

УДК 62-525

О. П. ГУБАРЕВ, О. С. ГАНПАНЦУРОВА**АДАПТАЦІЯ ЛОГІКИ КЕРУВАННЯ ПНЕВМАТИЧНИМ ВИКОНАВЧИМ МОДУЛЕМ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ**

Розглянуто можливість залучення до системи керування мехатронного модуля функції напрацювання умовного рефлексу за результатами ефективних та непродуктивних дій модуля. Запропоновано для цієї функції використовувати структурований об'єм пам'яті, що відображає співвідношення позитивних та негативних результатів в діях модуля. Запропоновано циклічну функцію генератора чисел, синхронізованого з власною частотою опрацювання сигналів. Розроблено методику розрахунку логічної інерційності функції керування за порівнянням пам'яті у зворотному відліку для альтернативних варіантів дій модуля.

Ключові слова: логічна адаптивність, мехатронний модуль, пневмопривод, функціональний граф, пам'ять системи.

Рассмотрена возможность использования в системе управления мехатронного модуля функции наработки условного рефлекс по результатам эффективных и непродуктивных действий модуля. Предложено для данной функции использовать структурированный объем памяти, который отображает соотношение положительных и отрицательных результатов в действиях модуля. Предложена циклическая функция генератора чисел, синхронизированного с собственной частотой обработки сигналов. Разработана методика расчета логической инерционности функции управления по сравнению памяти в обратном отсчете для альтернативных вариантов модуля.

Ключевые слова: логическая адаптивность, мехатронный модуль, пневмопривод, функциональный граф, память системы.

It has been analyzed the possibility of using the function of conditioned reflex development in the control system of the mechatronic module. The conditioned reflex develops on the results of effective and ineffective actions of the module. The pneumatic executive module, which unloads parts from the working area, has been considered as an example. The module consists of three pneumatic actuators. Their sequential actions lead to the implementation of the technological operation. The cause of alternative actions is the competition between the signals on the time of their appearance. It has been proposed to use the structured memory as a theoretical basis for developing the conditioned reflex. The memory is structured on a logarithmic scale with a countdown of events. The memory displays quantitative and qualitative ratio of positive and negative results of actions of the mechatronic module. The two-component structure of the logic commands has been formed. The structure consists of deterministic and probabilistic components. The cyclic function of the number generator has been proposed for the calculation of the probabilistic component. The number generator operation is synchronized with the natural frequency of the signals processing in the system. The values of the generated numbers are limited by the volume of the memory. The technique of calculation of the logical inertia of the probabilistic component has been developed.

Keywords: logical adaptation, mechatronic module, pneumatic drive, functional graph, system memory.

Вступ. Поширення мехатронних засобів автоматизації із пневматичними та гідравлічними виконавчими пристроями, які є чутливими до терміну експлуатації, змін умов та режимів використання, неможливо без створення алгоритмів адаптивного керування, які враховують або реагують, різними способами, на вплив зовнішніх та внутрішніх факторів, що є однією з ознак платформи Industry 4.0 при створенні систем з відкритою архітектурою [1–3]. На відміну від задач параметричної адаптації, з пошуком раціональних параметрів для оптимального керування виконавчим пристроєм, певне коло задач потребує динамічної зміни алгоритму керування, у тому числі із заміною не тільки алгоритму, а й критеріїв пошуку раціонального рішення. До такого класу належить задача керування з напрацюванням умовного рефлексу в залежності від ефективності дій автоматизованого модуля. Система, що вміщує такий алгоритм, підлагоджує послідовність дій за критерієм прогнозованого збільшення позитивного ефекту.

Аналіз літературних джерел. В основу запропонованого підходу покладено системну складність, яку трактовано як інерційність з умов збереження цілісності системи [4–6]. Інерційність щодо вибору конкретної дії модуля розподілено за його типовими реакціями відповідно до типів збуджуючих факторів. Відносна частка інерційності формує інерційну складову сигналу керування по відношенню до кожного типу збудження, для чого побудовано двокомпонентну детерміновано-ймовірнісну логічну форму команд керування [7].

Детермінована складова команд керування відповідає обраній дискретно-логічній моделі системи і може бути отримана за відомими методиками [8, 9, 10]. Ймовірнісна складова найчастіше визначається з використанням нечіткої логіки, нейронних мереж, нечітких множин та інших підходів до побудови інтелектуальних систем [11–14]. У той же час є передумови для розрахунку логічної інерційності за поточним станом пам'яті системи щодо минулих дій з використанням визначення складності та кількості інформації [4, 5, 11].

Основна частина. Розглянуто, в якості прикладу, модуль, що складається з трьох виконавчих пристроїв – пневматичний маніпулятор відвантажувального механізму (рис. 1). Пристрій може виконати змістовну дію Z_1 , а після її виконання може повернутися у вихідний стан, тобто виконати зворотну дію Z_1 . Успішне виконання дії супроводжує одиничне значення зовнішнього сигналу $\varphi(Z_1)$, яке підтверджує отримання вантажу. Модуль починає виконувати основну дію за одиничним значенням сигналу команди керування y_1 . За цим сигналом маніпулятор входить до робочої зони (команда $Y1$), опускає схват (команда $Y2$), затискає вантаж (команда $Y3$). Аналогічно – для зворотної дії – поверненням у вихідний стан керує сигнал команди y_1 . За цим сигналом схват підіймає вантаж, переміщує його поза робочу зону, опускає схват, вивільняє вантаж та підіймає схват.

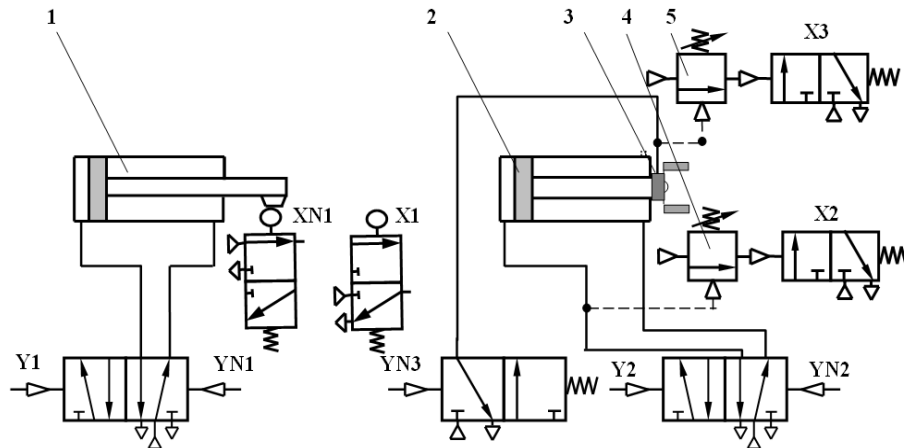


Рис. 1 – Приклад схеми модуля пневматичного маніпулятора:

1 – пневмоциліндр горизонтальної подачі; 2 – пневмоциліндр вертикальної подачі; 3 – пневматичний схват; 4 та 5 – реле тиску; сигнали керування та стану: Y1, YN1 – сигнали керування приводу горизонтальної подачі, X1, XN1 – сигнали контролю положення приводу горизонтальної подачі, Y2, YN2 – сигнали керування приводу вертикальної подачі, X2 – сигнал контролю нижнього положення, YN3 – сигнал керування схвата, X3 – сигнал контролю утримання вантажу

Розглянуто варіанти дій модуля, які викликані різним часом надходження зовнішніх сигналів. Поштовхом до одиничного значення сигналу команди є зміни стану оточуючого середовища, які система отримує у вигляді змін значень бінарних сигналів x_{s1} та x_{s2} . Сигнал x_{s2} є більш швидким, а сигнал x_{s1} – повільним. Наприклад, сигнал x_{s2} – це звук, який виникає при пересуванні вантажу до робочої зони. Сигнал x_{s1} засвідчує, що вантаж вже знаходиться в робочій зоні.

Виконавчий пристрій – маніпулятор – повинен як найшвидше прибирати вантаж з робочої зони. Якщо орієнтуватись тільки на звук пересування вантажу, то схожий звук може надходити від руху інших предметів та механізмів, що працюють в оточуючому середовищі. Якщо орієнтуватись тільки на наявність вантажу, то збільшується час його відвантаження, тобто система втрачає продуктивність. За звуковим сигналом система працює «на випередження». Якщо звуковий сигнал виявляється хибним, то система виконала зайве спрацювання, тобто непродуктивно витратила енергію.

Адаптивний алгоритм системи керування має враховувати можливі варіанти виконання роботи, що відповідають різним комбінаціям значень сигналів впливу $x_{s1} \in \{0,1\}$ та $x_{s2} \in \{0,1\}$. Варіант спрацювання за сигналом про наявність вантажу без звукового

сигналу для механічної системи позначаємо як суто віртуальний. Оскільки варіант з нульовими значеннями обох сигналів відповідає очікуванню системи, то його також не враховуємо:

- a) успішна робота тільки за звуком $x_{s2} = 1, x_{s1} = 0$;
- b) успішна робота за звуком і вантажем $x_{s2} = 1, x_{s1} = 1$;
- c) хибне спрацювання при роботі за звуком $x_{s2} = 1, x_{s1} = 0$.

Пам'ять системи керування накопичує інформацію про попередню роботу модуля якнайменше в двох вимірах. Перший вимір – кількість відпрацьованих даного варіанту. Другий вимір – близькість кожного спрацювання до поточного моменту. Контекст оцінки вимірів – загальна кількість спрацьованих модуля.

Припустимо, що логічна інерційність за певним фактором є наслідком від об'єму пам'яті, яку займає інформація, присвячена цьому фактору. Для запам'ятовування кількості спроб N у двійковому коді необхідна кількість розрядів складатиме $\log_2 N + 1$. Кількість спроб N дорівнює сумі спроб варіантів a), b) та c). Кожна зі спроб перелічених варіантів (N_a, N_b, N_c) має своє упорядковане місце в кількості N . Умовно історію спроб можна зобразити наступною послідовністю (табл. 1), де (*) позначено поточний стан очікування.

Таблиця 1 – Історія спроб

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	*
\bar{N}	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	*
N_a	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
N_b	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
N_c	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	

Припустимо, що поточний стан зовнішнього середовища система повинна визначати за результатами поточних спроб в більшій мірі, ніж за результатами пройдешніх періодів. Використаємо це шляхом зворотного відліку спроб (рядок 2, табл. 1).

Наступний крок – перехід від кількості різних варіантів спроб до алгоритму прийняття рішення. Для цього скористаємося другим законом Ньютона в адаптованому для логічно-бінарного переходу вигляді:

$$F_i = m_i * \ddot{x}_i = J_i * y_i, \quad (1)$$

де J_i – міра інерційності системи по відношенню до дестабілізуючого впливу F_i , y_i – реакція системи на дестабілізуючий вплив.

Якщо вплив може відрізнятися за своїм ваговим значенням, то ліва частина рівняння також повинна мати змінний компонент. Оскільки логічна реакція може приймати тільки два фіксованих значення (діяти – 1, або не діяти – 0), то змінним компонентом має бути внутрішня інерційність системи по відношенню до збуджуючого фактору, тобто J_i . В «логічній інерційності» мають бути враховані обидва компоненти виміру (кількість спрацювань та їх наближеність до поточного моменту).

Для оцінки кількісного компонента, записаного у двійковому коді, інерційність можна виміряти кількістю доданих елементів пам'яті. Таким чином можна оцінити компонент кількості для різних варіантів спрацювання:

– оцінка цілком вдалих спроб

$$J_a = \text{INT}(\log_2 n_{1,2}) + 1 \quad (2)$$

– оцінка умовно вдалих спроб

$$J_b = \text{INT}(\log_2 n_1) + 1 \quad (3)$$

– оцінка невдалих спроб

$$J_c = \text{INT}(\log_2 n_{1,2}) + 1 \quad (4)$$

де $n_{1,2}$ – кількість цілком вдалих спроб;
 n_1 – кількість умовно вдалих спроб;
 $n_{1,2}$ – кількість невдалих спроб.

Але кожна з трьох оцінок інерційності за кількісним компонентом, сама по собі, не надає обґрунтування для врахування поведінки оточуючого середовища при виборі варіанта наступної дії системи. Наприклад, на початку роботи системи звуковий сигнал від вантажу майже повністю поглинався звуком діючих пристроїв. В результаті, умовно-вдалих спроб не було на протязі великої кількості спрацювань, наприклад, 2000. Впродовж періоду налагодження пристроїв їх звуковий вплив поступово ослаб у порівнянні з звуком надходження вантажу. Так, наступні за 2000 500 спроб було 176 умовно вдалих, за останні 200 з цих 500 було умовно вдалих спроб 81, за останні 100 з цих 500 було умовно вдалих спроб 49. Якщо оцінювати загальну кількість спрацювань і спрацювань за умовно-вдалим варіантом, то їх співвідношення становить 0,088. Якщо розглядати тільки останні 100 спроб, то теж саме співвідношення приймає значення 0,49. Проміжний аналіз кількості спроб за останні 500 надає значення 0,352. Тобто кількість умовно-вдалих спрацювань у відносному вимірі поступово зростає і можна вважати, що це зростання характеризує зміну стану оточуючого середовища.

Оцінки не враховують спільного контексту всіх варіантів. Контекст, як найменше, має враховувати загальну кількість спроб за фіксованим збуджуючим фактором $n = n_{1,2} + n_1 + n_{1,2}$:

$$\text{INT}(\log_2 (n_{1,2} + n_1 + n_{1,2})) + 1 \quad (5)$$

Вирази (2–4), у відношенні до (5), приблизно

вказують відносну вагу кожного з варіантів спроб за всю історію дії системи за обраним збуджуючим чинником. Але така оцінка не враховує різну вагу нещодавніх спроб та спроб далекого минулого. Ця відмінність надає системі інформацію щодо поточних тенденцій у поведінці оточуючого середовища.

Оцінка за (2)–(5) враховує тільки кількість різних варіантів спроб, але нехтує віддаленістю часу їх виконання від поточного моменту. Тобто, пам'ять, що задіяна для інформації про фіксований варіант спроб, розпорошена поміж пам'яті про інші варіанти спроб. Якщо пам'ять розглянутого варіанту зосереджена в поточному сегменті загальної пам'яті, то це вказує на актуальність саме такого варіанту в теперішній час. Додатково, це можна вважати опосередкованою інформацією про стан та процеси, що зараз відбуваються в оточуючому середовищі. Тобто, при однаковій кількості одного і того ж варіанту спроб, якщо вони припадають, наприклад, на першу половину пам'яті, або на другу половину пам'яті, їх інерційний вплив повинен відрізнятися приблизно вдвічі. Відповідно до ваги пам'яті може бути розрахована ймовірність тієї чи іншої реакції системи на збуджуючий вплив.

Один із варіантів використання логічної інерційності полягає в побудові функції ймовірності відповідно до заповнення пам'яті певним варіантом за двійковими розрядами при їх зворотному відліку. Тобто, на кожний наступний розряд (у зворотному відліку) припадає половина ваги попереднього розряду. Вага першого розряду дорівнює 0,5, другого 0,25 і у загальному випадку 2^{-k} , де k – порядковий номер розряду. Але в кожному розряді певний варіант спроби «розпорошений» і обіймає тільки його «частину». Наприклад, табл. 1, надає наступний контекст розпорошення варіантів спроб за розрядами (табл. 2).

Розподілена пам'ять для спроб варіанту «b», надає наступний контекст:

- перший розряд $p_{1/a} = 0,5$;
- другий розряд $p_{2/a} = 0,25/2$;
- третій розряд $p_{3/a} = 0,125/4$;
- четвертий розряд $p_{4/a} = 2*(0,0625/8)$.

Сумарна оцінка ймовірності варіанту «a» для наступної спроби: $p_{\Sigma/a} = 0,6875$.

Аналогічно для варіанту b:

- перший розряд $p_{1/b} = 0,0$;
- другий розряд $p_{2/b} = 0,0$;
- третій розряд $p_{3/b} = *(0,125/4)$;
- четвертий розряд $p_{4/b} = *(0,0625/8)$.

Сумарна оцінка ймовірності варіанту «b» для наступної спроби: $p_{\Sigma/b} = 0,1171875$.

Аналогічно для варіанту c:

- перший розряд $p_{1/c} = 0,0$;
- другий розряд $p_{2/c} = 0,25/2$;
- третій розряд $p_{3/c} = 0,0$;
- четвертий розряд $p_{4/c} = 2*(0,0625/8)$.

Сумарна оцінка ймовірності варіанту «c» для наступної спроби: $p_{\Sigma/c} = 0,140625$.

Таблиця 2 – Історія спроб за розрядами

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	*
\bar{N}	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	*
Розряд	4 (не вистачає однієї спроби)							3				2		1	*
N_a	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	
N_b	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	
N_c	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	

В загальному випадку при, кількості всіх спроб n , для варіанту j отримуємо:

$$p_i = \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} = \sum_{k=1}^{\log_2 n} \left(\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_j \right), \quad (6)$$

де ω_j – результативність j -ї спроби варіанту i ;
 $\log_2 n$ – кількість задіяних розрядів пам'яті.

Оскільки розглянуті варіанти не складають незліченну кількість спроб, то сума ймовірностей менша за одиницю. Тобто, розподіл ймовірностей щодо наступного активного варіанту повинен врахувати цей дефіцит ймовірності, а саме $p_{\Sigma/abc} = 0,9453125$.

При пропорційному розподіленні дефіциту спроб за всіма варіантами отримуємо уточнюючий коефіцієнт:

$$\chi_{pr} = \left(\sum_{i=1}^N p_i \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} \right)^{-1}, \quad (7)$$

де N – кількість варіантів реакції системи на фіксований зовнішній дестабілізуючий вплив.

Відповідно до (6) та (7), отримуємо:

$$p_i = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} \right)^{-1} \cdot \sum_{k=1}^{\log_2 n} \left(\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_j \right). \quad (8)$$

Для розглянутого прикладу, з урахуванням (8), відкориговані значення ймовірності, розподілені за варіантами a, b, c , складатимуть:

$$p'_{\Sigma/a} = 0,727273;$$

$$p'_{\Sigma/b} = 0,12397;$$

$$p'_{\Sigma/c} = 0,14876.$$

Сума ймовірностей варіантів дорівнює 1.

Наступний крок – використання отриманої оцінки в алгоритмі керування системою. Оскільки система може працювати або за детермінованим варіантом, коли вхідні дані є достатніми для прийняття однозначного рішення, або за варіантом з дефіцитом зовнішньої інформації, то вираз команд керування повинен враховувати обидва варіанти:

$$y_1 = y_{1det} + y_{1iner} = (x_{s1} \wedge x_{s2}) \vee (x_{s1} \wedge x_p), \quad (9)$$

де $y_{1det} = (x_{s1} \wedge x_{s2})$ – умова детермінованого спрацювання;

$y_{1iner} = (x_{s1} \wedge x_p)$ – умова спрацювання за інерційною складовою;

x_p – бінарна змінна, що обрахована з врахуванням розподілу ймовірностей.

Зворотна команда, у розглянутому варіанті, матиме звичайний детермінований вираз, коли обидва сигнали, що провокують дії системи, дорівнюють «0»:

$$y_i = \bar{x}_{s1} \wedge \bar{x}_{s2} \quad (10)$$

Для реалізації ймовірнісної складової виразу (9) застосовано генератор випадкових чисел, що працює синхронно з системою (рис. 2). Якщо значення лічильника у відсотковому вимірі перевищує розраховану ймовірність (8), то бінарна складова дорівнює «0», в протилежному випадку $x_p = 1$:

$$x_p = \begin{cases} 1 : p_i = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} \right)^{-1} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\log_2 n} \left(\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_j \right) \leq CW0 \\ 0 : p_i = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{\log_2 n} p_{k/i} \right)^{-1} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\log_2 n} \left(\frac{1}{k+1} \cdot \sum_{j=2^{k-1}}^{2^k} \omega_j \right) > CW0 \end{cases} \quad (11)$$

Перелік команд керування С/Т генератора (команди вмикання/вимикання таймера, лічильника, елементів пам'яті та модулів опитування, рис. 2):

$$y_1 \leftarrow x_2 * x_3 + x_C * x_2 * x_3;$$

$$y_1 \leftarrow x_{\bar{2}T} * x_2 * x_3 + x_T * x_2 * x_3;$$

$$y_2 \leftarrow x_1 * x_3 + x_{\bar{C}};$$

$$y_2 \leftarrow x_{\bar{2}T} + x_{\bar{T}};$$

$$y_3 \leftarrow x_{\bar{2}C} * x_{INC}; y_3 \leftarrow x_{\bar{T}} * x_{INC};$$

$$y_{\bar{2}T} \leftarrow x_1; y_{\bar{2}T} \leftarrow x_{\bar{2}C} * x_3;$$

$$y_{\bar{2}T} \leftarrow x_1 * x_2; y_{\bar{2}T} \leftarrow x_2;$$

$$y_{\bar{2}C} \leftarrow x_1 * x_2; y_{\bar{2}C} \leftarrow x_2;$$

$$y_{\bar{2}C} \leftarrow x_1; y_{\bar{2}C} \leftarrow x_{\bar{2}T} * x_1;$$

$$y_T \leftarrow x_2; y_{\bar{T}} \leftarrow x_3 * x_2;$$

$$y_C \leftarrow x_{\bar{2}C}; y_{\bar{C}} \leftarrow x_{\bar{2}C};$$

$$y_{INC} \leftarrow x_{\bar{2}T} * x_1; y_{INC} \leftarrow x_{\bar{2}C} * x_1.$$

Позначення сигналів команд керування (y_i, y_i) модулів системи та особливих сигналів стану (x_i, x_i):

y_1 – вмикання елемента пам'яті «1»; y_1 – вимикання елемента пам'яті «1»; y_2 – вмикання елемента пам'яті «1»; y_2 – вимикання елемента пам'яті «2»; y_3 – вмикання елемента пам'яті «1»; y_3 – вимикання елемента пам'яті «1»; y_T – вмикання таймера з прапором блокування FYT та одночасним вимиканням

прапору $X_{\bar{T}}$ зворотного стану ; $y_{\bar{T}}$ – вимкання таймера з прапором блокування FYT та одночасним вимканням прапору $X_{\bar{T}}$ зворотного стану та вимканням прапору основного стану X_T ; X_T – сигнал (прапор) основного стану таймера (відпрацьованого), його вимкання за умов спрацювання таймера при вимкненому прапорі блокування FYT ; y_C – вимкання лічильника з прапором блокування FYC та одночасним вимканням прапору $X_{\bar{C}}$ зворотного стану ; $y_{\bar{C}}$ – вимкання лічильника з прапором блокування FYC та одночасним вимканням прапору $X_{\bar{C}}$ зворотного стану та вимканням прапору основного стану X_C ; X_C – сигнал (прапор) основного стану лічильника (відпрацьованого), його вимкання за умов спрацювання лічильника при вимкненому прапорі блокування FYC ; y_{INC} – додавання «1» до слова лічильника з вимканням прапору основного стану, та одночасним вимканням прапору $X_{\overline{INC}}$ зворотного стану; $y_{\overline{INC}}$ – вимкнути додавання «1» до слова лічильника з одночасним вимканням прапору $X_{\overline{INC}}$ зворотного стану та вимканням прапору основного стану X_{INC} .

В адаптивному алгоритмі, для реалізації логічних зв'язків графу (рис. 2) використано наступні сигнали керування для модулів умовних переходів (функцій опитування) таймера та лічильника:

$y_{\gamma T}$ – опитувати «чи таймер спрацював?»; $y_{\bar{\gamma T}}$ – припинити опитувати «чи таймер спрацював?»; $y_{\gamma \bar{T}}$ – опитувати «чи таймер не спрацював?»; $y_{\bar{\gamma \bar{T}}}$ – припинити опитувати «чи таймер не спрацював?»; $y_{\gamma C}$ – опитувати «чи лічильник спрацював?»; $y_{\bar{\gamma C}}$ – припинити опитувати «чи лічильник спрацював?»; $y_{\gamma \bar{C}}$ – опитувати «чи лічильник не спрацював?»; $y_{\bar{\gamma \bar{C}}}$ – припинити опитувати «чи лічильник не спрацював?».

Модулі умовних переходів об'єднані в альтернативні пари модулів. Тобто один альтернативний вибір за двома альтернативами процесу забезпечують два модулі. Вони опитують взаємно протилежні відомості щодо стану системи або окремих пристроїв чи об'єктів. Наприклад, модуль, що має команди z і \bar{z} – здійснює опитування однієї альтернативи – є деталь, w і \bar{w} – здійснює опитування іншої альтернативи – немає деталі. Команди z і \bar{z} відповідають опитуванню наявності деталі на вхідній позиції або припиненню опитування. Формально кожний модуль з пари складають два елемента пам'яті (прапори): $X_{\gamma(z)}$ та $X_{\bar{\gamma(z)}}$ – для початку та припинення опитування наявності деталі, $X_{\gamma(\bar{z})}$ та $X_{\bar{\gamma(\bar{z})}}$ – для початку та припинення опитування відсутності деталі.

Основна дія одного модуля з пари може бути виконана тільки у випадку, коли основна дія

альтернативного до нього модуля не виконана. За цим принципом мають бути сформовані команди керування модулів в алгоритмі програми.

Наприклад, для опитування таймера, який ще працює ($T0 = 1$), за графом системи отримано такі логічні вирази: $y_{\gamma T} \leftarrow x_1$ та $y_{\bar{\gamma T}} \leftarrow x_{\gamma \bar{C}} * x_3$. Вираз основної команди необхідно доповнити умовою «невиконання» іншої альтернативи (опитано, що прапор вже спрацював) та умовою параметру, що він опитує. Іншу альтернативу опитує інший модуль (команди $y_{\gamma \bar{T}} \leftarrow x_1 * x_2$ та $y_{\bar{\gamma \bar{T}}} \leftarrow x_2$), і сигнал (прапор), що він спрацював матиме позначення $x_{\gamma \bar{T}}$. Умовою того, що таймер ще працює, є істинність або одиничне значення «T0».

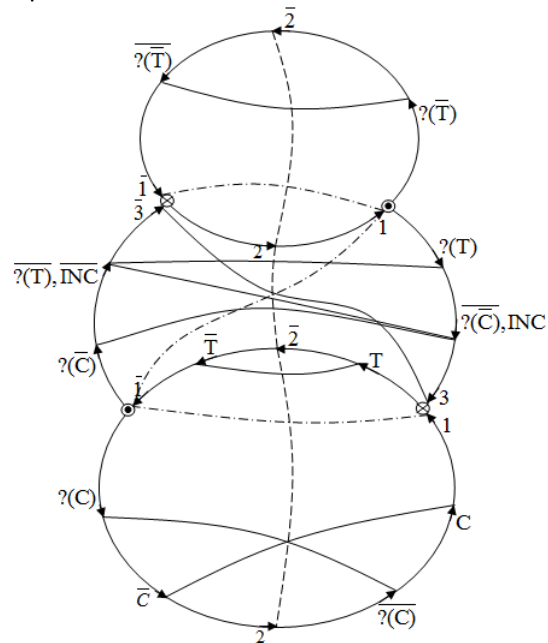


Рис. 2 – Граф генератора чисел T/C:

- ?(C) – опитування відпрацьованого стану лічильника;
- ?(T) – опитування відпрацьованого стану таймера;
- ?(C-bar) – опитування працюючого стану лічильника;
- ?(T-bar) – опитування працюючого стану таймера;
- ?(*) – відключення опитування; C – включення лічильника;
- C-bar – вимкання лічильника; T – вимкання таймера;
- T-bar – вимкання таймера; INC додавання «1» до слова лічильника; INC-bar – вимкнути INC

Вираз основної команди альтернативного модуля матиме вигляд: $y_{\gamma T} \leftarrow x_1 * x_{\gamma \bar{T}} * T0$. За цією умовою елемент пам'яті (два прапори), який відображає модуль у програмі керування, переходить в основний стан, тобто $X_{\gamma T} = 1$, $X_{\bar{\gamma T}} = 0$.

Зворотна команда не має додаткових умов виконання, і за умов істинності виразу команди, елемент пам'яті переходить у початковий стан: коли $x_{\gamma \bar{C}} * x_3$ істинно, то $X_{\gamma T} = 0$, $X_{\bar{\gamma T}} = 1$.

Модуль додавання лічильника, який описано

командами $y_{INC} \leftarrow x_{\gamma T} * x_1$ та $y_{\overline{INC}} \leftarrow x_{\gamma \overline{C}} * x_1$ також має два допоміжні прапори $X_{\overline{INC}}$ та X_{INC} , і прапор покриття неконтрольованого додавання $FINC$. За умовою істинності основної команди при вимкненому прапорі $FINC$ до слова лічильника додається «1», вмикається прапор покриття $FINC$, вмикається прапор основного стану модуля X_{INC} та вимикається прапор зворотного стану модуля $X_{\overline{INC}}$. За умовою істинності зворотної команди прапори X_{INC} та $FINC$ вмикаються, а прапор зворотного стану $X_{\overline{INC}}$ вмикається.

Сегмент вхідного контролю збуджуючих сигналів є початковою ланкою в процесі дії адаптивного детерміновано-ймовірнісного логічного алгоритму. Сигнали x_{S1} та x_{S2} є незалежним зовнішнім впливом і їх врахування має здійснюватись відповідно до поточного стану системи та забезпечити наповнення пам'яті у формі табл. 2.

Одночасне отримання сигналів фактично є не одночасним. Оскільки сигнал x_{S2} є більш «швидким», то система повинна деякий час очікувати щодо отримання x_{S1} навіть у нормальному режимі (є обидва сигнали). Тобто, за умовою набуття x_{S2} істинності ($x_{S2} = 1$) система очікує, наприклад 0,5 секунди, на істинність повільного сигналу ($x_{S1} = 1$). У цьому випадку алгоритм має зафіксувати «одночасне» виникнення обох збуджуючих сигналів.

Послідовне отримання сигналів. Якщо після очікування 0,5 секунди не отримано ($x_{S1} = 1$), то алгоритм починає відпрацювання ймовірнісного керування, з одночасним очікуванням суттєвого запізнення ($x_{S1} = 1$), наприклад 5 секунд. Якщо на протязі 5 секунд істинність x_{S1} буде підтверджено, то в алгоритмі має бути врахований позитивний зв'язок умовного рефлексу.

Послідовне неотримання сигналів. Якщо після набуття x_{S2} істинності ($x_{S2} = 1$) і x_{S2} відпрацювання ймовірнісного керування з очікуванням запізнення ($x_{S1} = 1$) на 5 секунд істинність x_{S1} не отримано, то в алгоритмі має бути врахований негативний зв'язок умовного рефлексу.

За допомогою контролю фактів набуття та позбавлення істинності швидшим сигналом ($x_{S2} = 1$ і $x_{S2} = 0$) і відпрацювання ймовірнісного керування з очікуванням запізнення основному сигналу ($x_{S1} = 1$), алгоритм покроково складає історію реакцій системи на збуджуючі сигнали у вигляді табл. 1 та її трансформації до вигляду табл. 2.

Отримання сигналів адаптивного керування здійснюється за залежностями (6)–(10) з обрахунком x_p – бінарної змінної за історією системи у вигляді табл. 2. Присвоєння x_p значення «1» здійснюється за умов, що $(p'_{\Sigma/i} * 100) \leq C\mathcal{W}0$, де $C\mathcal{W}0$ – поточне значення слова лічильника у Т/С генераторі чисел.

Висновки. Для вирішення задачі керування з напрацюванням умовного рефлексу мехатронним виконавчим пристроєм з гідравлічними та пневматичними приводами може бути використано підхід з детерміновано-ймовірнісною логікою

керування.

Використання об'єму задіяної пам'яті, розподіленого за факторами впливу та реакціями виконавчого пристрою, у якості міри інертності прийняття рішень, надає можливість враховувати як загальну кількість вдалих та хибних спроб, так і їх наближення до поточного часу роботи модуля.

Для формування ймовірнісної складової сигналу керування запропоновано Т/С генератор чисел, робота якого пов'язана з власною частотою опитування пристроїв системи і діапазоном чисел, що відповідає заповненому об'єму пам'яті. Побудова Т/С генератора, підпорядкованого функціональному графу (рис. 2), дозволяє його використання в псевдомультипроцесному режимі синхронно з діями модулів системи. Діапазон зміни випадкових чисел задає алгоритм програми керування в залежності від об'єму пам'яті.

Частота спрацювання генератора, побудованого за Т/С схемою, не перевищує частоти обробки сигналів стану системи загального алгоритму у безперервному циклі. Водночас мінімальне значення цієї частоти задає налаштування таймера, тобто вона є пов'язаною з швидкістю виконавчих пристроїв мехатронної системи.

Для визначення експлуатаційних та динамічних властивостей системи з адаптивною логікою функціонування та дослідження її впливу на дії мехатронної системи, створена макетна модель з пневматичними виконавчими пристроями.

Список літератури

1. *Brettel M.* How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape : An Industry 4.0 Perspective / *M. Brettel, N. Friederichsen, M. Keller [et al.]* // International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering. – 2014. – Vol. 8, No. 1. – P. 37–44.
2. *Lee Jay.* Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment / *Jay Lee, Hung-An Kao, Shanhu Yang* // Procedia CIRP16. – 2014. – P. 3–8.
3. *Bauernhansl T.* Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik : Anwendung Technologien Migration / *T. Bauernhansl, M. ten Hompel, B. Vogel-Heuser.* – Springer-Verlag, 2014. – 648 p.
4. *Колмогоров А. Н.* Три подхода к определению понятия «количество информации» / *А. Н. Колмогоров* // Теория информации и теория алгоритмов. – М. : Наука, 1987. – С. 213–223.
5. *Челноков В. М.* К операционализации понятия целостности в представлении знаний / *В. М. Челноков* // Системные исследования : методол. пробл. ежегодник. –М. : Наука, 1986. – С. 103–112.
6. *Губарев А. П.* К вопросу адаптации логического управления / *А. П. Губарев* // Депонент УкрНИИТИ. – 1986. – № 282-Ук 86. – 29 с.
7. *Ганнаницурова О. С.* Логіко-інерційна складова команд керування виконавчим модулем мехатронної системи / *О. С. Ганнаницурова, О. П. Губарев* // Матеріали XVII МНТК АС ПП «Промислова гідравліка і пневматика» : тези доповідей. – Харків, 2016. – 72 с.
8. *Глушков М. В.* Логическое проектирование дискретных устройств / *М. В. Глушков, Ю. В. Капитонова, А. Т. Мищенко.* – К. : Наукова думка, 1987. – 264 с.
9. *Черкашенко М. В.* Автоматизация проектирования систем гидро- и пневмоприводов с дискретным управлением / *М. В. Черкашенко.* – Харьков : НТУ «ХПИ», 2007. – 210 с.
10. *Губарев А. П.* Дискретно-логическое управление в системах

- гідропневмоавтоматики / А. П. Губарев. – К. : ИСМО, 1997. – 224 с.
11. Месарович М. Общая теория систем : математические основы / М. Месарович, Я. Такахага. – М. : Мир, 1978. – 360 с.
 12. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Витида, С. Иваи [и др.]. – М. : Мир, 1993. – 342 с.
 13. Тарасик В. П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами : монография / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск : Технопринт, 2004. – 512 с.
 14. Козлов Л. Г. Застосування нейромережі для зменшення часу регулювання в мехатронній гідросистемі // Вісник Сумського державного університету. Сер.: Технічні науки. – 2013. – № 4. – С. 165–174.
 5. Chelnokov, V. M. "K operatsionalizatsii ponyatiya tselostnosti v predstavlenii znaniy." *Sistemnye issledovaniya: metodol. probl. ezhegodnik*. Moscow: Nauka, 1986. 103–112. Print.
 6. Gubarev, A. P. "K voprosu adaptatsii lohicheskogo upravleniya.", *Deponent UkrNIINTI*. No. 282-Uk 86. 1986. Print.
 7. Hanpanturova, O. S., and O. P. Hubarev. "Lohiko-inertsyina skladova komand keruvannya vykonavchym modulem mekhatronnoi systemy." *Materialy XVII MNTK AS PHP "Promyslova hidravlika i pnevmatyka"*. Kharkiv, 2016. Print.
 8. Hlushkov, M. V., Y. V. Kapitonova and A. T. Mischenko. *Lohicheskoe proektirovanie diskretnykh ustrojstv*. Kiev: Naukova dumka, 1987. Print.
 9. Cherkashenko, M. V. *Avtomatizatsiya proektirovaniya system hydro- i pnevmoprivodov s diskretnym upravleniem*. Kharkov: NTU KhPI, 2007. Print.
 10. Gubarev, A. P. *Diskretno-lohicheskoe upravlenie v sistemakh hydro-pnevmooavtomatiki*. Kiev: ISMO, 1997. Print.
 11. Mesarovich, M., and J. Takakha. *Obschaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy*. Moscow: Mir, 1978. Print.
 12. Asai, K., D. Vitada and S. Ivai. *Prykladnye nechetkie sistemy*. Moscow: Mir, 1993. Print.
 13. Tarasik, V. P., and S. A. Rynkevich. *Intellektual'nye sistemy upravleniya avtotransportnymi sredstvami: monografiya*. Minsk: Tekhnoprint, 2004. Print.
 14. Kozlov, L. H. "Zastosuvannya neyromerzhi dlya zmenshennya chasu rehulyuvannya v mekhatronniy hidrosystemi." *Visnyk Sums'koho derzhavnoho universytetu. Ser.: Tekhnichni nauky*. No. 4. 2013. 165–174. Print.

References (transliterated)

1. Brettel, M., et al. "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective." *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 8.1 (2014): 37–44. Print.
2. Lee, Jay, Hung-An Kao and Shanhu Yang. "Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment." *Procedia CIRP* 16. 2014. 3–8. Print.
3. Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung Technologien Migration*. Springer-Verlag, 2014. Print.
4. Kolmogorov, A. N. "Tri podkhoda k opredeleniyu ponyatiya kolichestvo informatsii." *Teoriya informatsii i teoriya algoritmov*. Moscow: Nauka, 1987. 213–223. Print.

Надійшла (received) 20.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Адаптація логіки керування пневматичним виконавчим модулем мехатронної системи / О. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 41 (1213). – С. 32–38. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2411-3441.

Адаптация логики управления пневматическим исполнительным модулем мехатронной системы / А. П. Губарев, О. С. Ганпанцурова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 41 (1213). – С. 32–38. – Библиогр.: 14 назв. – ISSN 2411-3441.

Adaptation of control logic for the pneumatic executive module of the mechatronic system / O. P. Gubarev, O. S. Hanpanturova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydrounits. – Kharkov : NTU "KhPI", 2016. – No. 41 (1213). – P. 32–38. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2411-3441.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Губарев Олександр Павлович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», професор кафедри «Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка»; тел.: (044) 204-84-64; e-mail: gubarev@i.ua.

Губарев Александр Павлович – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», профессор кафедры «Прикладная гидроаеромеханика и механотроника»; тел.: (044) 204-84-64; e-mail: gubarev@i.ua.

Gubarev Oleksandr Pavlovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Professor at the Department of Fluid Mechanics and Mechatronics; tel.: (044) 204-84-64; e-mail: gubarev@i.ua.

Ганпанцурова Оксана Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», доцент кафедри «Прикладна гідроаеромеханіка і механотроніка»; тел.: (044) 204-84-64; e-mail: ganpanturova@ukr.net.

Ганпанцурова Оксана Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского», доцент кафедры «Прикладная гидроаеромеханика и механотроника»; тел.: (044) 204-84-64; e-mail: ganpanturova@ukr.net.

Hanpanturova Oksana Serhiyivna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Fluid Mechanics and Mechatronics; tel.: (044) 204-84-64; e-mail: ganpanturova@ukr.net.