

**Ганпанцурова Оксана Сергіївна**, к.т.н., доцент, **Мурашенко Альона Миколаївна**, к.т.н., ст. викл., **Беліков Костянтин Олександрович**, к.т.н., ст. викл., **Губарев Олександр Павлович**, д.т.н., проф.  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

## Уніфікована структура циклічного модуля для систем з відкритою архітектурою

***Анотація.** Виконано аналіз структури узагальненого процесу виготовлення продукції і структури циклічного модуля мехатронної системи. Визначено, що для побудови коректної структури системи з циклічних модулів може бути використано інформаційний та матеріальний обмін між складовими системи під час виробничого процесу. Запропоновано додати до логічних умов команд керування циклічних модулів складову, що відповідає за взаємодію з оточуючим середовищем. Розроблено логічну схему циклічного модуля із зворотнім зв'язком за станом. Побудовано, за результатами аналізу процесу взаємодії суміжних модулів, уніфіковану структуру циклічного модуля, в якій не передбачено фіксації модулів партнерів у виробничому процесі.*

***Ключові слова:** циклічний модуль, модульна станція, мехатроніка, циклічний процес, логічна визначеність.*

Наразі спостерігається розповсюдження підходів платформи Industry 4.0 в різноманітних технічних напрямках та засобах мехатроніки. Значний клас мехатронних систем можна охарактеризувати як технічні об'єкти з розподіленою системою керування, у тому числі з розподіленим інтелектом. При побудові таких систем поширене використання модульного підходу, який передбачає надання певної функціональної та інтелектуальної автономії окремим модулям. Це потребує наскрізного тестування зв'язків між діями складових системи в процесі експлуатації, що призводить до суттєвих втрат часу та зводить можливість багатофункціональних систем. Однією з особливостей систем з відкритою архітектурою можна вважати контекстне визначення траєкторії процесу та задіяного комплекту обладнання по відношенню до мети процесу експлуатації. Будова системи з циклічних модулів обумовлює певну структуру логічних умов щодо активізації модулів в експлуатаційному процесі – залучення модуля до процесу дій системи, наданих у формі логічних умов до формування сигналів команд керування виконавчими пристроями чи підсистемами.

В основу досліджень покладено визначення особливостей структури процесу інформаційного і фізичного обміну між суміжними частинами системи. Такий обмін здійснюється на початку та наприкінці взаємодії модулів чи модульних станцій.

Спрощено функціонування окремої модульної станції відповідає схемі зі зворотнім зв'язком за станом (рис. 1). Початок дій – блок 1 і перехід 2. Зовнішні зв'язки модуля контролюють отримання напівфабрикату, система енергозабезпечення робить станцію потенційно активною. Вузол 3, зосереджений в «інтелекті» модульної станції, порівнює факт наявності напівфабрикату на вході (перехід 2), енергозабезпечення (блок 1) та готовність обладнання станції до відпрацювання операції (перехід 8). Відпрацювання змісту операції (блок 4) забезпечують дії виконавчих пристроїв, що є інформаційно замкненими на «інтелект» засобами контролю і керування. По завершенні операції (вузол 5) зовнішні зв'язки дають дозвіл на відвантаження (блок 6), і налаштування на повторювання операції (блок 7). Результати отриманих налаштувань (перехід 8) підлягають порівнянню з очікуваними за допомогою «інтелекту» станції (вузол 3), що надає необхідні умови до наступних дій. Надання системі формату комплекту циклічних модулів базується на розподілі технологічного процесу на контрольовані та керовані відрізки (операції, дії). Склад модульної станції має забезпечувати її функціонування у відповідності зі схемою. При цьому задача об'єднання станцій в систему залишається логічно невизначеною. Для розв'язання задачі логічної визначеності проаналізовано зв'язки операцій в технологічному процесі. Використано, що

переходу між станціями відповідає стрибок функції формування виробу. Цьому на схемі станції відповідають два елементи (поз. 1 і 6, рисунок 1). Додатковою умовою переходу є те, що станція зможе отримати напівфабрикат тільки у тому випадку, коли вона для цього підготована (поз. 3, рисунок 1). Якщо в станції не підтверджено готовності до повторного

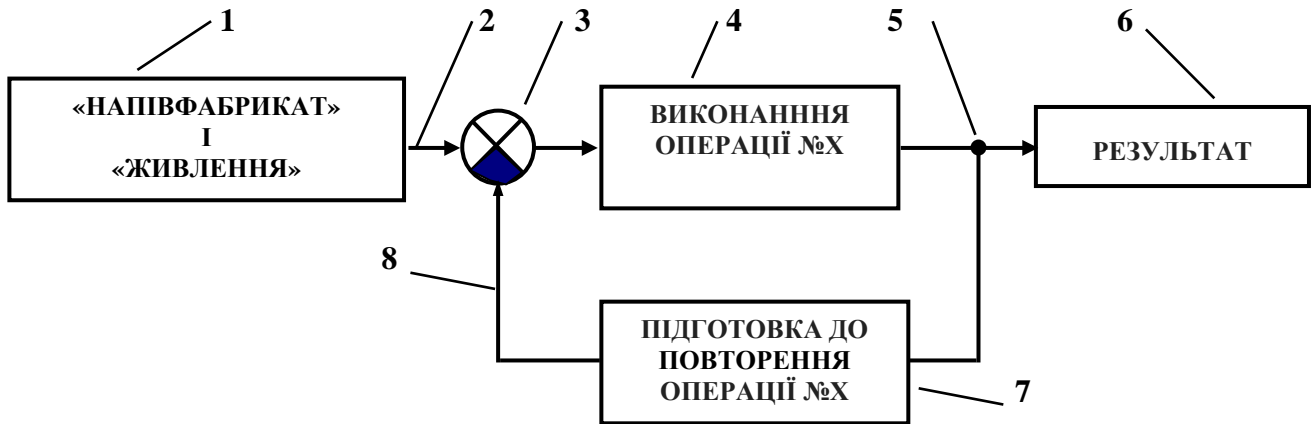


Рис. 1 – Функціональна схема модульної станції зі зворотнім зв'язком за станом станції

відпрацювання операції (поз. 8), то вузол 3 не допустить завантаження напівфабрикату, а це засвідчить, що відвантаження напівфабрикату з попередньої станції також не можливе. Тобто у вузлу 3 зосереджено взаємний двох станцій, і перехід процесу між ними буде дозволено тільки за виконання логічної умови.

Порівняння схем станції і процесу системи дозволило перейти до опису інформаційного і фізичного обміну між станціями у вигляді логічних умов. Результати виконаного аналізу дозволили уточнити структурну схему циклічної модульної станції. Додаються відповідні компоненти в логічні умови команд керування – для забезпечення інформаційного обміну між станціями та диверсифікацію суміжних станцій в технологічному ланцюгу (рисунок 1). Це призводить до змін у структурі логічних команд керування, а саме – додаються умови активізації модуля за запитом із зовнішнього середовища – суміжної ланки за технологічним процесом:

$$y_{i(5)} \Leftarrow \bigcup_{v} \bigcup_{k=1}^m [ \bigcap_{p} ((x_{k,1(i)} * x_{k,ext(i)} + \{x\}_{k,lc})_p * \dots * (x_{k,n(i)} + \{x\}_{k,nc})_p * \{x\}_{k-\bar{k}})_p ] * \{x\}_{k-\bar{m}} ,$$

де  $x_{k,ext(i)}$  – логічна умова на запит результату дій і-го модуля в оточуючому середовищі.

Властивість логічної визначеності є передумовою до створення модуля, (рис. 2). Тобто в модулі є достатня інформація для вибору наступної дії, а вибір і впорядкованість залучення модулів до процесу обумовлено внутрішньою логікою системи, яка є структурованою моделлю виробу. Наявність альтернативного вибору, робить процес взаємодії модулів відкритим, в якому час від часу виникають модулі-партнери, що не є зафіксованими парами. В той же час залишається поза увагою продуктивність – корисний результат, що є необхідним для дій інших модулів системи.

Продуктивність інтерпретована, як замовлення результату дій модуля оточуючим середовищем (ОС). Корисною дією є передача продукції від однієї модульної станції до іншої, аж до відвантаження готової продукції до ОС. Тобто, наявність замовлення певного типу і кількості продукції є передумовою її виготовлення (рис. 3). Оскільки модульна станція належить до системи з відкритою архітектурою, то кількість виконавців однієї функції може варіюватися. В цьому випадку до факту наявності замовлення потрібен факт прийняття

замовлення саме цією станцією. Після цього можна вважати, що одна станція зарезервована в якості виробника, а інша станція зарезервована у якості замовника.

Інформаційний обмін сформовано у вигляді системи з двома альтернативними переходами. Результати діалогу містяться в масиві пар двійкових змінних. Перша

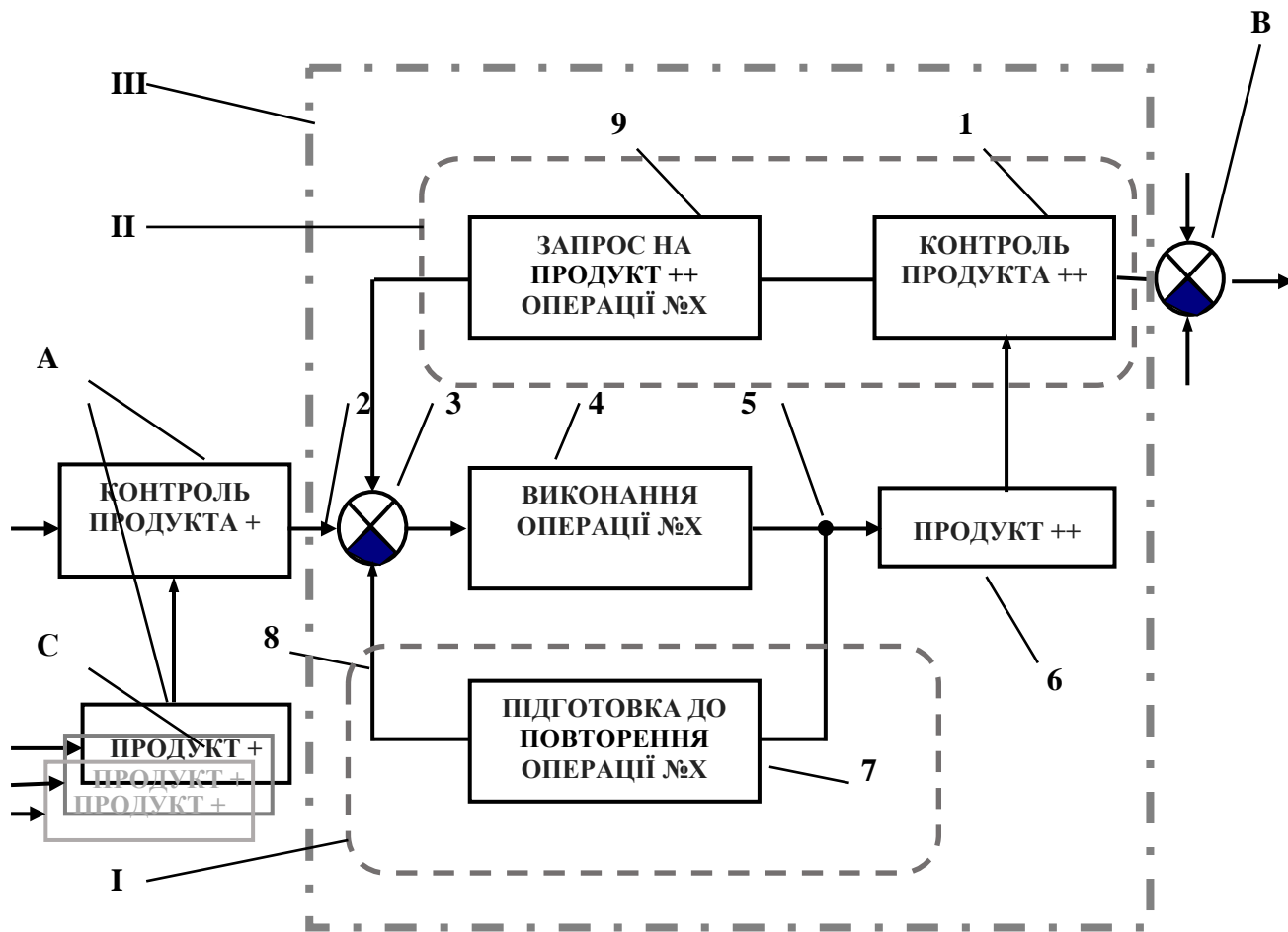


Рис. 2 – Структурна схема модульної станції (III) з внутрішнім від’ємним зв’язком за станом (I), зовнішнім зворотнім зв’язком за вимогою/виконанням (II), А – фрагменти структури попередньої станції, В – фрагменти структури наступної станції, С – диверсифікація отримання компонентів продукції, 1 – 9 – компоненти циклічної модульної станції, що виконує операцію №X

альтернатива спрямована на затвердження переданого і сприйнятого замовлення, наприклад, змінні в рядку мають значення  $\{1,0 : 0,0\}$ , де перша одинична змінна вказує на наявність замовлення, а 0 значення другої змінної не підтверджує прийняття замовлення, тобто зворотній зв’язок ще не спрацював. Після підтвердження виробником отримання замовлення друга змінна приймає одиничне значення:  $\{1,1 : 0,0\}$ , що засвідчує спрацювання зворотного зв’язку. Наявність двох одиничних значень в першій парі змінних є умовою для переходу до другої альтернативи.

Друга альтернатива спрямована на підтвердження факту прийняття замовлення. За значенням рядку  $\{1,1 : 0,0\}$  відбувається другий альтернативний перехід – виробник надає замовнику інформацію щодо готовності прийняття замовлення до виконання:  $\{1,1 : 1,0\}$ . Зворотній зв’язок має підтвердити, що виконання замовлення закріплено саме за цим виробником:  $\{1,1 : 1,1\}$ . Після спрацювання зворотного зв’язку відбувається відпрацювання замовлення – станція починає реалізацію технологічного процесу, завершенням якого є фізичний обмін – станція виробник надає станції замовнику очікуваний виріб.



Таким чином діалог з ОС виконано у вигляді двох альтернативних гілок. Перша гілка здійснює передачу і контролює сприйняття замовлення від станції до ОС. Якщо замовлення сприйняте, то станція, оминаючи першу альтернативу, відпрацьовує другу альтернативу – в даному випадку – отримання замовлення від ОС. Якщо замовлення виконано, то станція оминає другу альтернативу і відпрацьовує технологічний процес. Якщо спроба отримати заготовку відбулась марно (схват спрацював, а заготовка не отримана), зворотній зв'язок запускає альтернативу другого переходу з відміною замовлення. Далі станція формує нове замовлення. Діалог між станцією та ОС може здійснюватися, наприклад, таким чином.

Формування запиту  $\{0,0 : 0,0\} \rightarrow \{1,0 : 0,0\}$  та відправлення в ОС з контролем терміну

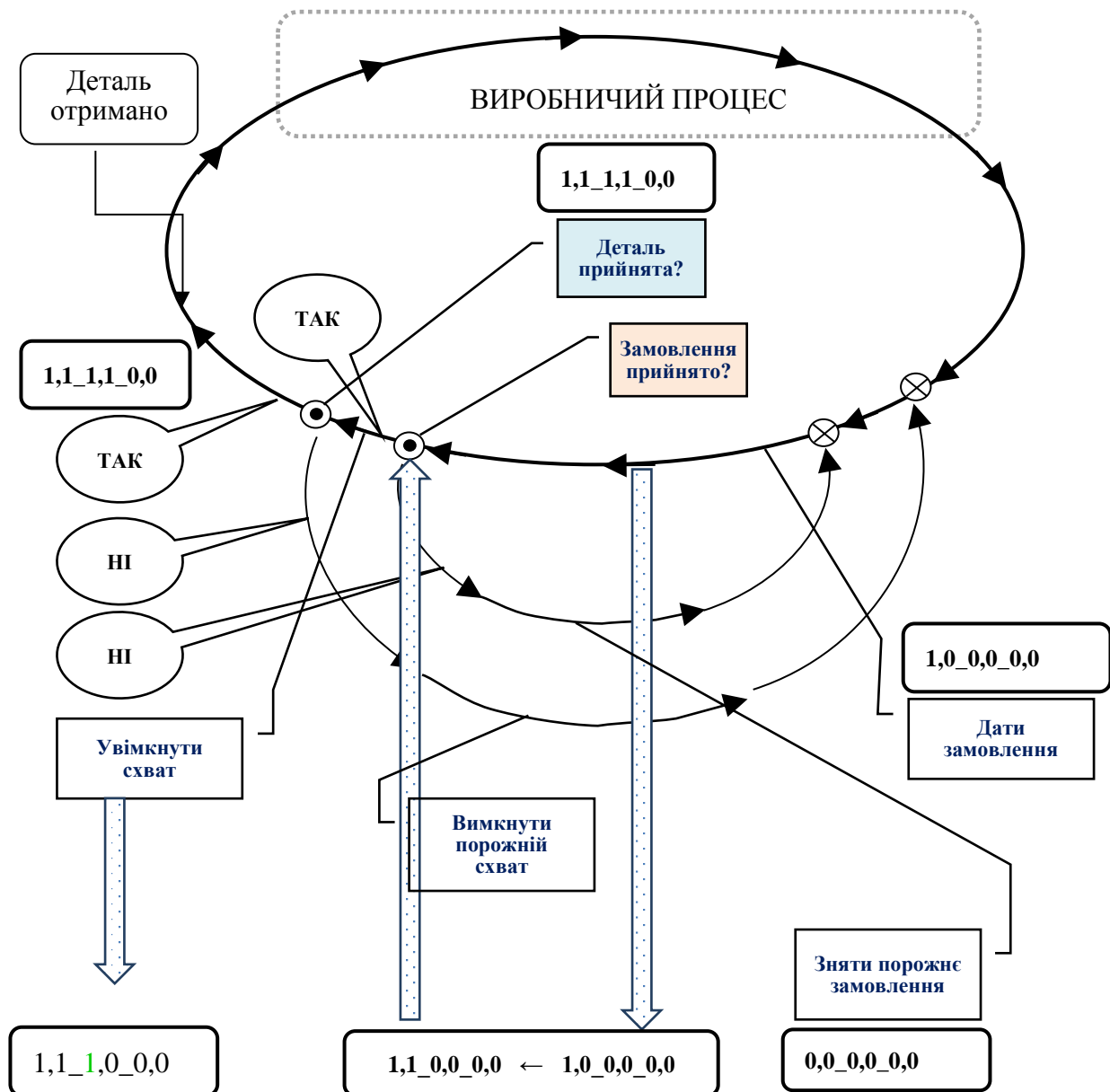


Рис. 3 – Функціональний граф системи з двома альтернативними підпроцесами інформаційно-фізичного обміну з оточуючим середовищем (ОС) по замовленню/отриманню замовлення: рядок обміну X,X\_X,X\_X,X – шестисимвольний з трьома групами, перший символ групи – запит, другий символ групи - відповідь ОС, перша група – подача/отримання запиту, 2-а група – підтвердження замовлення, 3-а група – резервна (код виконавця замовлення)

очікування відповіді  $\Delta t$ . Якщо за термін  $\Delta t$  відповідь було отримано, то відбувається зміна значення рядка діалогу:  $\{1,0 : 0,0\} \rightarrow \{1,1 : 0,0\}$  (запит сприйнятий). Інакше (час вибіг) значення рядка не змінюється  $\{1,0 : 0,0\}$ , станція формує новий запит. Якщо запит сприйнятий, то станція здійснює спробу отримати заготовку  $\{1,1 : 0,0\} \rightarrow \{1,1 : 1,0\}$ , з контролем терміну очікування заготовки  $\Delta t$ . Якщо за встановлений термін заготовку отримано, то відбувається зміна значення рядка діалогу:  $\{1,1 : 1,0\} \rightarrow \{1,1 : 1,1\}$  (запит задовільнено). Інакше (час вибіг без заготовки) значення рядка не змінюється  $\{1,1 : 1,0\}$ , станція формує новий запит.

Всі переходи, окрім альтернативних, відбуваються безумовно і надають певний результат з ОС в вершину альтернативного вибору. На цих переходах, з врахуванням інформаційного впливу ОС, виконуються зміни значень рядка інформаційного обміну. Наявність в модулі власної системи моніторингу внутрішнього стану і власного інтелекту, що визначає функції модуля і регламентує інформаційний обмін з оточуючим середовищем, роблять інваріант придатним для створення мехатронних систем з відкритою архітектурою. Таким чином циклічно модульний підхід враховує таку особливість систем з відкритою архітектурою, як контекстне визначення траєкторії процесу та задіяного комплексу обладнання по відношенню до мети процесу експлуатації або виробленої продукції.

#### Список використаних джерел

1. Губарев А. П. Дискретно-логическое управление в системах гидропневмоавтоматики: Учебное пособие. – К.: ИСМО, 1997. – 224с. – ISBN 5-7763-8725-6.
2. Яхно О. М., Узунов А.В., Луговской А.Ф. и др. Введение в мехатронику : Учеб. Пособие для студ. спец. «Гидравл. и пневмат. машины», «Прикладная механика» /. – К.: НТУУ "КПИ", 2008. – 528 с.
3. Функціональні модулі систем мехатроніки з пневматичними, електромеханічними та гідравлічними виконавчими пристроями: для виконання графічно-розрахункових, курсових та дипломних робіт, групових лабораторних робіт, самостійних робіт, пов'язаних з розробкою, проектуванням, макетуванням і випробуванням мехатронних систем керування [Електронний ресурс] :навч. посіб. для студ. Спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» та освітньої програми «Автоматизовані і роботизовані механічні системи»/ О.П. Губарев, О.С. Ганпанцурова, К.О. Беліков, А.М. Муращенко; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 14,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 104 с.
4. Andreja Rojko. Industry 4.0 Concept: Background and Overview / Andreja Rojko // iJIM Vol. 11, No. 5, 2017, p. 77-90. eISSN: 1865-7923 <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>
5. Burennikov Y. Mechatronic Hydraulic System with Adaptive Controller on the Basis of Neural Networks / Kozlov L., Burennikov Y. // Universitatea Tehnica “Gheorghe Asachi” din Iasi Tomul LXI (LXV), Fasc. 1-2, 2015 – P. 132-151.
6. Gavva A. Structural-parametric synthesis of a hydro-mechanical drive of lifting mobilizing mechanism of packet-configuring machines / A. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina, N. Yakymchuk // Східно-Європейський журнал передових технологій (Applied mechanics). – Харків, 2017. – 5/7 (89) 2017. – с.38-44.
7. Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects.- GmbH & Co. KG. Printed in Germany, 2018 Y. Sokol, M. Cherkashenko, ets
8. T.Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser. Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung Technologien Migration. Springer-Verlag, 648 s., 2014.