

- швидкість тактів обробки сигналів від датчиків та видачі заданих сигналів керування становить 1-2 мілісекунди;

- сучасні стандарти передачі даних використовують протоколи двостороннього інформаційного обміну між елементами системи у цифровому форматі.

Розробники повинні передбачити можливість вимірювання значень затримки в контрольних точках схеми. Вивід опорних строб-сигналів (наприклад, на вході та виході мікроконтролера, на вході в привод) для синхронізації початку реєстрації процесів різними приладами.

**Очікуваний ефект від запропонованих засобів.** Запропоновані вимоги до структурної та конструкційної побудови стендів для досліджень дозволяють скоротити терміни проектування складних систем керування літальними апаратами. Переліку необхідних вимог та параметрів, створює передумови для формалізації процесу проектування систем та контурів цифрового керування з заданими показниками якості.

#### Список використаних джерел

1. Башта Т.М. Гидравлические приводы летательных аппаратов/ Т.М. Башта. - М.: Машиностроение, 1967.- 495с.
2. Бесекерский В.А. Микропроцессорные системы автоматического управления / В.А. Бесекерский, Н.Б. Ефимов, С. И. Зиатдинов. – Л.:Машиностроение, 1988. – 365 с.
3. Изерман Р. Цифровые системы управления. – М.: Мир, 1984. – 541 с.
4. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни Системи керування електроприводами (для студентів 4 курсів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050702 – "Електромеханіка"). - Харків – ХНУМГ – 2013
5. Орловський І.А., Горобець Є. І. Управління у технічних системах.- 2014. - УДК 681.5.01.23.
6. Степанець О.В., Каракой А.В., Розробка нечіткого регулятора для задачі забезпечення температурної складової комфортного мікроклімату. - УДК 621.311:681.5. - DOI: 10.15587/2312-8372.2016.59037.
7. Устименко Д.В., Сучасні мікроконтролери в схемах рухомого складу. - УДК 629.4.05.- 2014.

#### УДК 62.525

**Ганпанцурова О.С.,** к.т.н., доц., **Беліков К.О.,** к.т.н., ст.викл., **Муращенко А.М.,** к.т.н., ст.викл., **Губарев О.П.,** д.т.н., проф.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м.Київ, Україна

### ІНВАРІАНТ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОДУЛІВ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

**Анотація.** Робота присвячена розробці узагальненої моделі функціональних модулів мехатронних систем в алгоритмах керування на основі циклічно модульного підходу. Основною задачею є інваріантне зображення існуючого різноманіття пневматичних і гідравлічних пристроїв автоматизації та алгоритмічних компонентів при розробці алгоритмів керування. Запропоновано бінарно-циклічний інваріант з керованими потоками активізації і контролю стану. Показано можливість врахування асинхронних та не детермінованих у часі дії функціональних модулів. Побудовано приклади представлення пневматичних, гідравлічних і інформаційних компонентів у вигляді запропонованого інваріанту. Застосування однорідного представлення елементів системи в алгоритмі керування дозволяє спростити процедури укладання і тестування алгоритмів керування мехатронних систем.

**Ключові слова.** Мехатроніка, циклічний модуль, виконавчий пристрій, алгоритм керування.

**Формулювання проблем та актуальність.** В більшості алгоритмів керування мехатронних систем можна окреслити дві групи типових компонентів: 1 – логіка впорядкування змістовних дій, 2 – забезпечення виконання змістовних дій. Перша група, по-перше, є похідною від автоматизованої технології, по-друге – застосованого підходу до побудови алгоритму керування або структури системи. Ця група, за умов відповідності щодо обраного інваріанту системи та її фізичного прототипу, має здебільшого однорідний склад. Основна функція її компонентів може бути визначена, як поєднання контрольованих завершень попередніх дій з

активізацією наступних дій без точок проміжного контролю чи координації. Друга група відрізняється різноманіттям, відповідно до застосованих в технології виконавчих пристроїв або підсистем, що виконують окремі технологічні функції чи операції. Ступінь однорідності першої групи з ступенем різноманіття другою групи, опосередковано, можна оцінити співвідношенням, наприклад, кількості мов для програмування алгоритмів керування і кількістю пристроїв в каталогах продукції провідних фірм-розробників засобів автоматизації, що використовує мехатроніка [1,2,3]. Таким чином, перед розробником системи керування, виникає задача коректного і прогнозованого поєднання цих двох компонентів в спільному алгоритмі керування.

**Мета та задачі.** Метою роботи є уніфікація представлення компонентів мехатронних систем в алгоритмах керування та скорочення термінів укладання і тестування алгоритмів керування шляхом розробки інваріантного елементу системи та методик його використання для типових виконавчих пристроїв мехатроніки. *Задачею є* розроблення структури інваріантного елементу з врахуванням особливостей засобів гідропневмоавтоматики.

**Інваріант функціональних модулів** – це абстрактна модель фрагменту системи, якій притаманні основні системні властиві - циклічність, продуктивність та логічна визначеність.

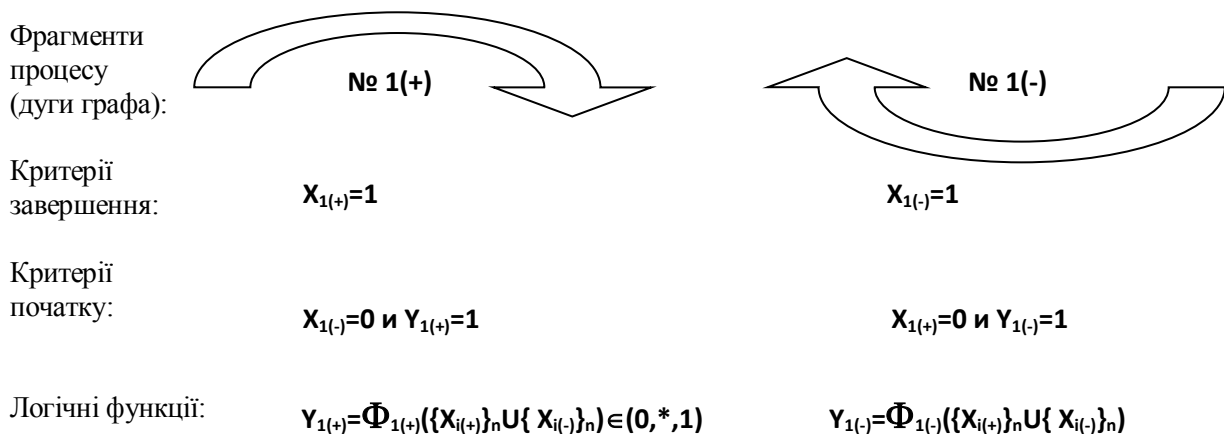
Циклічність дозволяє відійти від розгляду всього процесу функціонування до вивчення одного циклу. Завершення циклу має формувати властивість продуктивності – отримувати відокремлений від системи результат. Ці дві властивості формують виробничий процес. Властивість логічної визначеності забезпечує автономне існування системи, що разом з властивістю продуктивності робить виробничий процес цілеспрямованим. Тобто, кожного моменту система містить інформацію, достатню для визначення та здійснення наступних дій.

Наявність перелічених властивостей в кожному модулі системи призводить до наявності тих самих властивостей при додаванні модулів один до одного. Таким чином перелічені властивості в розроблюваній системі не досліджуються чи тестуються, а формуються при кожному коректному додаванні наступного модуля.

Процес функціонування модуля є циклічним і містить протилежно спрямовані фрагменти процесу - дії або операції, які є несумісними у часі. Мінімальна кількість таких дій в одному модулі дорівнює двом – модуль повинен виконати роботу і повинен повернутися в початковий стан.

Фрагменти процесу, як кільця в ланцюгу, з'єднані між собою – завершення одного – обов'язково є початком наступного. Тобто для кожного фрагменту можна вказати чи детермінувати точку початку і точку завершення. Співпадіння координат цих точок забезпечує коректне з'єднання елементів системи. У якості координат виступають певні логічні умови, однозначність яких забезпечує логічна визначеність. Для кожного фрагменту, за допомогою логічних функцій, можна вирахувати наступний фрагмент. Аргументами функції є логічні змінні, що є віддзеркаленням стану системи та її модулів.

Графічні і аналітичні засоби, побудовані на основі переліченого, забезпечують перехід від мовного опису до формального і графічного представлення циклічного модуля системи.



З'єднання фрагментів (вершини з'єднання дуг):

ЯКЩО:

$$X_{1(-)}=1$$

ТА

$$Y_{1(+)}=\Phi_{1(+)}(\{X_{i(+)}\}_n \cup \{X_{i(-)}\}_n)=1$$

ЯКЩО:

$$X_{1(+)}=1$$

ТА

$$Y_{1(-)}=\Phi_{1(-)}(\{X_{i(+)}\}_n \cup \{X_{i(-)}\}_n)=1$$

На відміну від дуг, вершини мають складний устрій – вони мають презентувати властивості двох фрагментів – дуг. Приналежність до попередньої дуги – критерій її завершення ( $X_{1(-)}=1$ ). Приналежність до наступної дуги критерій її започаткування ( $Y_{1(+)}=\Phi_{1(+)}(\{X_{i(+)}\}_n \cup \{X_{i(-)}\}_n)=1$ ).

Дуги-дії зображають властивість продуктивності – кожна основна дія наближає вироб до кінцевого вигляду, кожна зворотня або інверсна дія готує систему до наступного примірника виробу: Опис інваріанта циклічного модуля вміщує дві симетричні за устроєм частини – фрагменти основної та зворотної дій (рисунок.1). Безпосередньо циклічний модуль мехатронної системи може бути як значно простішим (елемент пам'яті в алгоритмічній мові), так і набагато складнішим (слідкуючий трикоординатний привод).

Деякі з компонентів модуля можуть бути відсутніми (виродженими), або мати вигляд самостійної складної системи. Але у всіх випадках модулі мають стандартну структуру інваріанту, що дозволяє синтезувати системи та додавати до них нові модулі не зважаючи на особливості певних пристроїв та підсистем, концентруючись на конкретному з'єднанні “контактів” всіх модулів системи.

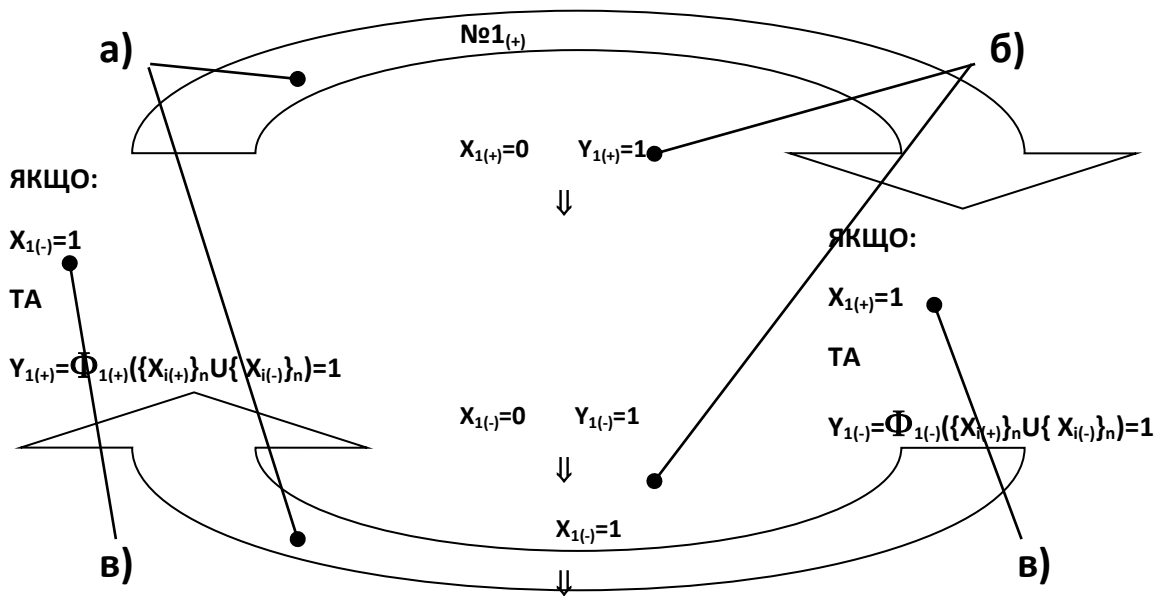


Рис.1(+) Схема інваріанту циклічного модуля мехатронної системи та його зображення:



**Висновки.** За наведеним підходом, на основі інваріанту модуля, розроблено приклади функціональних модулів мехатронних систем та системи керування із застосуванням схемних та алгоритмічних компонентів [4,5,6]. Перелік прикладів налічує від найпростіших (модулі елемента пам'яті в алгоритмічних мовах LD, ST, STL, в засобах дискретних пневмоавтоматики і гідроавтоматики), до таймерів, лічильників і підпрограм в інформаційних компонентах, елементів пам'яті в релейно-контактних схемах та пневматичних і гідравлічних виконавчих пристроїв дискретної дії, а також приклади з використанням пропорційної гідравліки та агрегатів декількох виконавчих пристроїв, наприклад, маніпулятори, завантажувачі, конвесери відповідні схеми і алгоритми керування [4].

## Список використаних джерел

1. H.A. ElMaraghy and T. AlGeddawy. *Co-evolution of products and manufacturing capabilities and application in auto-parts assembly / Flexible Services and Manufacturing Journal.*, 2012, vol. 24, no. 2, pp. 142–170.
2. Burennikov, Y., Kozlov, L., Pyliavets, V., & Piontkevych, O. (2017, June). *Mechatronic Hydraulic Drive with Regulator, Based on Artificial Neural Network.* In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 209, No. 1, p. 012071). IOP Publishing.
3. Chałajdzy W. *Strukturalna synteza sprzętu do pakowania zbiorczego / W. Chałajdzy, M. Iakymchuk, A. Gavva // Opakowanie.* — 2014. — №8. — С. 65 – 70.
4. *Мехатроніка: циклічно-модульний підхід до вирішення практичних задач автоматизації / О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова.*- К.: НТУУ «КПІ», 2016.- 160с.:
5. Губарев О.П., Ганпанцурова О.С. “Дискретні системи керування гідропневмоавтоматики” (частина 4 Пропорційна гідраліка) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності “Гідралічні і пневматичні машини”. - Київ: НТУУ «КПІ». - Вид. Біла Церква: ВАТ “Білоцерківська друкарня”. - 2009.- 56с.
6. Губарев О.П., Левченко О.В., Ганпанцурова О.С. “Дискретні системи керування гідропневмоавтоматики” (частина 1 - Пневмоавтоматика) Методичні вказівки до лабораторних робіт, для студентів спеціальності “Гідралічні і пневматичні машини”. - Київ: НТУУ «КПІ». - Вид. Біла Церква: “БК Нафтохім-Аваль”. - 2007.- 52с.

УДК 536.24

Муращенко<sup>1</sup> А.М., к.т.н, ст. викл., Губарев<sup>1</sup> О.П., д.т.н., проф., Тижнов<sup>2</sup> О.В.

<sup>1</sup>КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

<sup>2</sup>ДП «АНТОНОВ», м. Київ, Україна

## ВРАХУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РІДИНИ ТА МАТЕРІАЛУ СТІНКИ КАНАЛІВ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНОМУ РОЗРАХУНКУ МОБІЛЬНИХ ПРИВОДІВ

*Анотація.* Мобільні гідроприводи експлуатуються в різних неізотермічних режимах. Для цього в попередніх розрахунках конструкцій було враховано всі показники, що можуть впливати на зміну робочої характеристики, а саме по етапу: тепловий розрахунок, конструктивний, гідралічний. Для врахування неізотермічних процесів запропоновано алгоритм послідовного розрахунку характеристик потоку рідини в гідралічному каналі при різних температурах.

*Ключові слова:* теплообмін, мобільний привод, перехідні режими, нестационарний розрахунок

Розглянута задача визначення часу стабілізації швидкості рідини в гідроприводі при перехідному процесі з можливістю подальшого використання розрахунку для різних типів каналів та різних температурних умов експлуатації мобільного приводу. Проведено ряд розрахунків з різними рідинами, різними умовами температурними, з різними геометричними параметрами каналів [1,2]. При врахуванні параметрів, що залежать від зміни температури в більшості джерел коефіцієнт теплопередачі  $k_i$  приймають дещо в скороченій формі для спрощення розрахунків, а це при перехідних процесах дає більшу похибку розрахунку. Коефіцієнт теплопередачі  $k_i$  (Вт/(м<sup>2</sup>•°С)), який враховуємо при зміні температури [3,4]:

$$\Delta t = T_p - T_c = \frac{Q_c}{\left(\sum S_i \cdot k_i\right)}, \quad (1)$$

визначаємо як:

$$k_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{cm}} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_{н.с.}}}, \quad (2)$$

де –  $\lambda_{cm}$  коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки Вт/(м•°С);  $\delta_{cm}$  – товщина стінки,  $\alpha$  – відповідні коефіцієнти теплопровідності матеріалу від стінки до рідини, стінки та навколишнього середовища.