рішень щодо застосування технічних засобів, обґрунтовуються вимоги до її складу та тактико-технічних характеристик. Наведено зміст основних етапів розробки такої системи, а саме: ідентифікації, концептуалізації, формалізації, реалізації та випробувань.

Запропонована програмна реалізація повинна мати у своєму складі базу прийнятих умовних позначень технічних засобів та довідкову інформацію про них, мати можливість розраховувати зони дії засобів трансляції радіо- та телевізійних сигналів, прогнозувати оптимальний склад пересувних радіотелевізійних засобів, які планується задіяти при вирішенні цільового завдання. Найбільш доцільним при розробці програмного забезпечення є використання цифрових карт для відображення існуючої обстановки в районах проведення операції. Особливість використання цифрових карт полягає у гнучкості їх налаштування під конкретний варіант дій, що пов'язано з можливістю відображення різноманітної інформації за допомогою різних шарів карти, динамічністю зміни її масштабу та можливістю відображення на великих екранах, збереженням результатів планування з подальшим їх друкуванням та інтегруванням з поточною обстановкою інших формувань.

Проведений аналіз результатів роботи прототипу програмної реалізації системи підтримки прийняття рішень щодо застосування технічних засобів під час проведення командно-штабних навчань показав, що оперативність нанесення на цифрову карту поточної обстановки в можливому районі загострення конфлікту, порівняно з прийнятими методами, підвищується на 25 %, що, в цілому, впливає на підвищення ефективності проведення військових операцій.

### ВДОСКОНАЛЕНИЙ МЕТОД СИНТЕЗУ ЦИФРОВОГО ПІД-РЕГУЛЯТОРА

Багато нині існуючих систем регулювання побудовано з використанням ПІД-законів регулювання. Регулятори на основі цих законів отримали широку сферу застосування в різних галузях промисловості завдяки своїй гнучкості та високій ефективності.

Найбільш поширений та відомий сучасний метод розрахунку ПІД-регулятора – метод компенсації нулями ПІД-регулятора полюсів керованого процесу.

Однак при застосуванні цього методу для розрахунку інтегруючої ланки регулятора немає остаточного рішення вибору  $K_v$  (коефіцієнта похибки за швидкістю).

Проведені експериментальні дослідження довели, що даний параметр впливає на час перехідного процесу.

Структура типового цифрового ПІД-регулятора наведена на рисунку 1.

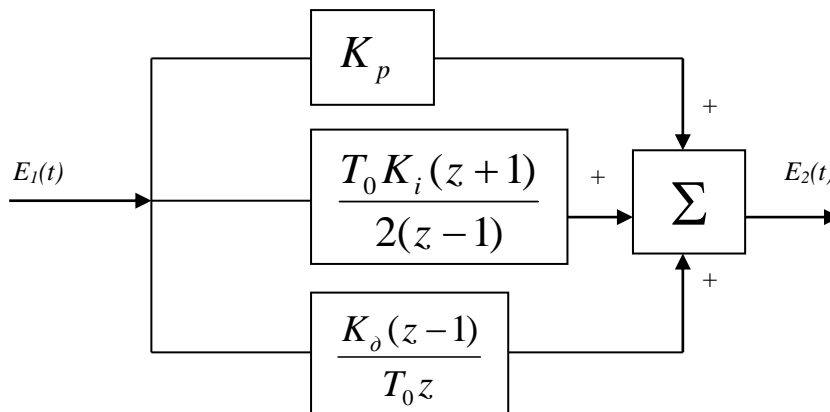


Рис. 1. Структурна схема реалізації цифрового ПІД-регулятора

Передавальна функція цифрового ПІД-регулятора має вигляд:

$$W_{\text{P\AA}}(z) = K_{\delta} + \frac{K_i T_0 (z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_{\dot{a}}(z-1)}{T_0 z} =$$

$$= \frac{(K_i T_0^2 + 2K_{\dot{a}} + 2K_p T_0)z^2 + (K_i T_0^2 - 2K_p T_0 - 4K_{\dot{a}})z + 2K_{\dot{a}}}{2T_0 z(z-1)},$$

де  $T_0$  – період квантування;  $K_i$ ,  $K_{\dot{a}}$  і  $K_p$  – параметри інтегральної, диференціальної та пропорційної складових закону регулювання.

Для синтезу цифрового ПІД-регулятора необхідно визначити три параметри:  $K_i$ ,  $K_{\dot{a}}$  і  $K_p$ . Кожен з параметрів забезпечує функціонування відповідної ланки ПІД-регулятора.

$K_i$ ,  $K_{\dot{a}}$  і  $K_p$  запропоновано визначати так:

1. Для визначення інтегральної складової  $K_i$  застосовується рівняння:

$$K_v = \frac{1}{T} \lim_{z \rightarrow 1} (z-1)W_{\text{СКОР}}(z). \quad (1)$$

Пропонується обирати коефіцієнт  $K_v$ :

$$K_v = \frac{0,4}{T_0} + 0,1 \cdot \frac{A}{B} - D \Bigg|_{(z \rightarrow 1)}, \quad (2)$$

де  $T_0$  – період квантування;  $A$ ,  $B$ ,  $D$  – поліноми степеня  $z$  чисельника і знаменника відповідно цифрової передавальної функції об'єкта керування при  $z = 1$ .

$$W_{\text{нх}}(z) = \frac{Az + B}{D}$$

2. Визначимо коефіцієнти  $K_d$  і  $K_p$ . Обираючи два нулі регулятора так, щоб вони компенсували полюси процесу, отримуємо:

$$z^2 + \frac{K_i T_0^2 - 2K_p T_0 - 4K_d}{K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0} z + \frac{2K_d}{K_i T_0^2 + 2K_d + 2K_p T_0} = (z - z_1)(z - z_2) = z^2 - z(z_1 + z_2) + z_1 z_2 \quad (3)$$

Прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях  $z$ , одержуємо систему рівнянь, з якої знаходимо коефіцієнти  $K_d$  і  $K_p$ .

Розглянутий приклад підтвердив достовірність отриманих аналітичних результатів синтезу ПД-регулятора для цифрових систем.

Вдосконалений метод перевірено на прикладі синтезу регулятора для об'єкта другого порядку та змодельовано в програмному пакеті MATLAB.

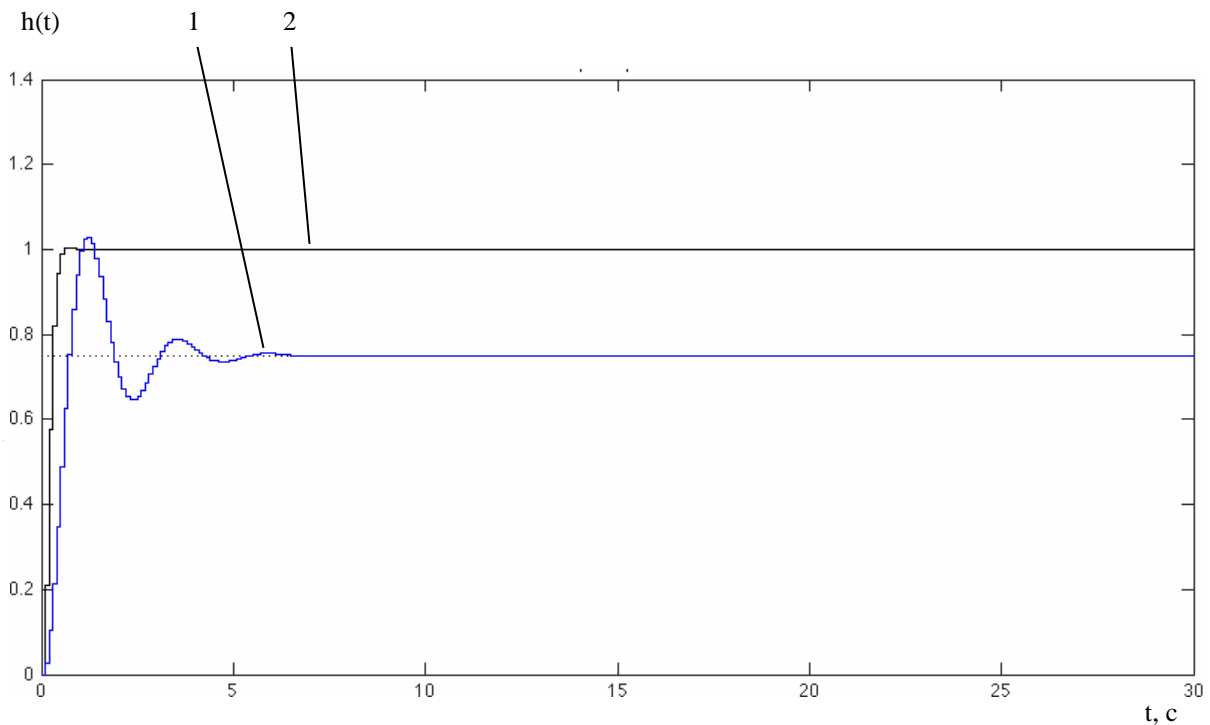


Рис. 2. Перехідні характеристики початкової системи (1) та цифрової системи з цифровим ПД-регулятором (2)

Виходячи з графіків перехідних процесів у системі з ПД-регулятором, розрахованих за запропонованим методом, була повністю виключена похибка, суттєво покращений час перехідного процесу та перерегулювання системи.

А.Г. Ступак, магістрант, V курс, гр. АТ-14м, ФІКТ  
Науковий керівник – д.т.н., проф. Безвесільна О.М.  
Житомирський державний технологічний університет

### ТИПИ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АСПЕКТ

Акселерометри є найважливішими елементами інерційної навігації, тому до їх розробки та виготовлення висуваються дуже високі вимоги. Вони повинні мати високу точність і чутливість, великий діапазон вимірюваних прискорень і лінійність, стабільність показань і нечутливість до вібраційних і ударних дій, до зміни температури й тиску навколишнього середовища.

Від промисловості до освіти акселерометр має велику область застосування. Ця область простягається від запуску повітряної камери, що розгортається, до контролю ядерних реакторів. Акселерометри використовуються для вимірювання статичного прискорення (гравітація), похилого положення об'єкта, динамічного прискорення, ривків об'єкта, його швидкості, положення і вібрації. Акселерометри стають усе більш і більш поширеними: стільникові телефони, комп'ютери та побутова техніка вже зараз комплектуються ними. Інші області практичного застосування: вимірювання характеристик автомобіля, вібрацій машин, контроль пересувань розвідних мостів.

Дослідивши різні типи акселерометрів, їх властивості, характеристики, принципи дії, можна узагальнити результати проведеного дослідження та визначити основні переваги та недоліки даних типів акселерометрів.

Диференційні струнні акселерометри. У них інерційна маса закріплена між двома розтягнутими струнами, які слугують одночасно пружними елементами. За допомогою схеми зворотного зв'язку струни приводяться в режим безперервних коливань. Електричні частотні сигнали, зняті з перетворювачів, подаються на змішувач, де виробляється різницева частота  $\Delta f = f_1 - f_2$ , пропорційна величині прискорення.

Для отримання високої лінійності застосовують додаткову слідкуючу систему, яка змінює загальний натяг струн для підтримки постійної сумарної частоти. Датчики прискорення зі струнними елементами дозволяють отримати точність перетворення 0,001–0,01 %. Перевагою їх є частотний вихідний сигнал, який може бути дуже точно вимірний та проінтегрований.

Струнні акселерометри мають високу точність вимірювання, високу вібраційну та ударну міцність, надійність, частотно-модульований вихідний сигнал, високу потужність вихідного сигналу, а також малі габарити та вагу тощо. Це важливі переваги, порівняно з іншими типами акселерометрів. Серед недоліків даного типу акселерометрів є їхня висока вартість, обумовлена технологічними труднощами їх виготовлення. Крім того, до недоліків належать впливи температури, вологості на точність вимірювань, а також нелінійність характеристики. Але можна значно зменшити впливи температури й вологості, а також значно лінеаризувати характеристику, використовуючи диференційну схему струнного акселерометра.

П'єзоелементи, зважаючи на їх велику жорсткість, застосовуються в датчиках прискорення. Маса притискається до п'єзокристала пружиною або приклеюється. Вимірювані прискорення – 0,001–100 000 g в діапазоні частот 3–20 000 Гц. Точність вимірювання 3–5 %. В даний час розроблений датчик, що дозволяє вимірювати прискорення одночасно за трьома взаємно перпендикулярними осями і містить одну масу й один керамічний п'єзоелемент.

Хоча п'єзоелектричні акселерометри не мають такої високої точності, як струнні, але завдяки своїй простоті, надійності, малим розмірам та вазі, відносно високій чутливості, відсутності необхідності в зовнішніх джерелах живлення, а також малій ціні вони набули на сьогодні найбільшого поширення в світі. Серед головних недоліків таких акселерометрів можна виділити: необхідність використання підсилювача вихідного сигналу; вплив температури; нелінійна характеристика; деградація характеристик; зміщення нуля; необхідність використання АЦП при підключенні до ЕОМ.

П'єзорезистивні датчики наклеюються на плоскі пружини, що несуть на собі масу; використовуються у віброметрах і акселерометрах. Вимірювані прискорення 0,01–1 000 g. Діапазон частот до 1 500 Гц. Точність вимірювання  $\pm 1$  %.

У зв'язку з тим, що п'єзорезистивні акселерометри мають малий діапазон вимірювань, малу чутливість, а також витримують високі перевантаження, найбільшого поширення вони здобули у віброметрії та ударних вимірюваннях.

Принцип дії ємнісного акселерометра заснований на зміні ємності чутливого елемента з електродами при переміщенні інерційної маси, що є його частиною, під дією прискорення. Частота струму живлення датчиків повинна бути вище вимірюваної частоти щонайменше в 10 разів.

Ємнісні акселерометри отримали широке поширення завдяки їх високій чутливості, стабільності при детектуванні статичного прискорення, малому дрейфу, низькій температурній чутливості, малій

споживаній потужності, високій надійності, хорошим шумовим властивостями, задовільній точності, низькій ціні.

Завдяки простоті конструкції та малим габаритам, використанню мікротехнологій та задовільній точності вимірювань ємнісні акселерометри набули найбільшого поширення в машинобудуванні та транспорті, будівництві та енергетиці, в різних вимірювальних комплексах.

Проаналізувавши переваги та недоліки кожного з типів акселерометрів, можна прийти до висновку, що струнні акселерометри мають найбільшу точність та ряд інших переваг, але їхнім головним недоліком є висока ціна через складність технологічного процесу їх виготовлення. У свою чергу, п'єзоелектричні акселерометри мають дещо нижчу точність, але й нижчі ціни.

А.Г. Ткачук, магістрант, V курс, гр. АТ-14м, ФІКТ  
 Науковий керівник – д.т.н., проф. Безвесільна О.М.  
 Житомирський державний технологічний університет

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА

Переміщення будь-якого об'єкта, його швидкість та прискорення є взаємопов'язаними фізичними величинами: швидкість – це перша похідна від переміщення, а прискорення – друга. Швидкість та прискорення важко визначити за даними, отриманими детекторами переміщень, тому для цього застосовуються спеціальні схеми. Як правило, у низькочастотній області доволі непогану точність вимірювання забезпечують датчики положення і переміщення об'єктів. У зоні середніх частот використовуються датчики швидкості. А на високих частотах, коли переміщення порівнюються з рівнем шуму, застосовують датчики прискорення.

Акселерометри – це прилади для прийому й перетворення інформації про прискорення з метою одержання кількісного результату у формі, яка буде зручною для подальшого використання. Тобто це датчики, які призначені для вимірювання прискорення об'єкта (кутового чи лінійного), що рухається.

Наразі існує багато засобів вимірювання прискорення. Для цього використовують механічні гіроскопи, акселерометри, які бувають різних видів: ємнісні, оптичні, п'єзоелектричні, п'єзорезистивні та інші. Всі ці прилади відрізняються як конструктивними, так і функціональними параметрами. Як наслідок – різні чутливість, діапазон вимірювань, стійкість до впливу зовнішніх факторів, габарити та собівартість.

На сьогоднішній день широко використовуються ті засоби вимірювань і контролю, які мають високу точність і швидкодію, можливість працювати у складних умовах навколишнього середовища, просту конструкцію. Ці всі вимоги задовольняють датчики, основані на явищі п'єзоелектричного ефекту (найчастіше прямого). Тому для вимірювання вібрацій та прискорення доцільно використовувати саме п'єзоелектричні акселерометри.

П'єзоелектричні акселерометри є одними з найкращих та найпоширеніших датчиків. Головною причиною цього є їх простота та надійність, відносно висока чутливість, широкий робочий частотний діапазон, лінійні характеристики в широкому динамічному діапазоні, стійкість до впливів навколишнього середовища та, безсумнівно, малі габарити, вага й собівартість. Такі датчики використовують для вимірювання швидко змінюваних механічних процесів, наприклад вібрацій літака чи його окремих частин, вібрацій двигунів, змінних зусиль, прискорень. У конструкціях п'єзоелектричних акселерометрів застосовують чутливі елементи на основі п'єзоматеріалів, принцип дії яких базується на прямому п'єзоелектричному ефекті, суть якого полягає в тому, що при деформації деякого кристала на його протилежних гранях виникає електричний заряд, який пропорційний стискаючій силі. Загальна конструктивна схема п'єзоелектричного акселерометра наведена на рисунку 1.

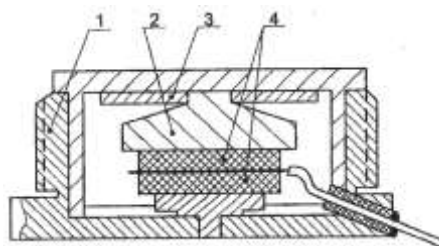


Рис. 1. Конструктивна схема п'єзоелектричного акселерометра:  
 1 – корпус; 2 – інерційна маса; 3 – з'єднувальна мембрана; 4 – п'єзоелектрики

Серед найвідоміших у світі виробників акселерометрів є фірми “Kistler”, “Instrumente AG”, “Analog Devices”, таганрозький завод “Виброприбор”, “Brüel & Kjaer”, “Genisco”, “SFIM”, “Endevco”, “BAE System” та ін.

У більшості літературних джерел наведено лише деякі відомості про п'єзоелектричні акселерометри, а саме: види їх конструкцій, найпоширеніші п'єзоеlementи, галузі застосування та деякі статичні характеристики. Зовсім не висвітлено питання експериментальних досліджень характеристик та способів підвищення точності показів даного приладу. Саме тому побудова вимірювальної схеми на основі п'єзоелектричного акселерометра для вимірювання лінійних прискорень, а також проведення циклу експериментальних досліджень з метою побудови частотної характеристики вихідного сигналу даного датчика є актуальними.



Для проведення експериментальних досліджень ПА була створена експериментальна установка, принципова схема якої зображена на рисунку 2. До її складу входять такі прилади: 1 – генератор механічних коливань ГМК-1 (вібростенд) із вбудованими в нього двома індукційними перетворювачами електричного сигналу на механічний; 2 – п'єзоелектричний акселерометр, який розташований безпосередньо на вібростенді; 3 – підсилювач з регульованими вхідним опором та ємністю; 4 – вольтметри; 5 – осцилограф; 6 – генератор змінної напруги; 7, 8 – вольтметри для реєстрації напруги генератора та напруги індукційного перетворювача відповідно.

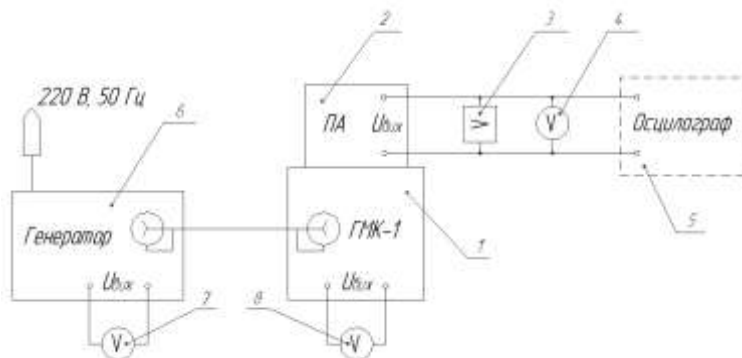


Рис. 2. Принципова схема дослідної установки експериментальних досліджень п'єзоелектричного акселерометра: 1 – генератор механічних коливань; 2 – п'єзоелектричний акселерометр; 3 – підсилювач; 4 – вольтметр; 5 – осцилограф; 6 – генератор змінної напруги живлення; 7 – вольтметр для реєстрації напруги генератора; 8 – вольтметр для реєстрації напруги індукційного перетворювача

У результаті проведених дослідів побудовано частотну характеристику вихідного сигналу п'єзоелектричного акселерометра та зроблено такі висновки:

1. При збільшенні частоти  $f$  коливань вібростенда амплітуда вихідної напруги п'єзоелектричного акселерометра  $U_{ПА}$  зменшується.
2. Максимальна амплітуда вихідної напруги п'єзоелектричного акселерометра  $U_{ПА}$  має місце при значеннях частоти коливань вібростенда  $f = 800$  Гц для всіх значень  $U_{ген.}$ , що дорівнює частоті власних коливань п'єзоелектричного акселерометра. Це випадок так званого "головного резонансу".
3. Напряга генераторної обмотки  $U_{ген.}$  прямо пропорційно впливає на зміну напруги п'єзоелектричного акселерометра  $U_{ПА}$ .

## ІНФОРМАЦІЙНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ БЕЗПЕКИ І КОМФОРТУ ПЕРЕБУВАННЯ ЛЮДЕЙ У ВИСОТНИХ СПОРУДАХ

Сучасні здобутки техніки, мікропроцесорних пристроїв сприяють досягненню найкращого ефекту у створенні складних інформаційних систем. Масивні навантаження та велика висота будівель потребують значно більшої уваги з боку суб'єктів, які відповідають за життєвий цикл існування споруд. Для того, щоб забезпечити та проконтролювати його, необхідна велика кількість систем, які обов'язково повинні взаємодіяти між собою та узгоджено виконувати свої функції. Саме проблема неправильної взаємодії та необхідність централізованого контролю, управління та обробки даних породила потребу наявності у висотних спорудах централізованої інформаційно-автоматизованої системи управління таким будинком. Ця система має забезпечити високу надійність, безпечність перебування людей у них.

Аналіз літератури з питань проектування систем безпеки виявляє недостатньо розроблений аспект у створенні складних інформаційних систем, що їх забезпечують. Питанням, що стосуються забезпечення автоматизованої системи контролю у висотних спорудах, відведено недостатнє місце. Проблема полягає в тому, що організація автоматизованих систем контролю саме у висотних спорудах є більш складною, порівняно зі звичайною будівлею, де як висотна споруда розглядається будівля, що має більше ніж 50 поверхів.

Основними положеннями створення інформаційних систем, що сприяли б безпеці й комфорту перебування людей у висотних спорудах, є створення:

- систем комунікацій;
- систем контролю і керування;
- системи моніторингу.

Організація за зазначеними вище положеннями дозволить інформаційній системі автоматично керувати підсистемами (контролю стійкості будівлі, регулювання мікроклімату, системи енергопостачання, освітлення, спостереження), збирати інформацію від датчиків та передавати її до ЕОМ для подальшої обробки, збереження та аналізу отриманої інформації.

Отже, в даний час проблеми комплексної безпеки будівель житла розглядаються в таких аспектах:

- будівельної безпеки, тобто надійності проектних рішень, що забезпечують безпечну експлуатацію фундаменту і конструкцій будівлі, що містить, в тому числі, моніторинг стану цих елементів у процесі будівництва й експлуатації для висотних будівель;

- охоронних та протипожежних систем;
- диспетчеризації систем інженерного обладнання;
- доступу до інформаційних ресурсів та інформаційної безпеки.

Водночас самі системи безпеки все тісніше інтегруються в єдине телекомунікаційне середовище сучасних міст, оскільки розвиток і широке застосування інформаційних та комунікаційних технологій (ІКТ) є глобальною тенденцією світового розвитку і одним з найбільш важливих факторів, що впливають на формування суспільства ХХІ ст. Створення інформаційно-комунікаційної інфраструктури для обслуговування зведених будинків дозволить скоротити витрати на утримання обслугового персоналу, забезпечить власникам квартир знижки при страхуванні будівель і квартир, надасть можливість доступу на сучасному рівні до різноманітних інформаційних сервісів, що сприяє, в тому числі, й підвищенню безпеки проживання. Таким чином, за допомогою ІКТ можуть бути вирішені завдання якісного перетворення сформованої технології та організації комунального обслуговування в напрямку збільшення термінів експлуатації житлового фонду, підвищення безпеки проживання, створення умов для подальшого зниження витрат і підвищення якості надання житлово-комунальних послуг, а зрештою, і забезпечення інвестиційної привабливості ЖКГ. Для висотної будівлі це дуже складний комплекс взаємопов'язаних за функціональним значенням систем устаткування і комунікацій, який повинен управлятися і контролюватися з єдиного центру. Оскільки кількість систем для кожного будинку має індивідуальний характер, усе ж є такі системи, які мають місце взагалі у всіх, та такі, що найбільш поширені. Система має містити первинний центральний модуль, який буде основним вузлом загальної ієрархії, а також набір згрупованих за схожістю виконуваних функцій систем, які також мають набір підпорядкованих систем нижчого рівня. Отже, це системи: контролю стійкості висотної споруди (контролю стану фундаменту, деформацій несучих конструкцій, контролю та управління коливаннями висотної споруди); рятування людей у випадку екстремальної ситуації (аварійної сигналізації та оповіщення, протипожежної безпеки, евакуації людей у випадку екстремальної ситуації, забезпечення вентиляції та опалення); забезпечення перебування людей у висотній споруді (освітлення та

безперебійного енергопостачання, водопостачання та каналізації, ліфтів та ескалаторів, сміттєпроводів); спостереження та безпеки (контролю доступу, спостереження за людьми із застосуванням відео-аудіоапаратури, інфрачервоних датчиків); розпізнавання отруйних та вибухових речовин; контролю підземних паркінгів; діагностики та переведення в аварійний режим. Отже, велика кількість систем та обов'язковість їх взаємодії породжують необхідність підходу до даної проблематики з точки зору інформаційного аналізу.

Система повинна забезпечувати вчасну реакцію на події, які можна поділити на групи: внутрішні (локальні, глобальні) та зовнішні. Система може перебувати в 2 станах: вимкненому та активному.

В активному стані керування системою можна буде здійснювати в трьох режимах: автоматичному, автоматизованому, ручному. Режим керування залежить від стану споруди:

- у звичайному стані будівлі інформаційна система працює в автоматичному режимі керування;
- у передаварійному та аварійному стані – в автоматизованому режимі;
- у випадку підвищеної небезпеки – у ручному режимі керується особою, що приймає рішення (ОПР).

Саме від якості отриманої ОПР інформації залежить своєчасність та адекватність прийнятих рішень і, відповідно, здоров'я та безпека тисяч осіб, які знаходяться у висотній будівлі.

Метою роботи є формування єдиного підходу до системно узгодженого, з точки зору ОПР, аналізу кількісних і якісних характеристик інформації про поточний стан висотної будівлі, оцінювання їхнього впливу на достовірність, повноту і своєчасність вирішення завдань керування будівлею, оскільки, з погляду ОПР, повнота, достовірність і своєчасність інформованості ОПР є найважливішими властивостями інформаційного потоку.

**Повнота інформованості** — властивість, що характеризує відповідність кількості одержуваної ОПР інформації тій, яка потрібна для прийняття рішення.

**Своєчасність інформованості** — властивість, що визначає, наскільки ресурс часу ОПР на формування і прийняття рішення відповідає ресурсу часу від моменту одержання інформації до моменту реалізації рішення.

**Достовірність інформованості** — властивість, яка характеризує відповідність одержаної ОПР інформації реальному стану наявної ситуації.

**Об'єкт дослідження:** висотна будівля (50 і більше поверхів) з житловими та офісними приміщеннями, підземним паркінгом.

**Предмет дослідження:** інформаційна система керування висотною будівлею.

**Необхідно:**

1. Сформуванати інтегральний показник інформованості, що враховуватиме ступінь і рівень впливу кожного з показників (повнота  $I_p$ , достовірність  $I_d$  і своєчасність  $I_c$  інформованості) на ступінь досягнення цілей ОПР.
2. Запропонувати класифікації заданої множини ситуації за єдиною системою взаємозалежних показників  $I_p$ ,  $I_d$  та  $I_c$  або за єдиним інтегральним показником інформованості.
3. Розробити прийоми і процедури розпізнавання належності певної ситуації  $S_k$  із заданої множини ситуацій  $S_0$  до певного класу об'єктів із введеної класифікації.
4. Розробити прийоми і методи оцінювання ступеня та рівня ризику для різних типів ситуацій.
5. За умов виникнення заданої множини ситуацій запропонувати прийоми і процедури зниження ступеня та рівня ризику на основі раціональної стратегії інформованості ОПР у процесі формування рішення.