

М. І. ЧЕРПАКОВ**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА ЗА ДОПОМОГОЮ СТРУКТУРНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ**

Розглядається метод структурної організації гідропневмоагрегатів та його прикладне застосування. Синтез керуючих пристроїв гідро- та пневмоагрегатів є актуальною проблемою, оскільки на цьому етапі формуються основні технічні характеристики, що впливають на якість та функціонування. Значущим елементом є обрана структурна організація, оскільки раціональність її структури впливає не тільки на швидкість, простоту експлуатації та раціональність самої схеми, а також на стандартизацію та легкість створення пристроїв. Завдяки визначенню структурної організації гідропневмоагрегатів, а саме її елементів та взаємодії між ними у дискретно-аналоговій системі, був розглянутий приклад побудови гідропневмосистеми свердильного верстата. У статті розглянуті основні складові структурної організації, побудована схема, спираючись на яку, при проєктуванні гідропневмоагрегата, є реальним скоротити кількість елементів пам'яті та логічних елементів. Розглянуті множини та підмножини такої структури, визначені вхідні та вихідні сигнали гідропневмоагрегата. Розглянуті блок пам'яті та його командоапарат. Розглянуті блоки збігів та блоки поділів включень. Представлена схема свердильного верстата та зроблений її опис із вказанням елементної бази. Описаний початок роботи даної схеми та побудований граф операції для технологічних переходів всередині неї. Побудована таблиця включень для схеми, яка містить у собі відомості про поточні позиції виконавчих пристроїв та їхній режим роботи, його поточний стан, а також про взаємодію вхідних та вихідних пристроїв. Надане визначення поняттю граф. Були складені СЛР для станів переходів із урахуванням сигналів, що переводять систему у наступний стан, та сигналів, що діють всередині переходу. Були мінімізовані відповідні системи лінійних рівнянь. Розглянуто місце логічних контролерів у даній структурній організації.

Ключові слова: структурна організація, синтез схем, гідропневмоагрегат, дискретно-аналогова система, логічні контролери, свердильний верстат.

М. CHERPAKOV**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE DRILLING MACHINE WITH STRUCTURAL ORGANIZATION**

The purpose of the article is to consider the method of structural organization of hydropneumatic units and its practical application. The synthesis of control devices of hydraulic and pneumatic units is an actual question, since at this stage the main technical characteristics affecting quality and functioning are formed. A significant element is the chosen structural organization, since the rationality of its structure affects not only speed, ease of operation and rationality of the scheme itself but also standardization and ease of device creation. Thanks to the definition of the structural organization of hydropneumatic units, namely its elements and the interaction between them in a discrete-analog system, an example of the construction of a hydropneumatic system of a drilling machine was considered. In the article, the main components of the structural organization are considered, a scheme is built, based on which, when designing a hydropneumatic unit, it is realistic to reduce the number of memory elements and logical elements. The sets and subsets of this structure are considered, the input and output signals of the hydropneumatic unit are determined. The memory block and its control unit are considered. Coincidence blocks and inclusion division blocks are considered. The scheme of the drilling machine is presented and its description is made with the indication of the element base. The beginning of the operation of this scheme is described and the operation graph for technological transitions within it is constructed. A table of inclusions for the scheme is built, which contains information about the current positions of executive devices and their operating mode, its current state, as well as about the interaction of input and output devices. The definition of the concept of the graph is provided. CPRs were constructed for transition states, taking into account the signals that move the system to the next state and the signals acting inside the transition. The respective systems of linear equations were minimized. The place of logical controllers in this structural organization is considered.

Keywords: structural organization, synthesis of schemes, hydropneumatic unit, discrete-analog system, logic controllers, drilling machine.

Вступ. В сучасних умовах розвитку технологій та постійного вдосконалення виробничих процесів питання підвищення ефективності обладнання стає надзвичайно актуальним. Однією з ключових складових цього підходу є пошук оптимальних методів та технологій для покращення роботи верстатів, що відіграють важливу роль у численних галузях промисловості.

На етапі синтезу керуючих пристроїв гідроагрегатів формуються основні технічні характеристики, тож це робить його важливою складовою процесу розробки. Ці складові і раціональність схеми, що синтезується, швидкодія, простота налагодження та експлуатації. Велике значення має прийнята структурна організація, тому що раціональність структури впливає, крім перерахованих характеристик, також на уніфікацію і простоту створення пристроїв.

Таким чином, можна розглянути наступну структуру [1], яка є синтезом дискретного та

аналогового управління. Аналоговою частиною слугують кінцеві перемикачі, розподільники тощо. Тобто усе, що приймає на себе аналоговий сигнал. Дискретними у цьому випадку є логічні контролери.

Структурна організація гідропневмоагрегатів. Запропонована структура дискретно-аналогового управління гідроагрегатів (рис. 1) дозволяє звести до мінімуму число елементів пам'яті (ЕП) блоку пам'яті, число логічних елементів, необхідних для реалізації схеми, здійснити позиціонування окремих виконавчих пристроїв з великою точністю [1–3].

Множина вхідних сигналів керуючого пристрою (КП) X складається з підмножини сигналів X_c виходів вузлів U , а також з підмножини X_b впливу від органів ручного управління. У вхідному блоці формується безліч умов E , що складається з підмножини Q і T . Кожна умова з підмножини Q функціонально залежить від сигналів з множини X , які визначають відповідний перехід у технологічному процесі, що реалізується, і описується кон'юнкцією вхідних

змінних КП, які приймають одиничне значення на даному наборі. Кожна умова з підмножини T залежить тільки від зазначених вище сигналів, які викликають переходи, а й від додаткових сигналів з підмножини X_c . Набір вхідних сигналів КП, у якому приймає одиничне значення умова з підмножини T , далі називається подовженим набором. Розглянемо такі подовжені набори T , які доповнені мінімальним числом змінних.

Блок пам'яті 5 включає командоапарат, що містить послідовно з'єднані ЕП (тригери з роздільними входами), кожен попередній ЕП вимикається сигналом з виходу наступного (наступним останньому ЕП вважається перший). У командоапараті використовується один вихід ЕП. Виняток становить випадок, якщо КП містить два внутрішні стани, а блок пам'яті містить один ЕП і при цьому використовуються два його інверсні виходи.

Блок збігів 1 служить для формування множини V умов, будь-яка з яких функціонально залежить від подовжених деякими сигналами з множини умов Y з E .

Блок поділів включень 3 містить елементи V і використовується при включенні одного ЕП різними наборами з множини U для різних програм роботи КП.

Блок поділів включень 4 містить елементи V і використовується у разі кількох програм роботи КП, які призводять до появи різної кількості внутрішніх станів кожної програми.

Вихідний блок містить елементи V , а також пневмо- або гідророзподільники (часто з двостороннім управлінням), які посилають робочу рідину у виконавчі пристрої 7. У розглянутій структурі, на

відміну від стандартної позиційної структури, сигнали від вхідного блоку збігів 1 або від блоку збігів 2 подаються безпосередньо у вихідний блок поділів 6, тоді як у стандартній структурі вихідний блок подаються сигнали від блоку пам'яті. Це дає можливість використовувати дві особливості агрегатного та елементного підходів до проектування систем приводів з КП: командоапаратний принцип виконання блоку пам'яті (з агрегатного підходу) та подовження наборів, що викликають переходи (з елементного підходу), з подальшим синтезуванням мінімального блоку пам'яті та формального подовження наборів які викликають переходи. Пневмоелектроперетворювачі (гідроелектроперетворювачі) 8 служать для зв'язку дискретної частини структури з аналогової. Вихідний блок містить 9 виконавчі пристрої з розподільниками з пропорційним управлінням, що значно розширює функціональні можливості запропонованої структури. Вихідний блок дозволяє здійснювати позиціонування з високою точністю.

Структурний синтез логічної схеми дозволяє отримати систему логічних рівнянь (СЛР), яка математично описує цю схему. СЛР містить рівняння для включення та вимикання [1, 3, 4] будь-якого ЕП та кожного виконавчого пристрою. Мінімізація СЛР забезпечує на етапі побудови схеми скорочення кількості елементів (модулів), вибраних як базові. Таким чином, забезпечивши при структурному синтезі отримання мінімального числа ЕП, тим самим скорочуємо кількість рівнянь, що входять до СЛР, а мінімізуючи кожне рівняння, скорочуємо кількість базисних пристроїв.

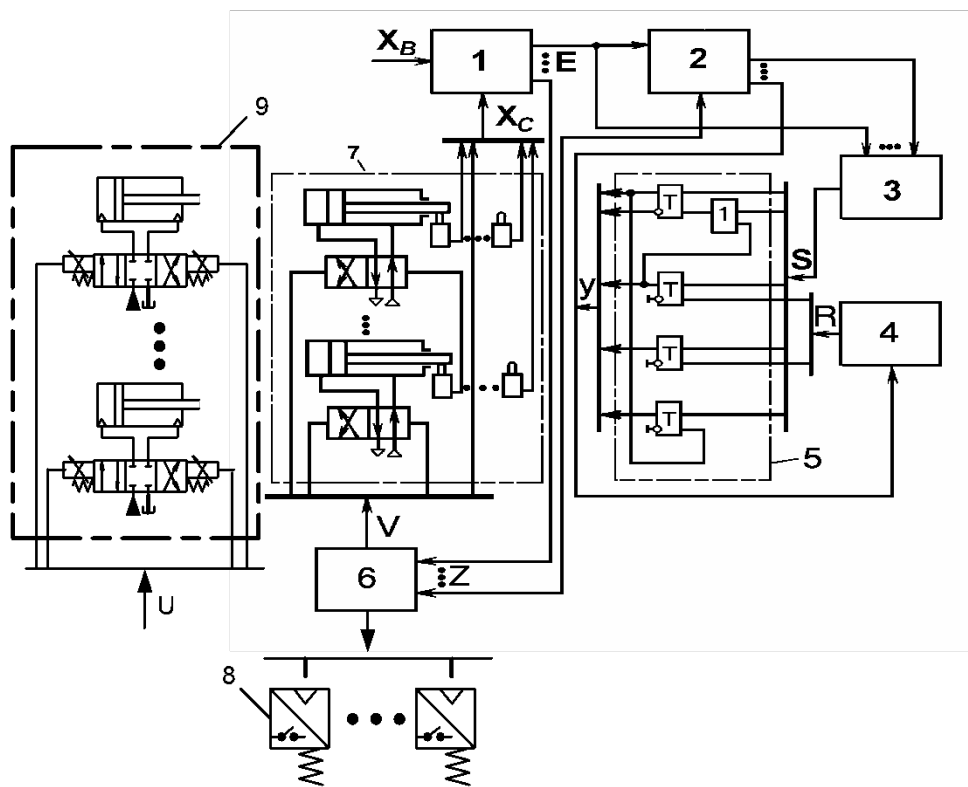


Рис. 1. Структурна організація системи гідропневмоагрегатів

Застосування структурної організації на прикладі свердлильного верстата. На рис. 2 наведена схема гідропневмоприводу свердлильного верстата [5]. Розглянемо на основі цього гідропневмоприводу структурну організацію від графа операцій до рівнянь СЛР. **Граф** – це безліч яких-небудь елементів, зв'язаних між собою співвідношеннями [6]. Слід відзначити: логічні схеми алгоритмів (алгебраїчна форма) можуть бути подані у вигляді графів переходів.

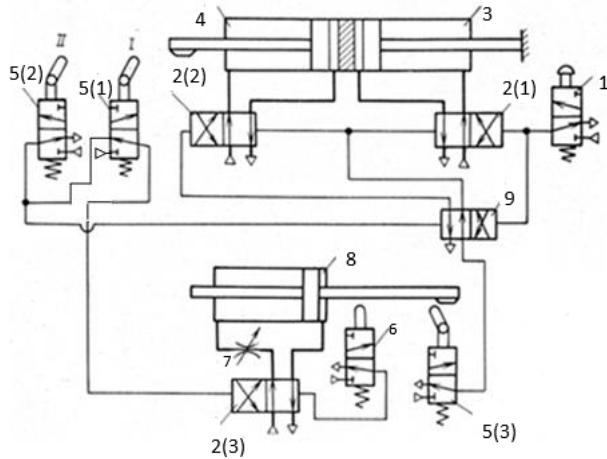


Рис. 2. Схема гідропневмоприводу свердлильного верстата

Цей гідропневмопривод містить у собі кнопку «Пуск» 1, чотирихлінійні двопозиційні розподільники з двостороннім управлінням 2(1)–2(3), що управляють циліндрами, один з яких з двома штоковими порожнинами 3 і 4, кінцеві вимикачі 5(1)–5(3), 6, регульований дросель 7, що подає тиск у штокову порожнину циліндра 8.

Свердлильний верстат працює в напівавтоматичному, автоматичному та налагоджувальних режимах. Кожен цикл починається після повернення у вихідне положення пневмоприводу затиску $x_1 = 1$ і при включеному пневмотумблері $x_7 = 1$.

Робота відбувається наступним чином, здвоєний циліндр з порожнинами 3, 4 переміщує і встановлює деталь в двох позиціях, а циліндр 8 служить для подачі свердлильної голівки. Подальша робота здійснюється відповідно до графа операцій (рис. 3).

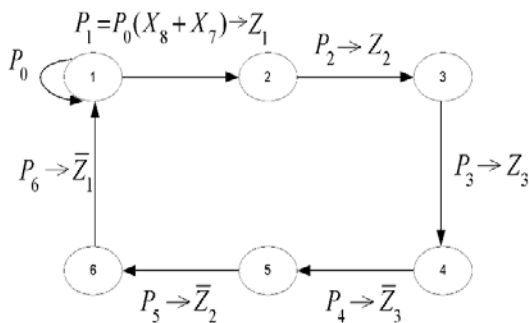


Рис. 3. Граф операцій

Взаємодія вхідних та вихідних пристроїв показана у таблиці 1.

Таблиця 1 – Взаємодія вхідних та вихідних пристроїв

Позначення	Назва	Вихідні сигнали			
		Вхідні сигнали		Наладка	
		Автоматичний режим	Вихідне положення	Кінцеве положення	Вкл.
z_1	Зажим деталі	x_1	x_2	x_{11}	\bar{x}_{11}
z_2	Переміщення із застосування із деталлю у зону обробки	x_3	x_4	x_{22}	\bar{x}_{22}
z_3	Обробка деталі	x_5	x_6	x_{33}	\bar{x}_{33}

$$\begin{aligned}
 P_0 &= x_1 x_3 x_5; \\
 P_1 &= x_1 x_3 x_5 (x_8 + x_7); \\
 P_2 &= x_2 x_3 x_5 x_7; \\
 P_3 &= x_4 x_2 x_5 x_7; \\
 P_4 &= x_6 x_2 x_4 x_7; \\
 P_5 &= x_5 x_2 x_4 x_7; \\
 P_6 &= x_3 x_2 x_5 x_7.
 \end{aligned}$$

У цих рівняннях сигнали, що переводять систему від одних станів до інших, записані ліворуч від коми, праворуч записані сигнали, що діють у переході.

Розглянемо більш детально побудову графа операцій для гідропневмоагрегатів, який містить різні режими роботи. Тут основною задачею є правильно сформулювати режими роботи системи. Це може стати справжньою проблемою, тож, щоб цього уникнути, необхідно докладно розглянути режими роботи системи з погляду математичних моделей та практичної реалізації [7–9].

Розрізняють три основні режими роботи: автоматичний, напівавтоматичний та налагоджувальний. При роботі в автоматичному режимі зазвичай пуск роботи здійснюється за сигналом від кнопки «Пуск» і далі цикл повторюється автоматично. При напівавтоматичному режимі роботи повторення циклу можливе лише за впливу на кнопку «Пуск».

При синтезі схем систем гідропневмоприводів нині використовуються два основних підходи з використанням стандартної позиційної структури та мінімальної структури [9–11]. При використанні стандартної позиційної структури при кількості елементів пам'яті $n \geq 3$ можна записати наступні рівняння для функцій включення S :

- у випадку напівавтоматичного режима:

$$S_1 = P_0 \cdot x_1,$$

де S_1 – функція ввімкнення першого елемента пам'яті; P_0 – вхідний набір початкового стану виконавчих пристроїв; x_1 – кнопка «Пуск».

- у випадку автоматичного режиму роботи:

$$S_1 = P_0 \cdot (x_1 + y_n),$$

де y_n – вихідний сигнал останнього елемента пам'яті n командоапарата.

Послудуючи автоматичний і напівавтоматичний режими, можна отримати наступне рівняння:

$$S_1 = P_0 x_a (x_1 + y_n) + P_0 \bar{x}_a x_1,$$

де x_a – сигнал від перемикача «автоматичний режим»; \bar{x}_a – сигнал від перемикача «напівавтоматичний режим».

Далі, якщо розкрити дужки та спростити вираз

$$S_1 = P_0 x_a x_1 + P_0 x_a y_n + P_0 \bar{x}_a x_1 = P_0 x_1 + P_0 x_a y_n,$$

отримуємо:

$$S_1 = P_0 (x_1 + x_a y_n).$$

Логічні контролери. Крім цього, не слід забувати про застосування промислових логічних контролерів у дискретно-аналогових системах, а також пропорційної гідропневмоапаратури, за допомогою якої можна регулювати відкриття гідро- або пневморозподільника і, таким чином, більш ефективно використовувати можливості позиціонування гідропневмоагрегату [12]. Така гідропневмоапаратура дозволяє уникнути фізичних кінцевих перемикачів у схемі та використовувати положення розподільника замість них. Таким чином, частину поточної схеми свердлильного верстату можна модернізувати так, як представлено на рис. 4.

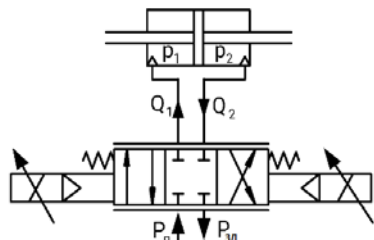


Рис. 4. Циліндр із пропорційною апаратурою

Список літератури

1. Черкашенко М. В. *Автоматизація проектування систем гідро- і пневмоприводів з дискретним управлінням*. Харків: НТУ «ХПІ», 2001. 182 с.
2. Черкашенко М. В., Миронов К. А., Фатєєва Н. М. *Проектування систем керування пневматичних і пневмогідролічних приводів*. Харків: НТУ «ХПІ», 2011. 88 с.
3. Pessen D. W. Fast design of pneumatic sequencing circuits. Part 1: Introduction and fundamentals. *Hydraulics and pneumatics*. 1983, No. 8. P. 63–65. Part 2: Example 1 – one cylinder counting circuits. *Hydraulics and pneumatics*. 1983, No. 10. P. 57–58.
4. Cherkashenko M. *Synthesis of minimum control systems of hydraulic and pneumatic drives*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2022. 125 p.
5. Сокол Є., Черкашенко М., Потетенко О., Дранковський В., Гасюк О., Гриб О. *Гідроенергетика. Том 2. Гідролічні машини*. Харків: НТУ «ХПІ», 2020. 534 с.
6. Harary F. *Graph Theory*. Boston: Addison-Wesley, 1971. 274 p.

7. Cherkashenko M. Synthesis of discrete control systems of industrial robots. *Automation and Remote Control (USA)*. 1981. Vol. 42, no. 5. P. 676–680.
8. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation. *International Fluid Power Symposium in Aachen. The report no. 1. Fundamentals (20–22 March 2006, Aachen, Germany)*. Aachen: Apprimus, 2006. P. 147–154.
9. Cherkashenko M. Universal devices for building pneumatic control circuits for industrial robots and automatic machines. *Soviet engineering research (England)*. 1985. Vol. 5, no. 2. P. 29–31.
10. Sokol Ye., Cherkashenko M. *Synthesis of control schemes of drives system*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2018. 120 p.
11. Sokol Ye., Cherkashenko M. *Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects*. Germany: GmbH & Co, 2018. 120 p.
12. Mygushchenko R., Vurye B., Cherkashenko M., Kropachek O., Rezvaya K. *Logic devices of systems of electronic, hydraulic and pneumoautomatics*. Germany: GmbH & Co, 2021. 185 p.

References (transliterated)

1. Cherkashenko M. V. *Avtomatyzatsiya proektuvannya system hidro- i pnevmoприводів з дискретним управлінням* [Automating the design of hydraulic and pneumatic drive systems with discrete control]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2001. 182 p.
2. Cherkashenko M. V., Myronov K. A., Fatyeyeva N. M. *Proektuvannya system keruvannya pnevmatychnykh i pnevmohidravlichnykh прыводів* [Design of control systems for pneumatic and pneumohydraulic drives]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2011. 88 p.
3. Pessen D. W. Fast design of pneumatic sequencing circuits. Part 1: Introduction and fundamentals. *Hydraulics and pneumatics*. 1983, no. 8, pp. 63–65. Part 2: Example 1 – one cylinder counting circuits. *Hydraulics and pneumatics*. 1983, no. 10, pp. 57–58.
4. Cherkashenko M. *Synthesis of minimum control systems of hydraulic and pneumatic drives*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2022. 125 p.
5. Sokol Ye., Cherkashenko M., Potetenko O., Drankovskyy V., Hasyuk O., Hryb O. *Hidroenerhetyka. Tom 2. Hidravlichni mashyny* [Hydropower engineering. Vol. 2. Hydraulic machines]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2020. 534 p.
6. Harary F. *Graph Theory*. Boston, Addison-Wesley Publ., 1971. 274 p.
7. Cherkashenko M. Synthesis of discrete control systems of industrial robots. *Automation and Remote Control (USA)*. 1981, vol. 42, no. 5, pp. 676–680.
8. Cherkashenko M. Synthesis of schemes of hydraulic and pneumatic automation. *International Fluid Power Symposium in Aachen. The report no. 1. Fundamentals (20–22 March 2006, Aachen, Germany)*. Aachen, Apprimus Publ., 2006, pp. 147–154.
9. Cherkashenko M. Universal devices for building pneumatic control circuits for industrial robots and automatic machines. *Soviet engineering research (England)*. 1985, vol. 5, no. 2, pp. 29–31.
10. Sokol Ye., Cherkashenko M. *Synthesis of control schemes of drives system*. Kharkiv: NTU "KhPI", 2018. 120 p.
11. Sokol Ye., Cherkashenko M. *Synthesis of control schemes for hydroficated automation objects*. Germany, GmbH & Co Publ., 2018. 120 p.
12. Mygushchenko R., Vurye B., Cherkashenko M., Kropachek O., Rezvaya K. *Logic devices of systems of electronic, hydraulic and pneumoautomatics*. Germany, GmbH & Co Publ., 2021. 185 p.

Надійшла (received) 14.11.2023

Відомості про автора / About the Author

Черпаков Микита Ігорович (Cherpakov Mykyta) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри «Гідролічні машини ім. Г. Ф. Проскури»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8801-1489>; e-mail: mykyta.cherpakov@gmail.com