

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КОНОТОПСЬКИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електронних
приладів і автоматики

Кваліфікаційна робота бакалавра
**РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РУХУ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ**

студентки гр. ЕІ-81к

З.О.Литвиненко

Науковий керівник,
ст. викладач, к.т.н.

В.І.Васильєв

2022

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ І ТИПОВІ СТРУКТУРИ	4
1.1 Класифікація вимірювальних пристроїв	4
1.2 Типові структури вимірювальних пристроїв.....	6
РОЗДІЛ 2 ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ КООРДИНАТ РУХУ. ПОХИБКИ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ	12
2.1 Перетворювачі зчитування інформації.....	12
2.2 Перетворювачі послідовного рахунку	16
2.3 Акселерометри лінійних прискорень	18
2.4 Похибки ВП та їх класифікація	22
РОЗДІЛ 3 ВИМІРЮВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	27
3.1 Зниження порядку контролюємої динамічної координати руху	27
3.2 Застосування НФ для визначення динамічних координат руху	30
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є аналіз відомих способів, методів удосконалення технічних характеристик існуючих систем датчиків і перетворювачів динамічних координат руху об'єкта.

Мета роботи полягає в дослідженнях рівня техніки за поставленою темою, способів визначення динамічних координат об'єктів що рушаються, а саме: переміщення, швидкість, прискорення/уповільнення, ривок тощо. Досліджувались визначення основних параметрів руху наземних, повітряних об'єктів, їх особливості, джерела похибок при проведенні контролю і способи запобігання від промислових і природних завад.

При виконанні роботи використовувалися методи математичного й комп'ютерного моделювання динаміки деяких процесів і систем з використанням алгоритмів і комп'ютерних програм. Також досліджувались результати осцилографувань процесів автоматично регульованого запобіжного гальмування шахтної підіймальної машини на шахті "Бутівка-Донецька" м. Донецьк при проведенні промислових випробувань апаратури НВО "Червоний металіст".

Досліджувались методи керування і контролю руху складних електромеханічних систем. Зокрема механічні датчики прискорення (акселерометри) і сучасні методи непрямого визначення диференційно залежних параметрів руху від основної координаті для багатокординатного способу керування.

Робота викладена на 36 сторінках, у тому числі включає 15 рисунків, 2 таблиць, список цитованої літератури з 27 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: перетворювачі, системи автоматичного керування (САК), прямі і непрямі виміри, статичні, динамічні, експериментальні характеристики, діапазон вимірювання, чутливість, похибки, абсолютна і відносна похибка, адитивна, методична, інструментальна похибка, статична, динамічна похибка.

ВСТУП

Технічний прогрес машинобудування передбачає розробку нових та удосконалення сучасних технічних систем в бік підвищення їх продуктивності, ефективності, керованості, швидкодії, високої точності, надійності та безпеки.

Сучасні вимоги до технічних систем передбачають впровадження поширеної автоматизації операцій що виконують складні технічні системи і комплекси. Автоматизовані технології передбачають використання замкнутих систем автоматичного керування де використовують датчики і вимірювальні пристрої для контролю параметрів руху операцій і систем.

Вимірювальні пристрої призначені для оцінки параметрів технічного процесу або відхилень від заданих значень. В залежності від умов існують певні особливості. Наприклад, основними параметрами руху на землі є переміщення, швидкість, прискорення, а для літальних апаратів шляхові переміщення, висота польоту, кути тангажу, крену, нишпорення та його кутові швидкості. Шляховий, або земною швидкістю називають швидкість руху літального апарату щодо нерухомої системи координат, жорстко пов'язаної із землею. Шляхова швидкість у загальному випадку не збігається з істинною швидкістю за величиною та за напрямом, оскільки повітряні маси можуть переміщатися щодо землі разом із літаком. Тобто, колійна швидкість не збігається з істинною через вітер, швидкість якого в загальному випадку не дорівнює нулю, а напрямом не збігається з напрямком польоту.

Будь-який вимірювальний пристрій складається з чутливого елемента, що сприймає фізичну величину, і перетворювача, який перетворює переміщення чутливого елемента в іншу форму, зручну для подальшого використання, найчастіше електричний сигнал.

В якості вимірювачів переміщень використовують цифрові кодові системи [2,3], швидкості – тахогенератори або перетворюють шляхом диференціювання сигнали переміщень, прискорення - акселерометри або також диференціювання, кутів і кутових швидкостей використовуються гіроскопічні пристрої та системи.

РОЗДІЛ 1

ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ І ТИПОВІ СТРУКТУРИ

1.1 Класифікація вимірювальних пристроїв

Оснoву сучасних складних систем та комплексів складають вимірювальні пристрої (ВП). Вимірювальні пристрої – це технічні засоби, з допомогою яких вимірюються різні фізичні величини. Класифікація ВП може здійснюватися за багатьма ознаками, зокрема: функціями, методами вимірювання, способами подання інформації, інтерфейсами, принципом з'єднання вимірювальних ланок, що входять в структуру ВП і т.д.

По виконуваних функціях ВП діляться на вимірювальні: прилади (зокрема ті що показують і реєструють) і перетворювачі – датчики, сенсори.

Приладами прийнято називати ВП, показання яких контролюються (сприймаються) людиною за допомогою органів чуття (зору, слуху, дотику тощо). Найбільш поширені вимірювальні прилади з візуальним відліком показань, у яких вхідним сигналом є аналоговий (переміщення стрілки, зміна довжини лінійного стовпця тощо) або цифровий (цифрова, або символна індикація (рис. 1.1).

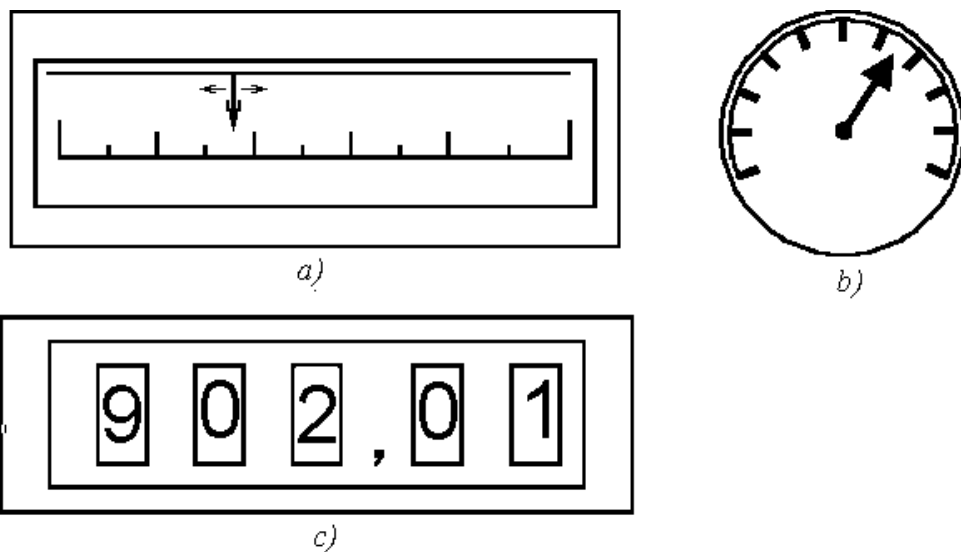


Рисунок 1.1 – Типові відлікові пристрої, де *a)* з лінійним рухом стрілки; *b)* із кутовим переміщенням стрілки; *c)* із цифровим відліком

Датчики (сенсори) – це пристрої, перетворювачі фізичних сигналів (вхід) в зручну для обробки і використання іншу фізичну форму (вихід), як правило електричну, сигнали яких, минаючи людину, надходять для подальших перетворень та обробки системами автоматики, керування та контролю. Такий поділ є умовним і склався історично. У технічній літературі іноді датчики називають приладами, оскільки схеми та конструкції датчиків представляють електронні пристрої в склад яких входять елементи перетворювачі що чутливі на вимірювальну фізичну величину збігаються з функціональним аспектом мети системи яки в свою чергу перетворюються з метою узгодження з електронними параметрами системи для подальшої обробки отриманого результату та конструкціями вимірювальних приладів аналогічного призначення.

За методами виміру розрізняють ВП, що здійснюють прямі та непрямі виміри.

При прямих вимірах шукане значення вимірюваної величини визначають шляхом безпосереднього порівняння з мірами або показаннями приладу, проградуєованого в прямих одиницях вимірювання.

При непрямих вимірах шукане значення вимірюваної величини перебуває за результатами проміжних вимірів однієї чи кількох величин, що з шуканої величиною певної функціональної залежністю. При цьому чисельне значення вимірюваної величини обчислюється за відомою формулою, що впливає з обраного методу вимірювання:

$$X = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (1.1)$$

де X - вимірювана величина; x_1, x_2, \dots, x_n – значення величин, що вимірюються прямим способом.

Прикладом прямого виміру служить визначення швидкості руху наземного транспортного засобу за допомогою тахогенератору (датчиком швидкості), а непрямиого виміру служить визначення переміщення (шляху) того ж засобу за допомогою інтегрування сигналу швидкості в часі, або визначення істинної повітряної швидкості $V_{\text{ист}}$ літака за результатами прямого виміру параметрів зустрічного потоку повітря. При цьому швидкість визначається за формулою:

$$V_{ict} = \sqrt{2gRT \left(\frac{K}{K-1} \right) \left[\left(\frac{P_{II}}{P_{CT}} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]}, \quad (1.2)$$

де P_{II} , P_{CT} - відповідно повний та статичний тиск зустрічного потоку повітря; T - температура незворушеної атмосфери на даній висоті; R - газова стала ($R = 29,27$ м/град); K - стала адіабати ($K = 1,4$); g – прискорення сили тяжіння.

В цьому випадку шукана величина V_{ict} визначається як функція трьох змінних P_{II} , P_{CT} та T ; інші параметри K , R , g в процесі руху системи вважаються сталими.

Розглянуті обидва прикладі прямого і непрямого виміру стосуються електромеханічних систем і показують з якими складностями приходиться зустрічатися сучасним проектувальникам складних систем.

За способами представлення інформації ВП поділяються на аналогові та дискретні. У аналогових ВП вихідний сигнал пов'язаний з вимірюваною величиною безперервної функціональної залежністю. Мірою вимірюваної величини є рівень вихідного сигналу.

У дискретних ВП вихідний сигнал змінюється стрибкоподібно. Мірою вимірюваної величини може бути накопичене число імпульсів вихідного сигналу, закодована комбінація тощо.

1.2 Типові структури вимірювальних пристроїв

Вимірювальний пристрій можна розглядати як функціональний перетворювач вимірюваної фізичної величини, що приймається за вхідний сигнал, в іншу фізичну величину - вихідний сигнал, придатну для відліку людиною-оператором або зручну для подальшого перетворення та обробки автоматизованої системи керування.

Схема проходження сигналів через ВП представлена рис. 1.2.

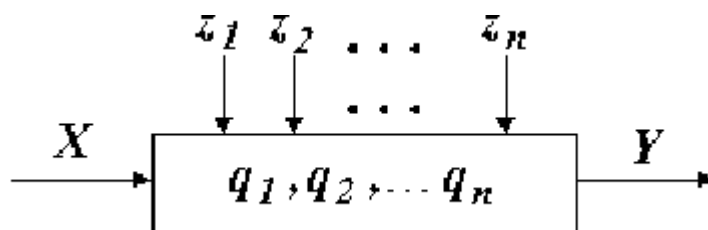


Рисунок 1.2 – Схема ВП як перетворювача фізичних величин. X та Y - відповідно вхідний та вихідний сигнали; q_1 , q_2 , ... q_n - внутрішні параметри ВП, що визначають

його властивості; z_1, z_2, \dots, z_n - зовнішні параметри, що відображають умови експлуатації ВП.

До внутрішніх параметрів відносяться характеристики елементів, що входять до структури ВП, а також внутрішні фактори, що дестабілізують. До характеристик елементів відносять фізичні параметри матеріалів, з яких вони виконані, масово-геометричні, пружні та інші властивості.

Під дестабілізуючими факторами розуміють фактори, що є джерелами додаткових похибок ВП. До таких факторів відносяться сили тертя в опорах рухомих вузлів ВП; дисбаланс, тобто. зсув центру мас окремих елементів ВП від центру підвісу або перетину осей симетрії; виникнення сил і моментів через натяг провідників підведення напруги живлення і т.д.

Зовнішні параметри – це параметри навколишнього середовища (атмосферний тиск, температура повітря, вологість), джерел живлення, зовнішніх електричних, магнітних та гравітаційних полів, переносні лінійні та кутові прискорення об'єкта, наприклад, літака, на яких встановлено ВП тощо.

Найчастіше структура ВП така, що перетворення сигналів від входу до виходу проходить кілька фаз, тобто. вимірювана величина X , перш ніж вона перетворюється на вихідний сигнал Y , зазнає проміжних перетворень. Проміжні перетворення здійснюються за допомогою вимірювальних ланок, які відображаються на структурній схемі ВП у вигляді елементарних перетворювачів фізичних величин.

Способи з'єднання вимірювальних ланок можуть бути різними. Типові сполуки вимірювальних ланок, що входять до структури ВП, представлені на рис. 1.3.

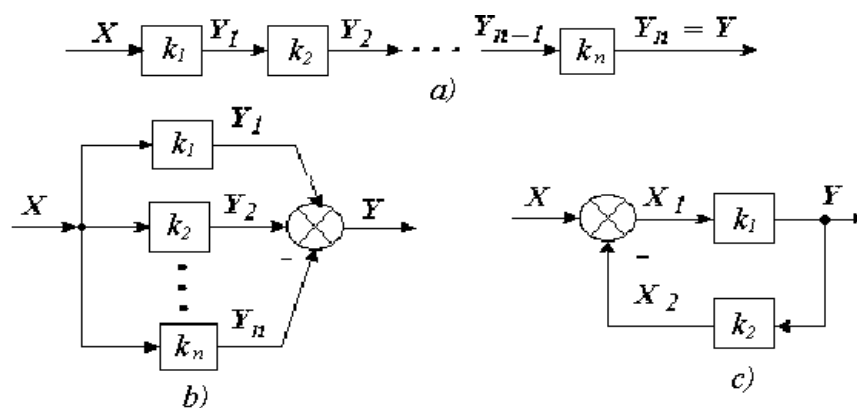


Рисунок 1.3 – Типові сполуки вимірювальних ланок

На рис. 1.3*a* наведена розімкнена структура ВП з послідовним з'єднанням вимірювальних ланок:

$$Y = X \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n. \quad (1.3)$$

Розімкнені структурні схеми можуть бути представлені у вигляді паралельно з'єднаних ланок (див. рис. 1.3,*b*). При такій структурі вихідний сигнал Y є сумою вихідних сигналів окремих вимірювальних ланок:

$$Y = X \cdot (k_1 + k_2 + \dots + k_n) \quad (1.4)$$

Замкнуті структурні схеми ВП утворюються при зустрічно-паралельному з'єднанні ланок з позитивним або негативним зворотним зв'язком. Позитивний зворотний зв'язок зазвичай застосовується під час створення ВП, які у автогенераторном режимі. Вихідний сигнал таких ВП, наприклад, може представляти високочастотні незагасаючі коливання різної форми, частота яких залежить від вхідного сигналу. При створенні датчиків первинної інформації найчастіше використовують негативний зворотний зв'язок. Введення негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) зустрічно-паралельні з'єднання можуть містити не по одному, а по кілька послідовних ланок (рис. 1.3,*c*). В знаменнику в залежності від типу ЗЗ може бути позитивний знак при НЗЗ, або негативний при ПЗЗ. Зустрічно-паралельне з'єднання аналітично може бути представлене:

$$Y = X \cdot \frac{k_1}{1 \pm k_1 k_2} \quad (1.5)$$

Вимірювальні пристрої компенсаційного типу відносяться до класу високоточних або про прецизійних. Висока точність вимірювання досягається за рахунок компенсації змін параметрів ланок, включених у прямий ланцюг, зміною параметрів ланок, включених у зворотний зв'язок.

Необхідно зазначимо деякі особливості зображення структурних схем ВП – приладів, датчиків та систем. При цьому під системою розумітимемо ВП, що включає до свого складу кілька приладів або датчиків, що реалізують різні фізичні принципи вимірювання одного й того самого параметра.

Основу будь-якого ВП становить сенсор – чутливий елемент (ЧЕ), який сприймає ззовні фізичний параметр і перетворює його на параметр зручний для подальшого

використання наступними вимірювальними ланками. Найчастіше ЧЕ, наприклад, авіаційних ВП, заснованих на інерційних і аерометричних принципах, є рухомі механічні елементи – гіроскопи, сейсмичні маси, мембранні коробки тощо.

Зміна стану системи під дією збуджуючих та керуючих сил і моментів викликає поява зусиль і моментів, прикладених до ЧЕ, тобто. вимірюваний параметр проявляє себе як сили F або моменту M . Так, наприклад, при русі літака з лінійним прискоренням j_x до сейсмичної маси ЧЕ, розташованої вздовж осі ОХ в пружному підвісі (за допомогою пружин та розтяжок), буде додана сила

$$F_x = mj_x, \text{ де } m - \text{ маса ЧЕ} \quad (1.6)$$

Під дією сили F_x , в даному випадку званою силою інерції, відбудеться деформація пружини на величину $x = x(F_x)$

В усталеному режимі сила F_x і сила пружності F_y , викликана деформацією пружини, рівні

$$F_x = F_y \quad (1.7)$$

Відповідно до закону Гука сила, обумовлена деформацією пружини, пропорційна її тяжкості та величині деформації $F_y = k_y X$, де k_y – коефіцієнт пружності або жорсткості пружини; X – деформація пружини (розтягування чи стискування).

Після підстановки у вираз (1.7) значення сили F_x , яка визначається (1.6) отримаємо $mj_x = k_y X$, звідки деформація пружини $X = mj_x / k_y$

Оскільки величини m і k_y є постійними, переміщення ЧЕ на величину X прямо пропорційно до вимірюваного параметра, а саме – лінійному прискоренню об'єкта вздовж обраного напрямку ОХ:

$$X = hj_x, \quad (1.8)$$

де $h = m / k_y$ – постійний коефіцієнт.

Вирази (1.7) та (1.8) можуть бути записані і таким чином

$$X = mj_x / k_y = F_x / k_y = k' F_x, \text{ де } k' = 1 / k_y \quad (1.9)$$

Тоді вимірювальна ланка, що відповідає першій фазі перетворення, структурної схеми аналізованого ВП може бути представлено у вигляді рис. 1.4.

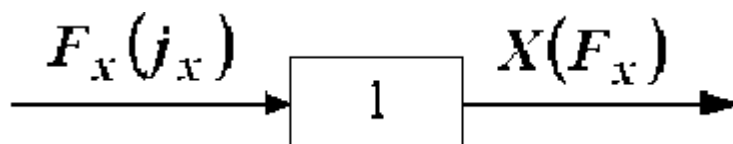


Рисунок 1.4 – Вимірювальна ланка авіаційного ВП, що відображає першу фазу перетворення параметра, що вимірюється, де 1 – чутливий елемент (ЧЕ).

Конструктивне виконання наступних вимірювальних ланок залежить багатьох чинників. В цьому випадку, якщо проектується прилад, то переміщення ЧЕ за допомогою спеціального перетворювального елемента (ПЕ) безпосередньо може бути перетворено на сигнал для виведення у певній формі на пристрій, що відліковує або реєструє (РП) (рис. 1.5).

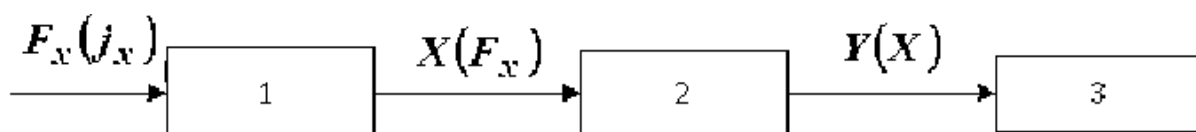


Рисунок 1.5 – Типова структура авіаційного приладу. 1 – чутливий елемент (ЧЕ); 2 – перетворювальний елемент (ПЕ); 3 - реєструючий пристрій (РП).

Датчики, на відміну від приладів, крім ЧЕ та ПЕ можуть містити підсилювальні, коригувальні, зворотні зв'язки, рахунково-вирішальні та інші елементи. Як згадувалося, вихідний сигнал датчиків найчастіше представляється як електронної величини.

В якості електричного параметру, що несе інформацію, використовується напруга U , сила струму I , частота f , фаза ϕ , індуктивність L , ємність C , електричний опір R . При цифровій формі вихідного сигналу структуру датчика можуть бути включені аналого-цифрові, цифро-аналогові, інтерфейсні елементи зв'язку з бортовою обчислювальною машиною та інших.

Таким чином, структура датчика може бути достатньою складною і не вписуватись у типові структури. Як приклад на рис. 1.6 наведено структуру датчика, що видає в бортову обчислювальну машину (БОМ) інформацію в цифровому вигляді NU про відхилення поточного кута курсу від заданого зад. , що формується опорним елементом.

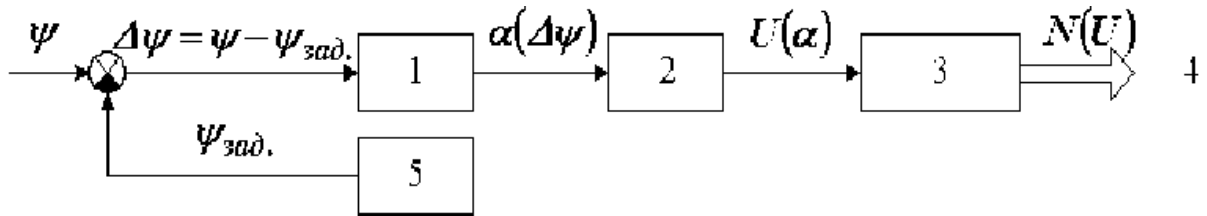


Рисунок 1.6 – Функціональна схема сучасного датчика курсу, де 1 – чутливий елемент (ЧЕ); 2 – перетворюючий елемент (ПЕ); 3 – пристрій обробки та виділення корисної інформації (ПОВКІ); 4 – до БОМ; 5 – опорний елемент (ОЕ).

Структурна схема ВП, що представлена на рис. 1.5 дає більш наочне уявлення про призначення вимірювальних ланок і виконувани ними функціональні перетворення.

Зазначимо деякі особливості зображення структурних схем ВП – приладів, датчиків та систем. При цьому під системою розумітимемо ВП, що включає до свого складу кілька приладів або датчиків, що реалізують різні фізичні принципи вимірювання одного й того самого параметра.

Основу будь-якого ВП становить чутливий елемент ЧЕ, який сприймає ззовні той чи інший фізичний параметр і перетворює його на параметр зручний для подальшого використання наступними вимірювальними ланками. В промислових ВП використовують елементи і пристрої з різними фізичними властивостями: електромеханічні, магнітні, оптичні тощо. В авіаційних ВП, заснованих на інерційних і аерометричних принципах, є ЧЕ – рухомі механічні елементи – гіроскопи, сейсмічні маси, мембранні коробки тощо.

Зміну стану літака під дією збурюючих та керуючих сил і моментів викликає поява зусиль і моментів, прикладених до ЧЕ, тобто. вимірюваний параметр проявляє себе як сили F або моменту M .

РОЗДІЛ 2

ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ КООРДИНАТ РУХУ. ПОХИБКИ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

Для контролю переміщень об'єктів використовують як правило цифрові системи контролю, а саме перетворювачі переміщення в цифровий код. При цьому використовуються методи зчитування і метод послідовного рахунку. В якості сенсорного способу при побудові таких АЦП використовуються магнітні або оптичні фізичні явища, в залежності від умов і вимог. У більшості випадків кодується кутове переміщення, оскільки в багатьох випадках лінійні переміщення за допомогою різних пристроїв перетворюються в кутові. Кутове переміщення є більш зручним і компактним [3].

2.1 Перетворювачі зчитування інформації.

Перетворювачі зчитування мають перевагу перед іншими що не втрачають інформацію про параметри стану координати яку вони контролюють при знеструмленні електрообладнання. Для підтримки роботи системи зчитування необхідно мати $2n-1$ еталонів, з якими проводиться порівняння величини що перетворюється і стільки ж схем порівняння. Практично створюють кодові шкали, кількість яких дорівнює кількості розрядів коду, а число інтервалів між поділами окремих шкал визначається як $2i$, де i - номер цієї шкали, починаючи з нуля. Ціна найменшої поділки при цьому буде визначатися кроком квантування. Але число схем порівняння скоротиться з $2n-1$ до n .

Принцип дії перетворювачів кутового переміщення в код для простоти розглянемо на прикладі перетворювача з контактним зніманням кодового сигналу.

Такі перетворювачі в даний час замінені, як більш надійними, безконтактними: фотоелектричними та магнітними. Розрізняють перетворювачі з натискним і зі змінним контактами. Кодові шкали перетворювачів можуть бути дисковими або барабанними.

Таким чином, в складі перетворювача повинні бути, як мінімум, кодові шкали і пристрої порівняння. Реально до складу такого АЦП входить ряд пристроїв посилення і перетворення сигналів, схеми зчитування та зберігання кодів, інші схеми [3].

На рис. 2.1,*a* зображений кодовий диск, а на рис. 2.1,*b* кодовий барабан чотири розрядного перетворювача, та їх кодова розгортка, у бінарному та коді Грея

Кодовий диск шкали являє собою концентричні кільця, що складаються з сукупності майданчиків що проводять і не проводять електричний струм і які чергуються. Кількість кілець дорівнює числу розрядів коду. Розміри майданчиків в кожному кільці однакові, а їх число визначається позицією даного розряду в коді. Всі провідні площадки електрично з'єднуються між собою і спеціальним кільцем, що є загальним струмоведучим елементом. Загальним струмоведучим елементом може бути матеріал диска, якщо диск виготовити з струмопровідного матеріалу.

Зазвичай шкали молодших розрядів, що містять найбільшу кількість елементів, розташовуються на периферії диска, а шкали старших розрядів – ближче до центру. Це дає можливість при інших умовах збільшити розміри мінімального елемента на диску.

У перетворювачі з кодованим барабаном шкали виконуються у вигляді кілець, розташованих на поверхні барабана і складаються по чергово з провідних і непровідних ділянок (рисунок. 2.1 *b*).

В якості чутливих елементів використовуються щітки – зйомники струму 1, розташовані над розрядними кільцями диска або барабана. При знаходженні зйомників струму на провідних ділянках у відповідних розрядах формуються одиниці. Якщо щітка знаходиться на ділянці, що не проводить струм, то в даному розряді буде нуль. Зазвичай зйомники струму розташовують на одній прямій, званої лінією зчитування. На диску лінія зчитування орієнтована по радіусу диска, на барабані – паралельно осі барабану.

При використанні звичайних бінарних шкал з'являється небезпека виникнення помилкових кодів при переході від одного числа до іншого. Щоб виключити це явище

необхідно, щоб межа між числами була прямою лінією, а зйомники струму розташовувалися точно уздовж цієї лінії. В реальних умовах цього досягти не вдається внаслідок неминучого технологічного розкиду розмірів елементів диска або барабана і неточності установки знімачів струму. Внаслідок цього всі знімачі струму не будуть одночасно переходити межу між числами.

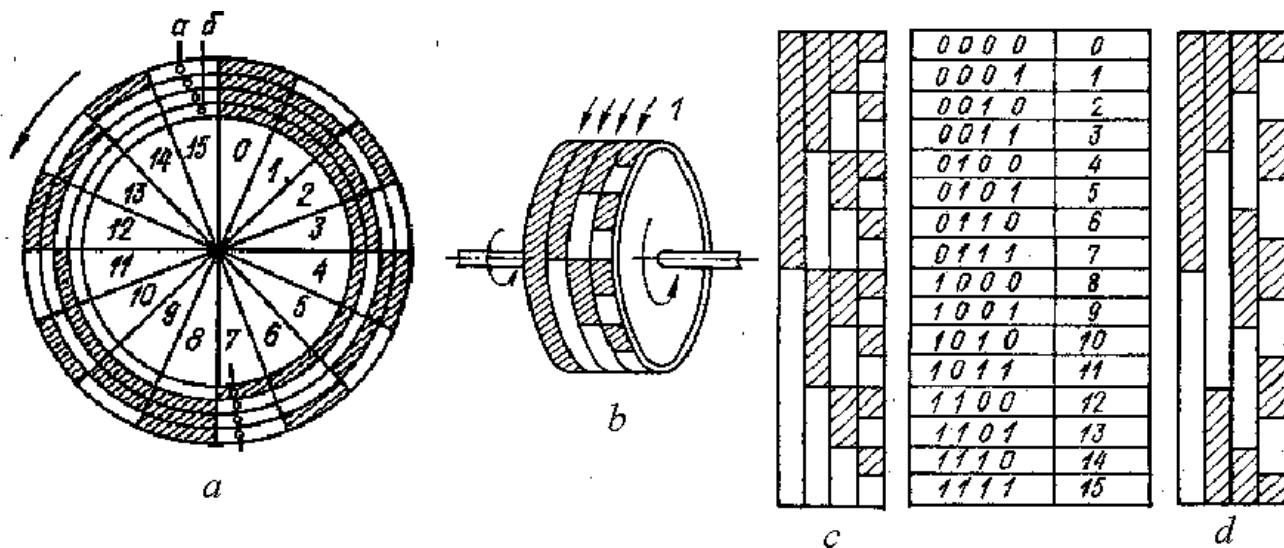


Рис. 2.1 – Кодові носії: диск (а) та барабан (b). Розгортка масок що кодують в звичайному бінарному коді (c) і в коді Грея (d).

Припустимо диск (рис. 2.1,а) рухається в напрямку стрілки, а знімачі струму розташовані так, що їх крайні положення відповідають позиціям а й б. У початковому стані всі знімачі струму знаходяться на провідних ділянках і вихідний код буде відповідати 1111. Наступне значення коду має бути 0000 проте у міру переміщення диска знімачі струму перейдуть межу між числами не одночасно (спочатку знімачі струму старших розрядів, а потім молодших). В результаті цього код при такому переході буде по черзі приймати такі значення: 0111, 0011, 0001, 0000 хоча диск не кодує кут значень 7, 3, 1 (в десятковій системі). Це природні особливості застосування кодового диску в цифрових системах. Помилка при цьому може досягати 50%. Аналогічна ситуація може мати місце при інших переходах від одного значення кута до іншого. Для того, щоб уникнути цього, використовуються спеціальні шкали дискретизації, що наносяться на диск з метою виключення можливості зчитування коду на межах між числами. У багатьох випадках використовують спеціальні види кодів, що відрізняються тим, що при переході від одного числа до іншого змінюється

одиниця лише в одному з розрядів числа. До числа таких кодів відносяться так звані рефлексні коди, з яких в перетворювачах кутових переміщень використовується рефлексний бінарний код, який часто називають кодом Грея. Перетворення коду Грея зі звичайного бінарного проводиться за такими правилами. Якщо позначити бінарне число

$$a = a_n a_{n-1} \dots a_i \dots a_2 a_1 \quad (2.1)$$

те ж число в кодї Грея

$$b = b_n b_{n-1} \dots b_i \dots b_2 b_1 \quad (2.2)$$

де a_i і b_i – значення коду (одиниця і нуль) в i -тому розряді, то значення розрядів в кодї Грея визначається як сума по модулю 2 відповідних розрядів бінарного коду:

$$b_i = | a_{i+1} + a_i |_{\text{mod } 2} \quad (2.3)$$

Перехід від коду Грея до бінарного коду здійснюється у відповідності з наступним виразом:

$$a_i = | \sum_{k=n}^{k=i} b_k |_{\text{mod } 2} \quad (2.4)$$

Як видно з рис. 2.2, над кодової шкалою, побудованою з використанням коду Грея, відсутні переходи, які характеризуються одночасною зміною одиниць в декількох розрядах. Крім того, розміри елемента пам'яті шкали молодшого розряду вдвічі більше, ніж при звичайному бінарному кодї, що дозволяє при однакових розмірах шкали реалізувати вдвічі більшу роздільну здатність.

Після зчитування код Грея перетворюється в звичайний бінарний код за допомогою спеціальних пристроїв. Відповідність кодів представлено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Десятичне число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Двоичний код	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
Код Грея	0000	0001	0011	0010	0110	0111	0101	0100	1100	1101	1111	1110	1010	1011	1001	1000

Крім перетворення в код Грея використовуються і інші методи кодування шкал, серед яких можна відзначити метод Баркера, що полягає у виборі елементів знімання на підставі аналізу молодшого розряду, метод подвійний щітки і ряд інших методів здійснення АЦП переміщення-код [3].

Крім фотоелектричних перетворювачів до безконтактних належать також індуктивні і трансформаторні перетворювачі. Їх конструкції відрізняються. До появи фотоелектричних, вони застосовувалися для перетворювачів переміщень і вважалися досить надійними пристроями. Але їх параметри відносини сигнал-шум, розміри, вартість, матеріаломісткість значно поступаються фотоелектричним перетворювачам. Тому такі перетворювачі в даний час використовуються рідше.

Існують ще кілька типів пристроїв кодування переміщення. Наприклад, перетворювачі з матричним кодуванням, де кодування положення чутливого елемента проводиться в прийнятій системі кодування. Але вони також відносяться до контактних і тому вважаються морально застарілими. До того ж похибки перетворення у них вищі, ніж у сучасних систем.

2.2 Перетворювачі послідовного рахунку.

Перетворювачі послідовного рахунку на відміну від перетворювачів зчитування по конструкції простіші і більш компактніші, однак, вони не володіють пам'яттю при знеструмленні перетворювача. Проте, такі перетворювачі знайшли широке застосування в сучасних технічних системах. Наприклад, комп'ютерний маніпулятор «миша», який швидко удосконалився в оптичну, змінивши принцип відбору інформації про переміщення. Принцип перетворення відносяться до групи накопичувачів. Інший принцип послідовного рахунку використовується в роботі дискових пристроїв комп'ютера. Але відрізняється тим, що відноситься до групи циклічних [3].

Таким чином, перетворювачі кутових переміщень послідовного рахунку діляться на дві групи: перетворювачі що накопичують і циклічні перетворювачі. Перетворювачі першого типу(накопичувальні) вимірюють приріст кута, другого(циклічні) – повні значення кутового переміщення.

У перетворювачах типу що накопичують діапазон вимірювання вхідної величини умовно розбивається на поодинокі збільшення – кванти. Чутливий елемент виробляє сигнали при зміні кута більшому, ніж величина кванта. Підрахунок сигналів проводиться лічильником, в якому підсумовуються з урахуванням знака поодинокі збільшення. Недолік способу в тому, що в таких перетворювачах має місце можливість

накопичення помилки при пропажі сигналів чутливого елемента. Ця помилка буде у всіх результатах кодування, а при наступних пропусках сигналів може навіть накопичуватися. Кодує диск такого перетворювача має певне (відповідно до розрядності перетворювача) число окремих районів. Принцип роботи перетворювача що накопичує показаний на схемі рисунку 2.2. На скляному диску нанесена лічильна шкала, аналогічна шкалі молодшого розряду перетворювача зчитування. На другій доріжці нанесена допоміжна шкала, ідентична основній, але зрушена на половину елемента шкали (кванта). Щодо періоду імпульсів це становить 90 електричних градусів. Шкали висвітлені джерелом, світло якого проходить через щілинну діафрагму Д. Диск закріплений на валі, кутове переміщення якого кодується. До складу перетворювача входять фотоприймачі Ф1 і Ф2, що формують сигнали при проходженні перед ними ділянок відповідних шкал. Коли перед фотоприймачем знаходиться прозора ділянка, на його виході буде сигнал високого рівня. Якщо перед фотоприймачем знаходиться непрозора ділянка, рівень вихідного сигналу фотоприймача буде низьким. Тригери ТГ1 і ТГ2 формують із сигналів фотоприймачів прямокутні імпульси. Диференціюючий ланцюг Д1 формує короткі імпульси в моменти, коли непрозора ділянка змінюється на прозору (в моменти, відповідні позитивним перепадам сигналів ТГ1), а диференціюючий ланцюг Д2 в моменти відповідні негативним перепадам сигналу ТГ1 (заміна прозорої ділянки непрозорою). Вентилі (логічні І) В1 і В2 управляються позитивним перепадом напруги ТГ2 (що дозволяє потенціал) [3].

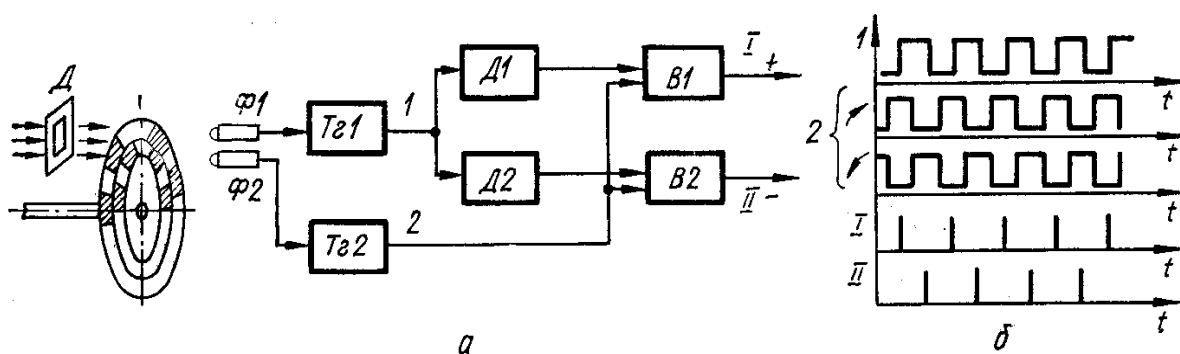


Рис. 2.2 – Перетворювач “кут-код” що накопичує: а – функціональна схема; б – часові діаграми

Приймемо рух диска за годинниковою стрілкою, відповідним збільшенням кута і підрахунки одиничних збільшень виробляються в момент зміни непрозорих ділянок прозорими, що відповідає появі сигналу на виході Д1.

При русі диска за годинниковою стрілкою, при даній конфігурації диска, послідовність імпульсів фотоприймача Ф2 буде випереджати по фазі послідовність імпульсів фотоприймача Ф1 (рис 2.26). При цьому імпульси диференціюються, імпульси ланцюга Д1 будуть збігатися у часі з позитивними перепадами сигналів ТГ2 і проходити через В1 на підсумовуючий вхід реверсивного лічильника, код в якому буде наростати пропорційно зміні кодованого кута. Коли диск почне рухатися в протилежному напрямку, що буде відповідати зменшенню кута, код у лічильнику повинен зменшитися на одиницю щоразу при проходженні перед фотоприймачем Ф1 у тих точках диска, де при позитивній зміні кута вироблялися імпульси, диференціальним ланцюжком Д1. При реверсі диска це буде відповідати моментам зміни прозорих ділянок непрозорими, тобто моментам появи імпульсів на виході диференціювання ланцюжка Д2.

Коли диск рухається проти годинникової стрілки (кут зменшується), послідовність імпульсів на виході Ф2 буде відставати по фазі від послідовності імпульсів на виході Ф1 і, як видно з часової діаграми, імпульси з виходу схеми Д2, що збігаються з роздільними сигналами ТГ2 пройдуть через В2 не віднімаючи вхід реверсивного лічильника, код в якому буде спадати. Імпульси ж з виходу ланцюга Д1 на вхід вентиля В1 не пройдуть, так як на його вході буде забороняти потенціал.

Таким чином, в даній схемі проводиться підрахунок одиничних змін кутового переміщення з урахуванням напрямку переміщення [3].

2.3 Акселерометри лінійних прискорень

Пристрій, принцип дії та характеристики акселерометра лінійних прискорень. Датчики, призначені для вимірювання лінійних та кутових прискорень літальних апаратів, називаються акселерометрами.

Акселерометри вимірюють прискорення в проекціях на певні напрямки згідно другого закону Ньютона. Відомо що рух системи може бути описаний диференціальним рівнянням n -ного порядку в залежності від властивостей елементів системи і їх

кількості. До акселерометрів відносять і пристрої для вимірювання проєкцій швидкості тіла, що важливо для керування, наприклад, літальними апаратами. Особливо це стосується високо маневрених, над-, гиперзвукових і безпілотних апаратів (БПЛА). Диференціальні рівняння в якості параметрів використовують інерційні властивості елементів систем, наприклад, маси, пружні властивості, тертя, а також в багатомасових системах описуються зв'язки між окремими підсистемами. Таки зв'язки можуть мати нелінійні властивості, що приводить до ускладнення опису руху, переходу до систем лінійних лінійних рівнянь. А реалізація технічних рішень в алгоритмах потребує потужних обчислювальних методів і систем.

Розглянемо структуру руху складної системи, як багатокоординатну динамічну систему. Координатами руху є переміщення (шлях), швидкість, прискорення, ривок, тощо. Між координатами руху існує диференціальна залежність. Наприклад, швидкість – це інтеграл від прискорення, в свою чергу шлях – інтеграл від швидкості тощо. Таким чином використовуючи інтегруючі засоби можна визначати бажані, координати. Наприклад, можна створити інтегруючий акселерометр.

За типом чутливого елемента, що використовується в акселерометрах, датчики поділяються на гіроскопічні та негіроскопічні.

До акселерометрів відносять також вимірювачі прискорень лінійних вібрацій (вібродатчики, віброакселерометри).

Елементом, що безпосередньо сприймає прискорення (ЧЕ), є сейсмічна маса. У акселерометрів негіроскопічного типу сейсмічна маса виконується як твердого тіла. У акселерометрів гіроскопічного типу сейсмічною масою служить сам гіроскоп.

Для літакових систем переважно застосовуються акселерометри з чутливим елементом, виконаним у вигляді твердого тіла.

Акселерометри як датчики лінійних прискорень знайшли широке застосування у пілотажно-навігаційних системах літаків. За допомогою таких акселерометрів вирішуються такі завдання:

- формування сигналів зворотного зв'язку в системах автоматичного керування траєкторією польоту;
- видача сигналів попередження при досягненні літаком гранично допустимого навантаження;

- видача сигналів відключення корекції гировертикалей при досягненні літаком заданого прискорення;
- видача сигналів в інерційну навігаційну систему.

За характером руху сейсмічної маси розрізняють акселерометри з поступальним та кутовим її переміщенням. Акселерометри лінійних прискорень із кутовим переміщенням сейсмічної маси називаються маятниковими.

Для закріплення сейсмічної маси в корпусі датчика використовуються різні типи підвісів. Найбільшого поширення набули підвіси:

- на шарикопідшипниках;
- на пружинах та торсіонах;
- на розтяжках.

Існують і інші підвіси: гідростатичні, газостатичні, електростатичні, електромагнітні та інші.

З'єднання ланок, що входять до структури акселерометра, можуть утворювати або розімкнуту, або замкнуту структуру.

За кількістю вимірюваних одним акселерометром складових прискорення акселерометри поділяються на:

- Однокомпонентні (одноосьові);
- Двокомпонентні (двохосьові);
- Трикомпонентні (трьохосьові).

Однокомпонентні акселерометри мають одну вісь чутливості. Такі акселерометри вимірюють одну складову лінійного прискорення. Двокомпонентні та трикомпонентні відповідно мають дві та три осі чутливості. Такі датчики відповідно вимірюють дві та три складові лінійного прискорення.

Пристрій та принцип дії датчика лінійних прискорень розглянемо на прикладі однокомпонентного акселерометра з пружинним підвісом чутливого елемента (сейсмічної маси). Функціональна схема акселерометра представлена на рис. 2.3. На рисунку позначени складові перетворювача: чутливий елемент 3 підвішений в корпусі приладу 1 за допомогою пружин 2. Для демпфування власних коливань чутливого елемента використовується повітряний демпфер 4. Вихідний сигнал, пропорційний

вимірюваному прискоренню, знімається з потенціометричного перетворювача 5. Осі чутливості акселерометра є вісь OX . На тілі що рушиться вісь чутливості встановлюється паралельно до тієї осі тіла, щодо якої необхідно вимірювати прискорення.

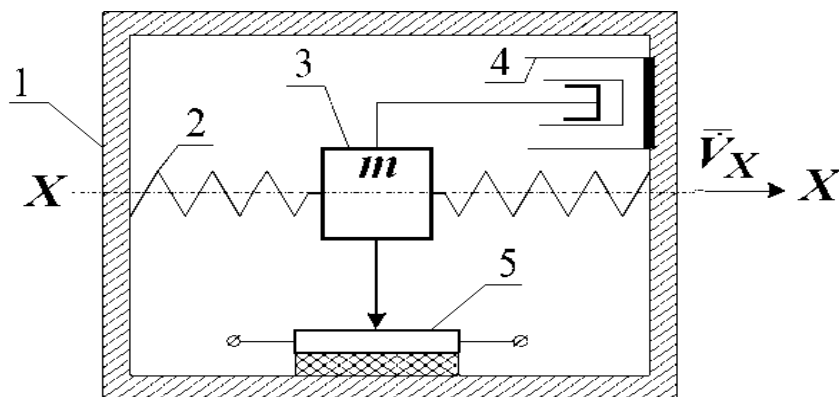


Рисунок 2.3 – Функціональна схема акселерометра лінійних прискорень
 1 – корпус; 2 – пружини підвісу; 3 - чутливий елемент - сейсмічна маса ;
 4 – повітряний демпфер; 5 – потенціометричний перетворювач.

Принцип дії акселерометра заснований практично на вимірі сили інерції, що розвивається сейсмічною масою під час її руху з прискоренням. Розглянемо сили, які прикладаються до сейсмічної маси під час руху тіла з прискоренням. З метою спрощення і спільності напрямку \vec{V} прискорення тіла по відношенню до осі чутливості виберемо довільним. Переміщення чутливого елемента до вихідного позначимо через X (рис. 2.4, а).

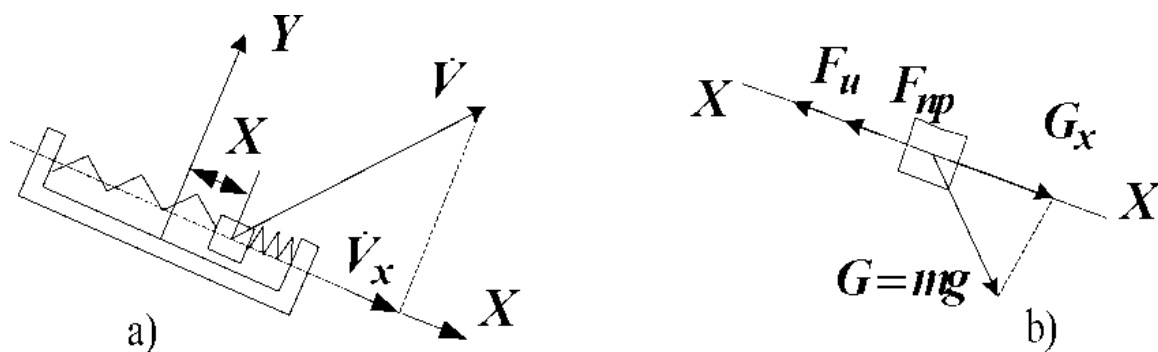


Рисунок 2.4 – Принцип роботи акселерометра лінійних прискорень
 а – усунення сейсмічної маси; b – сили, що прикладаються до сейсмічної маси.

Якщо об'єкт рухається із постійним прискоренням \dot{V} , то проекцію цього прискорення на вісь X позначимо $\dot{V}_x = a$. При русі тіла з прискоренням \dot{V}_x до сейсмічної маси буде додана сила: $F_u = ma$; $F_y = k_y X$, де F_u - сила інерції; F_y - пружна сила деформації пружини; k_y - коефіцієнт пружності; G_x – складова сили тяжіння G_x вздовж осі чутливості; $G_x = mg_x$.

2.4 Похибки ВП та їх класифікація

Причин виникнення похибок досить багато, тому їх класифікація може проводитися за різними ознаками. В таблиці 2.1 наведені основні ознаки класифікації похибок ВП: похибки, найбільш типові для вимірювальних або перетворювальних пристроїв різного класу. Існують похибки, які лише притаманні ВП пілотажно-навігаційних комплексів. Такі похибки особливо розглядатимуться щодо конкретного приладу, датчика чи системи, які входять до складу ПНК.

Похибки в залежності від розмірності

Абсолютна похибка ВП виражається в одиницях вимірюваної величини X або одиницях вихідного сигналу Y .

$$\Delta X = X - X_0. \quad (2.5)$$

Абсолютна похибка ВП в одиницях вимірюваної величини (наведена до входу ІУ) дорівнює різниці між його показанням та дійсним значенням вимірюваної величини X_0 :

$$\Delta Y = Y - Y_0, \quad (2.6)$$

де Y – Фактичний вихідний сигнал; Y_0 – ідеальний вихідний сигнал, тобто. значення вихідного сигналу, що відповідає дійсному значенню вимірюваної величини відповідно до заданої статичної характеристики.

Таблиця 2.1

Класифікація похибок ВП				
А – за розмірністю:	В – за характером зв'язку з рівнем сигналу:	С – за закономірністю появи при випробуваннях:	Д – з причин виникнення:	Е – за умовами появи:
А.1 абсолютні; А.2 відносні; А.3 наведена відносна.	В.1 адитивні; В.2 мультиплікативні; В.3 статечні; В.4 періодичні.	С.1 систематичні; С.2 випадкові.	Д.1 методичні; Д.2 інструментальні.	Е.1 статичні; Е.2 динамічні.

Визначення абсолютної і відносної похибки ВП

Розглядаючи мале збільшення сигналу ΔY як диференціал функції $Y = f(X)$, можна отримати наближений зв'язок між похибками ΔX і ΔY :

$$\frac{dY}{dX} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}, \text{ звідки } \Delta Y = \frac{dY}{dX} \Delta X = h \Delta X, \text{ де } h - \text{чутливість ВП} \quad (2.7)$$

На рисунку 2.5 наведена графічна інтерпретація абсолютної похибки 2.7.

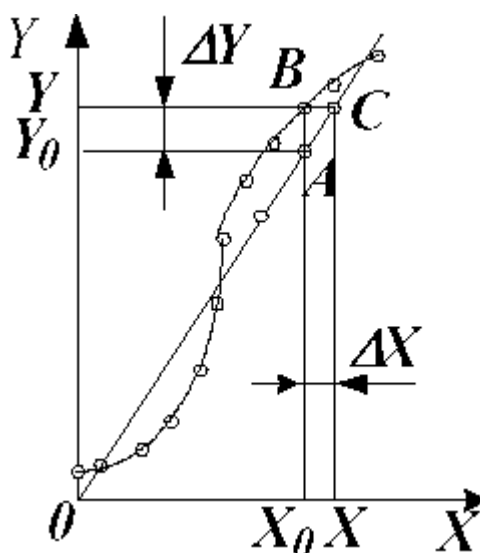


Рисунок 2.5 – Визначення абсолютної похибки ВП

На графіку суцільною лінією зображено задану (ідеальну) характеристику ВП, а штриховою лінією, що сполучає ряд експериментальних точок, - фактичну (реальну) характеристику ВП. З рисунку 2.5 видно, що відрізок $AB = Y - Y_0 = \Delta Y$ і визначає абсолютну похибку ВП в одиницях Y . Аналогічно відрізок $CB = X - X_0 = \Delta X$ і визначає абсолютну похибку в одиницях X . Отже $\frac{\Delta Y}{\Delta X} = h$ або $\Delta Y = h \Delta X$, що відповідає раніше отриманого виразу (2.7).

Відносна похибка ВП дорівнює відношенню абсолютної похибки

ΔX або ΔY до поточного значення відповідної величини X або Y :

$$\eta_x = \frac{\Delta X}{X}; \quad \eta_y = \frac{\Delta Y}{Y} \quad (2.8)$$

Якщо характеристика приладу лінійна та проходить через початок координат

$$\text{То } \frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta Y}{Y} = \eta$$

Наведена відносна похибка ВП дорівнює відношенню до абсолютної похибки ΔX або ΔY до відповідної величини діапазону вимірювання X_d або Y_d :

$$\xi_x = \frac{\Delta X}{X_d}; \quad \xi_y = \frac{\Delta Y}{Y_d} . \quad (2.9)$$

Клас точності ВП дорівнює найбільшому значенню, ξ вираженому у відсотках

$$K = \xi_{\max} \cdot 100\% .$$

Похибки по характеру зв'язку між величиною похибки та рівнем сигналу

При зміні X величина та знак похибки може змінюватися, при цьому абсолютна похибка на виході ВП є деякою функцією вимірюваної величини:

$$\Delta Y = F(X). \quad (2.10)$$

Ця функція може бути зображена на графіку (рис. 2.6,а) де величина ΔY відкладається у збільшеному масштабі.

Залежно від характеру функції (2.10) похибки поділяються на адитивні, мультиплікативні, статечні та періодичні.

Адитивна похибка має постійну величину, що не залежить від X (Рис. 2.6,d):

$$\Delta Y = a \quad (2.11)$$

Мультиплікативна похибка пропорційна величині X (рис. 2.6,с):

$$\Delta Y = bX, \text{ де } b \text{ – постійний коефіцієнт.} \quad (2.12)$$

Ступінна похибка пропорційна X^m .

$$\text{При } m=2, \text{ похибка є квадратичною (рис. 2.8,b): } \Delta Y = cX^2 \quad (2.13)$$

$$\text{При } m = 3 \text{ похибка буде кубічною: } \Delta Y = dX^3. \quad (2.14)$$

Періодична похибка змінюється в залежності від X за періодичністю, наприклад, як показано на рис. 2.6,e, згідно із законом $\Delta Y = A \sin kX$.

У загальному випадку похибка ВП може бути комбінованою, наприклад,

$$\Delta Y = a + bX + cX^2.$$

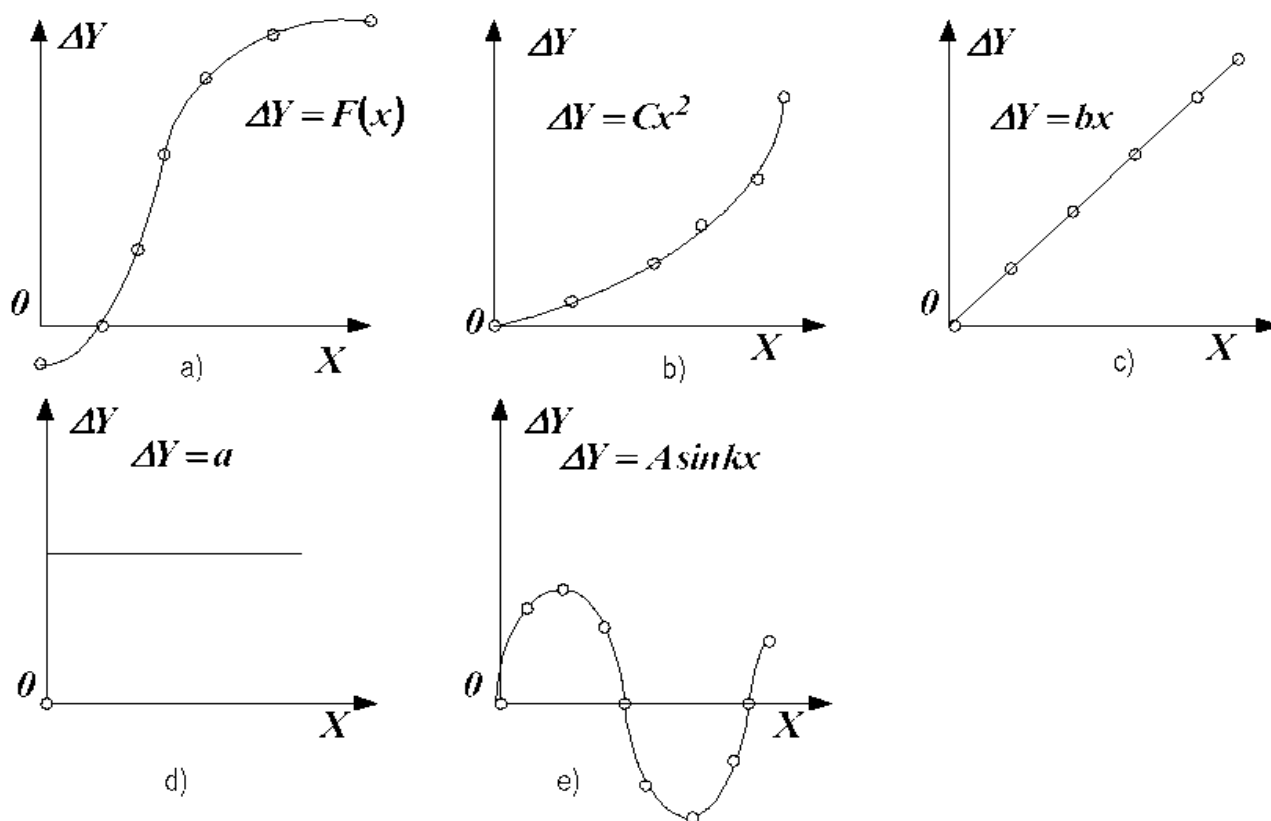


Рисунок 2.6 – Графіки похибок, а – загальний випадок; б – статечна; с – мультиплікативна; d – адитивна; е – періодична.

Похибки за закономірністю їх появи за багаторазових випробувань ВП

Якщо ВП піддати багаторазовим випробуванням в одних і тих же умовах з метою експериментального визначення залежності $X_d = |X_B - X_H|$, де X_B і X_H – відповідно верхній та нижній межі вимірювання, то можуть бути два випадки:

а) залежність $\Delta Y = F(X)$ від випробування до випробування залишається постійною; це означає, що похибка ΔY має систематичний характер;

б) залежність $\Delta Y = F(X)$ від випробування до випробування змінюється, що свідчить про випадковий характер похибки.

Відповідно до цього можна дати такі визначення:

- систематичні похибки мають певне значення в кожній точці характеристики ВП і повторюються при його багаторазових випробуваннях в тих самих умовах;

- випадкові похибки - це похибки, що мають розсіювання за величиною і знаком при багаторазових випробуваннях в одних і тих же умовах, причому поява тих чи інших значень випадкових похибок при поодиноких вимірах незакономірно.

Для характеристики випадкових похибок використовуються методи теорії ймовірності, серед яких найбільшого поширення набули закони розподілу. розподілу, щільності розподілу тощо.

Похибки з причин їх появи

За даною ознакою похибки поділяються на дві групи: методичні та інструментальні.

Методичні похибки виникають через недосконалість методу вимірювання, а також через наближення, що допускаються при проектуванні приладу. Наприклад у авіаційних приладів з кардановими підвісами гіроскопів погрішності можуть виникати через розбіжність осей чутливості з осями базової системи відліку.

Методичні похибки не залежать від якості виготовлення ВП, вони однакові всім зразків даного типу.

Інструментальні похибки виникають через недосконалість технологічного процесу виготовлення приладу; внаслідок зміни геометричних розмірів та фізичних характеристик деталей та вузлів приладу при зміні навколишніх умов та, через зміну характеристик ВП при зміні режимів живлення.

Похибки за умов їх появи

Похибки за умов їх появи поділяються на дві групи: статичні та динамічні.

Статичні похибки $\Delta U_{ст}$ виникають при режимі вимірювання, коли вимірювана X та вихідний сигнал Y зберігають постійне значення.

Динамічні похибки $\Delta U_{дин}$ мають місце при режимі вимірювання, що не встановився. Джерелами динамічних похибок у авіаційних приладів та датчиків є інерційні та демпфуючі елементи, що характеризуються певними параметрами (масою, моментом інерції, коефіцієнтом демпфування тощо). Наявність у вимірювальних ланцюгах ІП зазначених елементів призводить до запізнення процесів перетворення та передачі інформації, а також до динамічних спотворень вихідного сигналу.

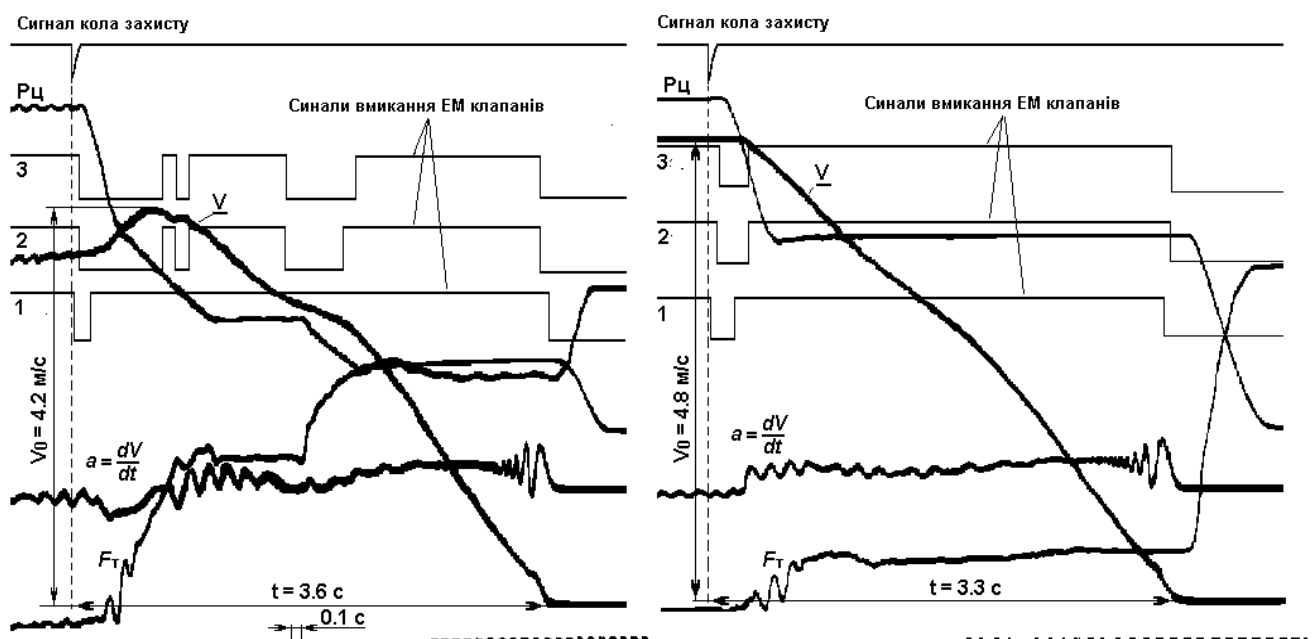
РОЗДІЛ 3

ВИМІРЮВАННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

3.1 Зниження порядку контролюємої динамічної координати руху

Параметри руху що визначаються і вимірюються і за допомогою датчиків і перетворювачів як правило потрібні для забезпечення якісної роботи систем автоматичного керування і регулювання відповідних технологічних процесів. Зокрема для забезпечення безпеки, надійності і продуктивності роботи складних систем. Наприклад, при розробці систем автоматично регульованого запобіжного гальмування (АРЗГ) шахтних підймальних установок (ШПУ) у процесі випробувань проводилися дослідження системи у різних режимах її роботи. Згідно технічним завданням на проектування керування гальмуванням за уповільненням ШПУ було рекомендовано здійснювати шляхом диференціювання сигналу датчика швидкості.

На рисунку 3.1 представлені результати осциллографування – часові діаграми запобіжного гальмування на однокінцевій ШПУ 1-3-2У шахти “Бутівка-Донецька” ПЗ Донецьквугілля обладнаної системою АРЗГ [7].



а)

б)

Рисунок 3.1 – Часові діаграми запобіжного гальмування однокінцевої ШПУ 1-3-2У шахти “Бутівка-Донецька” ВО Донецьквугілля системою АРЗГ, в режимі спуску (а) та підйому (б) вантажу.

На рисунку прийняті позначення: сигнал швидкості V ; сигнал уповільнення $a = \frac{dV}{dt}$ визначається в непрямий спосіб, шляхом диференціювання сигналу швидкості;

$P_{ц}$ – тиск робочого тіла в гальмівному циліндрі; a – сигнал дійсного уповільнення, результат диференціювання сигналу швидкості (фотоелектричний датчик, тахогенератор); $F_{т}$ – гальмівне зусилля, мітки часу та сигнали увімкнення/вимкнення електромагнітних клапанів 1 – 3, що регулюють гальмівний момент випускаючи робоче тіло з гальмівного циліндра. Клапан 1 – призначений для форсування часу холостого ходу, а клапани 2, 3 – налаштовані на грубий та точний порог регулювання гальмівного моменту.

Промислові випробування [7, 8] показали, що датчик з функцією диференціатора дає неякісний, нестійкий до перешкод сигнал, зокрема механічних вібрацій, биття шестерень у редукторі, інших високочастотних дій, що сприяє перерегулюванню гальмівного зусилля. З діаграми спуску вантажу видно, що на початковому перехідному етапі гальмування, виходу на діаграму заданого уповільнення відбувається короткочасне спрацьовування регулюючих клапанів, викликане високочастотними коливаннями сигналу уповільнення через биття зубчастих з'єднань в редукторі. У середній частині діаграми відбувається повторне, більш тривале спрацьовування клапанів, яке викликане високим рівнем амплітуд низькочастотних коливань пружної частини підйому, що спотворює дійсний рівень уповільнення машини. Ці спрацьовування у процесі запобіжного гальмування створюють надлишок гальмівного моменту та уповільнення, що створює динамічні навантаження у системі.

Гальмування під час підйому викликає проблем з динамікою значно менше. Уповільнення відбувається на вільному вибігу за рахунок гальмування вантажем і не викликає перерегулювання гальмівного моменту. Тобто використання сигналу уповільнення одержаного непрямим способом не дало бажаного результату. А спроба застосування відповідних фільтрів погіршила швидкодію системи.

Для вирішення проблем були прийняті технічні рішення [8] спрямовані на підвищення точності шляхом зниження порядку похідної контрольованого параметра і регулювання за заданою діаграмою швидкості запобіжного гальмування. Для цього був розроблений спосіб [9, 10] керування гальмуванням в функції зниження заданої швидкості ШПУ [9], який при цьому враховував нелінійні властивості гальма, зокрема вплив холостого ходу та амплітуд низькочастотних коливань від впливу пружних сил у канатах системи. Для цього задана швидкість формується безперервним перемиканням двох законів: заданого зниження та наростання швидкості за прискоренням холостого вибігу в момент холостого ходу, або низькочастотних коливань [8, 9]. Принцип контролю швидкості за заданим уповільненням з формуванням заданої швидкості перемиканням законів наростання і зниження швидкостей представлений на рисунку 3.2а, а на 3.2b представлена структурна схема пристрою на основі нелінійного фільтру, яка реалізує спосіб.

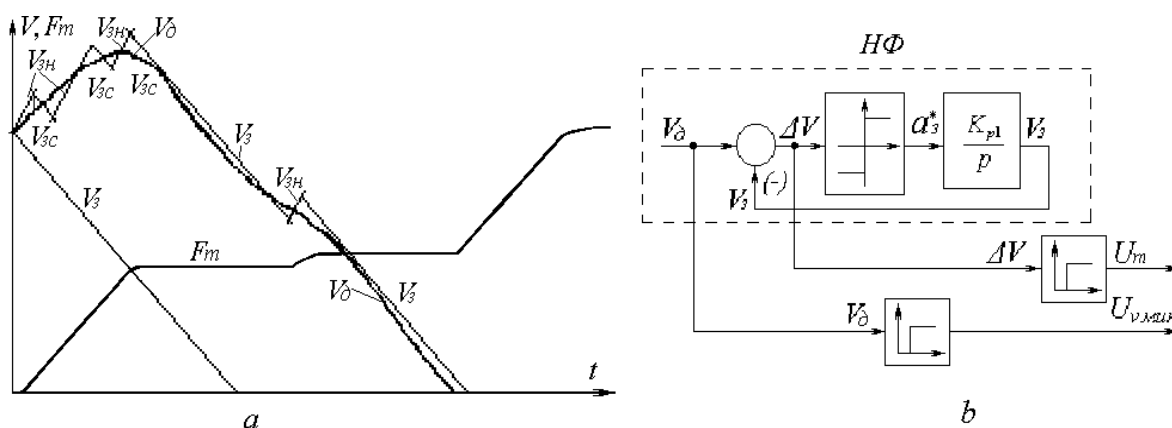


Рисунок 3.2 – Часові діаграми способу керування швидкістю гальмування підйімальної установки обмеженою заданим уповільненням (а) і структурна схема пристрою для його здійснення (b). V_d – дійсна швидкість, $V_3 = V_{3c}$ – задана швидкість зниження, V_{3n} - закон наростання швидкості, F_m - гальмівне зусилля.

Закон наростання швидкості може бути не меншим, прискорення вільного вибігу, а закон зниження відповідає заданому уповільненню. На рисунку 3.2b представлена структурна схема пристрою формування заданої діаграми швидкості гальмування за способом на основі нелінійного фільтру першого порядку. Обмеження уповільнень/прискорень задається нелінійним елементом (НЕ) типу “обмеження” сигнал на якому формується переключеннями і поступає на вхід інтегратора який і

формує задану діаграму швидкості. Ці рішення були змодельовані на обчислювальній машині та взяті за основу під час модернізації серійної системи.

Удосконалена система стала більш стійкою до високочастотних перешкод, завдяки чому вдалося позбутися динамічних перевантажень пов'язаних з механічними вібраціями. Технічні рішення були успішно випробувані на удосконаленій серійній системі АРЗГ на вертикальній багатоканатній підйомній установці шахти "Північно-песчанська" Богословського р/у ВО Уралруда ЦШ-4x4Р з радіальним гальмом.

Таким чином відмова від механічного акселерометру і перехід на керування по законам заданої швидкості спрощують систему і сприяють її надійності.

3.2 Застосування НФ для визначення динамічних координат руху.

Особливістю якісних систем керування рухомими об'єктами є необхідність контролю крім основної координати руху декількох її похідних. Наприклад, переміщення, швидкість, прискорення/уповільнення, ривок тощо [1,2]. В попередньому підрозділі описане використання НФ першого порядку для формування заданої швидкості з обмеженнями по прискоренню (там прийнятий вільний вібіг підйомальної судини (ліфту)) і за уповільненням (за регламентом Правил безпеки) [11]. Але при оптимально реалізованому способі керування складної динамічної системи при якому враховуються більш повно параметри самої системи і її привода можна отримати оптимальне за динамічністю (по швидкості і точності) керування. В [12, 13] запропоновані до використання алгоритми що спрямовані на багатокоординатне за динамікою керування для систем статичного і астатичного регулювання. Принципи запропонованого способу спрямовані на більш повне на основі другого закону Ньютона урахування параметрів системи для оптимізації динамічних режимів системи.

Основним способом досягнення результату є уповільнення ШПУ при одночасному обмеженні значень уповільнення і ривка від швидкості руху (основної координати) [10]. Обмеження уповільнення створює стабілізацію гальмівного моменту при запобіжному гальмуванні і не створює умов для збудження коливань пружної системи підйому, а обмеження ривка змушує лінійно змінювати гальмівне зусилля

узгодженнями з динамічними можливостями привода, що сприяє завадостійкості системи від зовнішніх завад.

Математичний опис функції рухомого об'єкту для складних систем з урахуванням пружностей багатомасових систем з розподіленими параметрами має високий порядок диференціального рівняння, що описує динаміку процесу. Наприклад, для врівноваженої багатоканатної системи (ліфта) не менше 8-го [18]. Тому для практичної реалізації зазначеного способу в технічних системах вона повинна бути апроксимована елементарною затухаючою гармонічною функцією основного тону, наприклад, 2-м порядком:

$$F_{appr}(t) = e^{-at} A_m \sin(\omega t + \psi) + y_{уст},$$

де: A_m – амплітуда, ω – частота, ψ – фазовий зсув, a – ступінь згасання коливань, $y_{уст}$ – усталене значення.

На основі апроксимованої функції обчислюються перелічені вище коефіцієнти по методіці [12, 13]. Заміна первинних параметрів руху, які складно контролювати, вторинними, частотними, дають можливість практично співпадаючих з первинними.

ВИСНОВКИ

На основі проведених досліджень, аналізу технічних рішень та отриманих експериментальних результатів що проведені можна зробити такі висновки:

1. системи контролю параметрів руху за останні роки постійно удосконалюються за принципами отримання результату, застосуванням новітніх матеріалів, сенсорних систем, космічних технологій;
2. сучасні цифрові і комп'ютеризовані системи контролю руху будуються на принципах АЦП-технологій;
3. при керуванні складними системами високої швидкості потрібно в законі керування використовувати похідні високих порядків, наприклад, першу та другу від основної координати руху;
4. керування складними системами підвищеної точності і швидкодії потребують відповідних принципів непрямого контролю одночасно по декількам координатам, похідним основної;

5. керування складними високоточними системами з порядком астатизму регулятора вище першого необхідно багатокординатне керування з непрямим контролем двох найближчих похідних основної координати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. David Eager, Ann-Marie Pendrill and Nina Reistad. Beyond velocity and acceleration: jerk, snap and higher derivatives (За скоростью и ускорением: рывок, щелчек и высшие производные) / 2016 IOP Publishing Ltd. European Journal of Physics, t. 37, #6
2. Солодовников В.В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования / В.В. Солодовников, В.Н. Плотников, А.В. Яковлев // М.: Машиностроение, 1985. – с. 155.
3. Абакумов В.Г. Электронные промышленные устройства. Киев, изд. "Вища школа", 1978, 376 с.
4. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. Под ред. Г.С. Бюшгенса. М.: Наука, Физматлит, 1998, – 816 с.
5. Бесекерский В.А. Динамический синтез гироскопической стабилизации / В.А. Бесекерский, Е.А.Фабрикант // – Л.: Судостроение, 1968. – 353 с.
6. Боднер, В.А. Системы управления летательными аппаратами [Текст] / В.А. Боднер. – М.: Машиностроение, 1973. – 506 с.
7. Протокол осциллографирования режимов предохранительного торможения подъемной машины 1×3х2У с АРПТ к "Акту приемки комплекса автоматически регулируемого предохранительного торможения шахтных подъемных машин (АРПТ)". ПО Донецкгормаш, Донецк, 13.09.1983 г.
8. Васильев В.И. Пути снижения динамических нагрузок в канатах шахтных подъемных установок системами автоматически регулируемого

- предохранительного торможения / В.И. Васильев // Стальные канаты: Сб. науч. тр. МАИСК. – Одесса: “Астропринт”, 2010, №8. – С. 18-29.
9. А.с. № 1296500 СССР, МКИ В 66 В 5/00 / Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины / Чермалых В.М., Васильев В.И., Матвиенко Н.П. Открытия. Изобретения.- 1987. - № 10.
10. А.с. № 1447743 СССР, МКИ В 66 В 5/00 /Устройство для управления приводом шахтной подъемной машины./Васильев В.И., Дубовик В.Г., Чермалых В. М. Открытия. Изобретения.- 1988. - № 48.
11. Васильев В.И. Применение нелинейных фильтров в системе управления предохранительным торможением подъемных установок / В.И. Васильев, Л.А. Козьякова, Е.И. Алтухов // Вестн. Киев. политехн. ин-та. Горная электромеханика и автоматика. - К.: 1984. – Вып. 15 – С. 13 – 15.
12. Спосіб гальмування шахтної підйомної установки. Патент України на винахід UA114179 / В.І.Васильєв, Є.В.Васильєв // Київ.:ДП “УПВ” (Укрпатент), опубл. 10.05.2017, бюл. № 9.
13. Спосіб оптимального керування астатичними системами. Патент України на винахід UA117229 / В.І.Васильєв, Є.В.Васильєв // Київ.:ДП “УПВ” (Укрпатент), опубл. 10.07.2018, бюл. № 13.
14. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова и Г.Г. Себрякова. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 280 с.
15. Гордин, А. Г. Беспилотные летательные аппараты как объекты управления [Текст] / А.Г. Гордин. // Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т “Харьк. авиац. ин-т”, 2000. – 140 с.
16. Васильев В.И. Оптимальное управление сложными динамическими системами / В.И. Васильев, Е.В. Васильев // East European Scientific Journal #5(45), 2019, p.32-44. Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland (Східноєвропейський науковий журнал #5(45), 2019, С.32-44) - https://eesa-journal.com/wp-content/uploads/EESA_may1.pdf
17. Vasyliiev, V.I. The method for optimal control of high precision quick scanning system. [Текст] / V.I. Vasyliiev, E.V. Vasyliiev // Радіотехнічні поля, сигнали,

- апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта) РТПСАС'2019: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 18–24 листопада 2019 р.). - Київ: 2019 – с.147-149 http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/1114/RTPSAS_2019_s5_t04.pdf
18. Васильев В.И. Оптимизация управления сложной электромеханической системой с распределенными параметрами [Текст] // Адаптивні системи автоматичного керування. Міжвідомчий науково-технічний збірник – 2013. – 1(22). – С. 95-101 – Режим доступу: <http://asac.kpi.ua/article/view/29085> .
19. Ориентация и навигация подвижных объектов / Под ред. Б.С. Алешина, К. К. Веремеенко, А. И. Черноморского. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 424 с.
20. Александровский Н.М. Элементы теории оптимальных систем автоматического управления // – М.: Энергия, 1969. – 128 с.
21. Словарь терминов по системам управления летательных аппаратов (СУЛА) / Кулик А.С., Гордин А.Г., Кортунов В.И., Симонов В.Ф., Соколов Ю.Н. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т “ХАИ”, 2000.
22. Ю. В. Байбородин и др. Бортовые системы управления полетом. – М.: —Транспорт, 1975, 336 с.
23. George M. Siouris. Aerospace Avionics Systems: A Modern Synthesis. – Academic Press, Inc., 1993, 466 p.
24. Len Buckwalter. Avionics Training: Systems, Installation and Troubleshooting. – Avionics Communication Inc., 278 p.
25. Дорф Р. К., Бишоп Р. Х. Современные системы управления. М : Лаборатория базовых знан., 2004. 832 с.
26. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. В.А. Бесекерский, Е.П. Попов // М., Наука, Гл. ред. ф.-м. литер. / 1975. –768 с.
27. Васильев, В.І. Дослідження способів оптимального керування динамічними системами. [Текст] / В.І. Васильев, Є.В. Васильев // Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи (теорія, практика, історія, освіта) РТПСАС'2014: Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 11–16 березня 2014 р.). - Київ: 2014 - с.51-53. http://conf.rtf.kpi.ua/attachments/article/260/RTPSAS_2014_s2_t2.pdf

