

*М. В. ЧЕРКАШЕНКО, М. І. ЧЕРПАКОВ***СИНТЕЗ СХЕМ СИСТЕМ ГІДРОПНЕВМОПРИВОДІВ НА СЕМИЛІНІЙНИХ РОЗПОДІЛЬНИКАХ**

Метою статті є поглиблене вивчення шляхів вдосконалення гідравлічних і пневматичних систем з використанням семилінійних розподільників. Основні переваги, на які спрямована увага, включають підвищення ефективності, підвищення простоти монтажу, зменшення апаратних витрат та здешевлення гідропневмоприводу, – це основні складові, якими треба керуватись при проєктуванні гідравлічних та пневматичних схем. При досягненні цих показників велику роль має гідроапаратура, що застосовується у системі. Завдяки ідеї використання гранично універсальних модулів, у статті було досліджено розподільники із більшою кількістю ліній ніж у стандартних рішеннях, а саме семилінійні гідро- та пневморозподільники. Надано умовне позначення семилінійного розподільника. Розглянуто мінімальні комбінації функцій, які можуть бути реалізовані за допомогою семилінійних розподільників. Було визначено що можна вважати тригером. Наведено приклади використання семилінійних розподільників при побудові тригерів з домінуючим нулем та тригерів з лічильним входом. Наведено докладний опис роботи таких тригерів. Досліджено можливості розширення функцій командоапарату. Зроблено детальний опис командоапарату, що побудований на семилінійних розподільниках. Надано визначення поняття графу операцій. Побудовано граф операцій для формувальної машини. На основі цього графу побудовані логічні рівняння. Було описується увесь процес роботи системи та стани переходів із урахуванням сигналів, що переводять систему у наступний стан, та сигналів, що діють всередині переходу. Також побудовано пневматичну схему для формувальної машини на основі отриманих логічних рівнянь. Застосовано семилінійний командоапарат для побудови цієї схеми, що демонструє можливості застосування семилінійного командоапарату в практичних умовах. Розглянуто сфери застосування подібного командоапарату та семилінійних розподільників.

**Ключові слова:** семилінійні гідророзподільники, командоапарат, семилінійний командоапарат, синтез схем, гідропневмопривід, тригери.

*М. CHERKASHENKO, M. CHERPAKOV***SYNTHESIS OF HYDROPNEUMATIC DRIVE SYSTEM SCHEMES ON SEVEN-LINEAR DISTRIBUTORS**

The purpose of the article is an in-depth study of ways to improve hydraulic and pneumatic systems using seven-line distributors. The main advantages focused on include increased efficiency, increased ease of installation, reduced hardware costs, and lower cost of the hydropneumatic actuator, these are the main components that must be guided when designing hydraulic and pneumatic circuits. When achieving these indicators, the hydraulic equipment used in the system plays an important role. Due to the idea of using extremely universal modules, the article investigated distributors with more lines than in standard solutions, namely seven-line hydraulic and pneumatic distributors. The conventional notation of the seven-line distributor is given. The minimal combinations of functions that can be implemented using seven-line distributors are considered. It was determined what can be considered a trigger. Examples of the use of seven-line dividers in the construction of flip-flops with a dominant zero and flip-flops with a counting input are given. A detailed description of the operation of such triggers is given. The possibility of expanding the functions of the command apparatus was investigated. A detailed description of the command apparatus built on seven-line distributors is made. The definition of the concept of graph of operations is given. A graph of operations for a molding machine is built. On the basis of this graph, logical equations are constructed that describe the entire system operation process and transition states, taking into account the signals that move the system to the next state and the signals acting inside the transition. A pneumatic circuit for the molding machine was also constructed based on the obtained logic equations. A seven-line command apparatus was used to build this scheme, which demonstrates the possibilities of using a seven-line command apparatus in practical conditions. The areas of application of such command apparatus and seven-line distributors are considered.

**Keywords:** seven-line hydraulic distributors, command device, seven-line command device, circuit synthesis, hydropneumatic drive, triggers.

**Вступ.** Основним завданням при розробці системи гідропневмоавтоматики є синтез одно- та многотактних схем. Під час роботи над синтезом таких схем можна зіткнутися з проблемою мінімальної кількості елементів логічної схеми. Тобто більша кількість елементів здорожчує та ускладнює схему, тож ми, в обличчі розробника, прагнемо зменшити кількість елементів. Це зменшення дозволяє як підвищити надійність, так і зменшити вартість, габарити системи, підвищити швидкість роботи та монтажу, а також спростити експлуатацію кінцевої системи.

У ряді випадків практично доцільно створювати пристрої, які реалізують будь-яку логічну функцію будь-якого числа змінних шляхом використання невеликої кількості елементів. Тому, були створені гранично-універсальні модулі, які реалізують, наприклад, повний набір функцій трьох змінних, і декомпозиційні методи, які дозволяють реалізувати будь-яку логічну схему з  $n$  вхідними сигналами. Роль декомпозиції полягає у мінімізації вже синтезованої

системи рівнянь шляхом виділення повторюючихся частин рівнянь та їх вилучення [1].

Гідро- та пневмоапаратура, що випускається серійно може містити серійні розподільники (наприклад, трилінійні) з одностороннім управлінням. У той же час, ці пристрої можуть бути побудовані із меншою кількістю апаратури, наприклад з використанням чотирьох- та п'ятилінійних розподільників [1; 2].

Командоапарат таких серійних пристроїв буде збільшуватись за рахунок кількості елементів та специфіки з'єднання елементів, в яких вихідні канали одного розподільника, з'єднані з вхідним каналом попереднього розподільника дерева пристрою. Оскільки сутність командоапарату в тому, що це – ланцюжок тригерів з розділними входами, які вмикаються сигналом з наступного виходу тригера, а вмикаються кон'юнкцією відповідного вхідного сигналу із сигналом виходу попереднього елемента пам'яті.

Елементом пам'яті або тригером слід вважати

пристрій, у якого є два стабільних стани, що змінюються елементами керування. Наступним після останнього тригера йде перший. Наявність такого блоку пам'яті дозволяє виключити різні неприпустимі стани системи, але і збільшує кількість елементів у дереві системи. Розростання дерева пристрою можна уникнути за рахунок збільшення лінійності гідро- та пневморозподільників [3].

У цьому випадку оптимальним рішенням є використання семилінійних розподільників із двостороннім управлінням, які, у свою чергу, будуть реалізовувати логічну функцію для великої кількості вхідних сигналів.

**Семилінійні розподільники.** Основне призначення розподільника – це зміна напрямку потоку робочої рідини в двох або більше гідролініях залежно від зовнішньої керувальної дії [4]. Тож семилінійним розподільником є той, який має у собі можливість змінювати напрям потоку робочої рідини у 7 гідролініях. Використання семилінійних розподільників є продовженням ідеї граничноуніверсальних логічних модулів, описаних у [3–8].

То все таки, які можна побудувати конфігурації за допомогою семилінійного клапану? Це може бути комбінації декількох логічних функцій в межах одного гідро- або пневморозподільника. Наприклад, дві функції І в одному клапані, дві функції АБО в одному клапані, функції І-АБО та АБО-І в одному клапані, функції АБО-АБО та АБО-І в одному клапані, тощо. І все це в рамках одного розподільника, що забезпечує зменшення кількості апаратури, підвищення надійності за рахунок можливості додати опції гідролініям, підвищує діапазон застосування.

**Тригери.** Розглянемо можливості застосування семилінійних розподільників у побудові тригерів. Схеми цих тригерів наведено на рис. 1.

Тригер з домінуючим нулем (рис. 1, а), що містить лише один розподільник [5], працює наступним чином. У початковій позиції тиск живлення на виході ( $y = 0, \bar{y} = 1$ ). Під час подачі на вмикаючий вхід сигналу  $S = 1$  розподільник перемикається, і тиск живлення надходить на вихід

( $y = 1$ ). Одночасно тиск з виходу ( $y = 0$ ) скидається в атмосферу. Сигнали на виходах запам'ятовуються ( $y = 1, \bar{y} = 0$ ) при знятті вхідного сигналу ( $S = 0$ ). Під час подачі на вмикаючий вхід сигналу ( $R = 1$ ) розподільник під дією тиску і зусилля пружини повертається в початкове положення незалежно від значення сигналу:  $S = 1$  або  $S = 0$ . Подальша робота після зняття сигналу проходить так само, як і під час подачі вмикаючого сигналу  $S = 1$ .

Тригер з лічильним входом [6] (рис. 1, б) працює наступним чином. У початковій позиції тиск живлення надходить на вихід ( $\bar{y} = 1, y = 0$ ); за сигналом  $S = 1$  перемикається розподільник 1, і одночасно тиск подається в камеру управління розподільника 2; при цьому  $y = 1$ , а  $\bar{y} = 0$ . Під час зняття сигналу ( $S = 0$ ) сигнали на виходах зберігають свої значення  $\bar{y} = 0, y = 1$ . Якщо знову подати сигнал  $S = 1$ , розподільник 1 перемикається в початкову позицію, при цьому  $\bar{y} = 1, y = 0$ , а розподільник 2 залишається у ввімкненому стані. Під час зняття вхідного сигналу ( $S = 0$ ) значення сигналів на виходах залишаються  $\bar{y} = 1, y = 0$ , а розподільник 2 під дією пружини перемикається в початкове положення. Подальша робота проходить аналогічно до попередньо описаному при подачі сигналу  $S = 1$ .

Тригер з лічильним входом [7] (рис. 1, в) формує сигнал, рівний 1, у вихідних каналах по передньому фронту вхідного сигналу, а сигнал, який дорівнює 0, – по задньому фронту вхідного сигналу. Тригер працює таким чином: у початковому стані тиск живлення надходить у вихідний канал, при цьому  $\bar{y} = 1, y = 0$ . Під час подачі вхідного сигналу  $S = 1$  розподільник 1 перемикається, одночасно сигнал подається в камеру управління розподільника. Сигнал  $S = 1$  зберігає сигнал  $y = 1$ . Під час зняття вхідного сигналу ( $S = 0$ ) сигнал на виході  $\bar{y} = 0$ , а  $y = 1$ , одночасно розподільник 2 перемикається. Якщо знову подати сигнал  $S = 1$ , то розподільник 1 перемикається в початкову позицію, при цьому  $y = 1$ , а сигнал живлення надходить на вихід ( $\bar{y} = 1$ ). Під час скидання вхідного сигналу  $\bar{y} = 1$ , а  $y = 0$ . Одночасно під дією пружини розподільник 2 повертається в початкове положення. Далі робота повторюється.

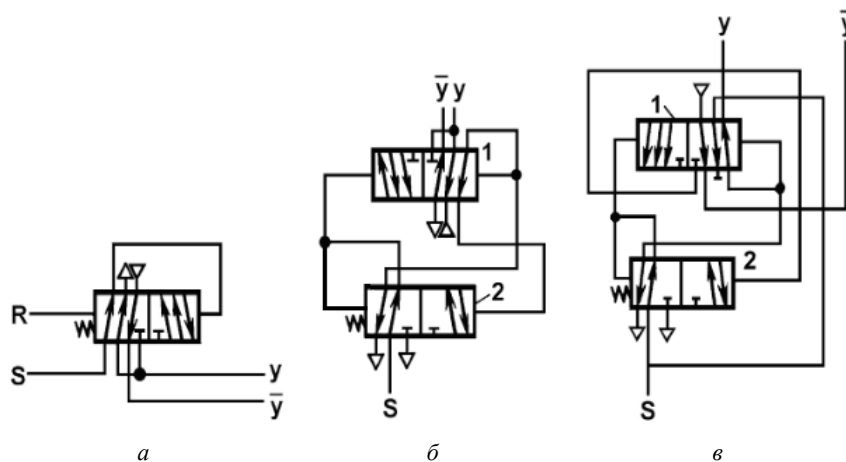


Рис. 1. Тригери, побудовані з використанням семилінійних розподільників

**Семилінійний командоапарат.** Окрім побудови тригерів, семилінійні розподільники можуть бути застосовані у побудові командоапарату. Грунтуючись на [5–8], опишемо роботу семилінійного командоапарату (рис. 2).

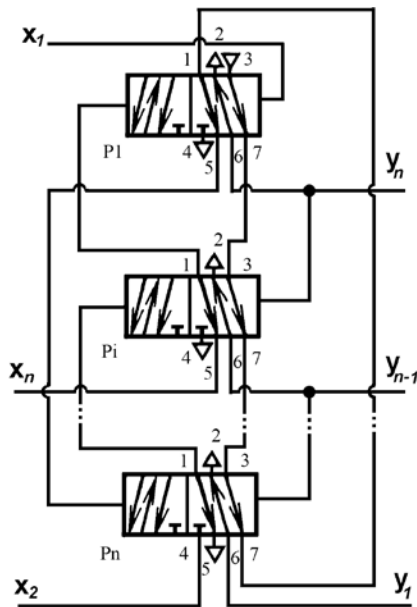


Рис. 2. Схема командоапарату, побудованого на семилінійних розподільниках

На початку роботи всі семилінійні розподільники знаходяться в початковому положенні. При цьому тиск живлення через канали 3 та 7 всіх пневморозподільників надходить у канал 1 пневморозподільника P1 і далі через його канал 5 – в інверсну керуючу камеру пневморозподільника Pn, який, перемикаючись, з'єднує канали 3 і 6, і на виході  $y_1$  з'являється одиничний сигнал, тобто  $y_1 = 1$ .

При подачі вхідного сигналу  $x_2 = 1$ , проходячи через канали 4 та 1 пневморозподільника Pn, тиск надходить в інверсну керуючу камеру 4 пневморозподільника Pi, перемикаючи його. При цьому тиск живлення через канали 3 і 6 пневморозподільника Pi надходить на вихід  $y_{n-1}$  пристрою. Крім того, пневморозподільник Pn перемикається у початкове положення, і тиск живлення з виходу  $y_1$  через канали 6 і 2 пневморозподільника Pn скидається в атмосферу. Таким чином, сигнал на виході з'являється у такті

роботи, наступному за тактом, у якому вихідний сигнал  $y_1 = 1$  тощо.

При подачі сигналу на введення  $x_n = 1$  тиск через канали 4 і 1 пневморозподільника Pi надходить в інверсну керуючу камеру пневморозподільника 1, перемикаючи його. Тиск живлення через канали 3 та 6 пневморозподільника 1 надходить на вихід  $y_n$  пристрою, крім того, пневморозподільник Pi перемикається у початкове положення, і тиск з виходу  $y_{n-1}$  через канали 6 і 2 пневморозподільника Pi скидається в атмосферу.

При подачі у пряму керуючу камеру пневморозподільника 1 вхідного сигналу  $x_1 = 1$  пневморозподільник 1 повертається у початкове положення, з'являється вихід  $y_1$  з повторенням циклу.

Таке виконання пневматичного пристрою управління дозволяє спростити конструкцію, а саме, скоротити кількість апаратів, тож основною метою є підвищення ефективності та зменшення апаратних затрат. Це може знайти місце у багатьох сферах машинобудування, зокрема й для модернізації гідросистем верстатів або використанні даного командоапарату у модульному виконанні [9; 10]. Також така система має потенціал використання у сучасних роботизованих системах, які можуть мати у собі цифрову та пропорційну гідравлічну апаратуру, промислові логічні контролери [11] або використовувати технологію комп'ютерного зору.

Розглянемо синтез пневматичної системи управління, запропонований М. Черкашенко [11]. Для цього візьмемо його граф операцій. Графом є безліч яких-небудь елементів, зв'язаних між собою співвідношеннями [12]. Граф операцій репрезентує цикл, по якому рухаються виконавчі механізми гідропневмоприводу. Отже, маємо граф операцій на рис. 3.

На основі графу, керуючись [1; 2] та дослідженнями зробленими у [11] виводимо наступні рівняння. Рівняння функцій мають вигляд:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= w = \bar{z}_7 = x_9 y_3; S_2 = \bar{z}_2 = z_3 = z_6 = \tau; \\
 S_3 &= \bar{z}_3 = z_8 = x_4; R_1 = y_2; R_2 = y_3; R_3 = y_1; \\
 z_1 &= x_1 + x_{11}; \bar{z}_1 = w + \tau; z_2 = x_{11}; z_4 = z_7 = x_5 x_8; \\
 \bar{z}_4 &= x_{10}; z_5 = x_7 y_1; \bar{z}_5 = \bar{z}_6 = x_5 x_7 y_2; \\
 z_8 &= x_4 - \text{видування форми.}
 \end{aligned}$$

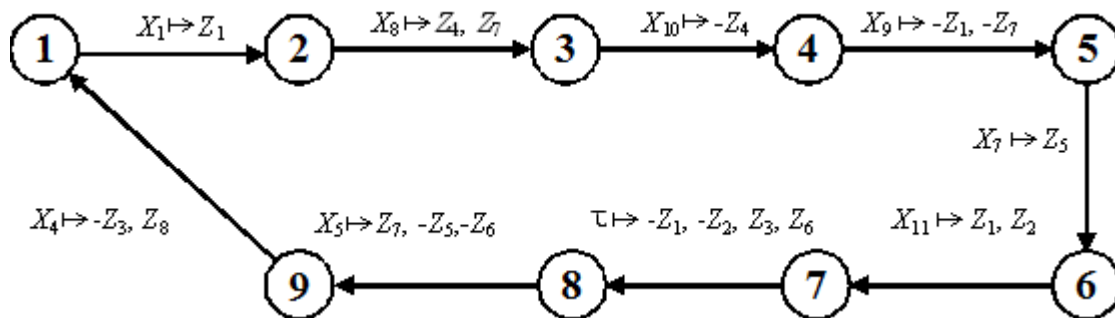


Рис. 3. Граф операцій формувальної машини:  
-Z – сигнал на повернення штока циліндра у вихідне положення

Отримавши ці рівняння, на основі графу операцій можемо побудувати схему із застосуванням семилінійного командоапарату. Ця схема відповідає графу операцій та зображена на рис. 4.

**Висновок.** Таким чином, використання семилінійних розподільників має великий спектр застосування. Вони можуть бути використані для побудови різноманітних тригерів, підвищити надійність системи. Використання таких розподільників у командоапараті дозволяє спростити його конструкцію за умови, що кожен наступний такт здійснюється при контролі попереднього такту. Таке

виконання пневматичного пристрою управління дозволяє скоротити кількість апаратів у командоапараті, тож основною метою є підвищення ефективності та зменшення апаратних затрат. Потенціал застосування такої системи може знайти місце у багатьох сферах машинобудування як для модернізації гідросистем верстатів, так і для використання у сучасних роботизованих системах. Забезпечення надійності такими розподільниками може стати у нагоді в гідроенергетиці, машинобудівництві та місцях, де має сенс критично зменшувати кількість апаратури.

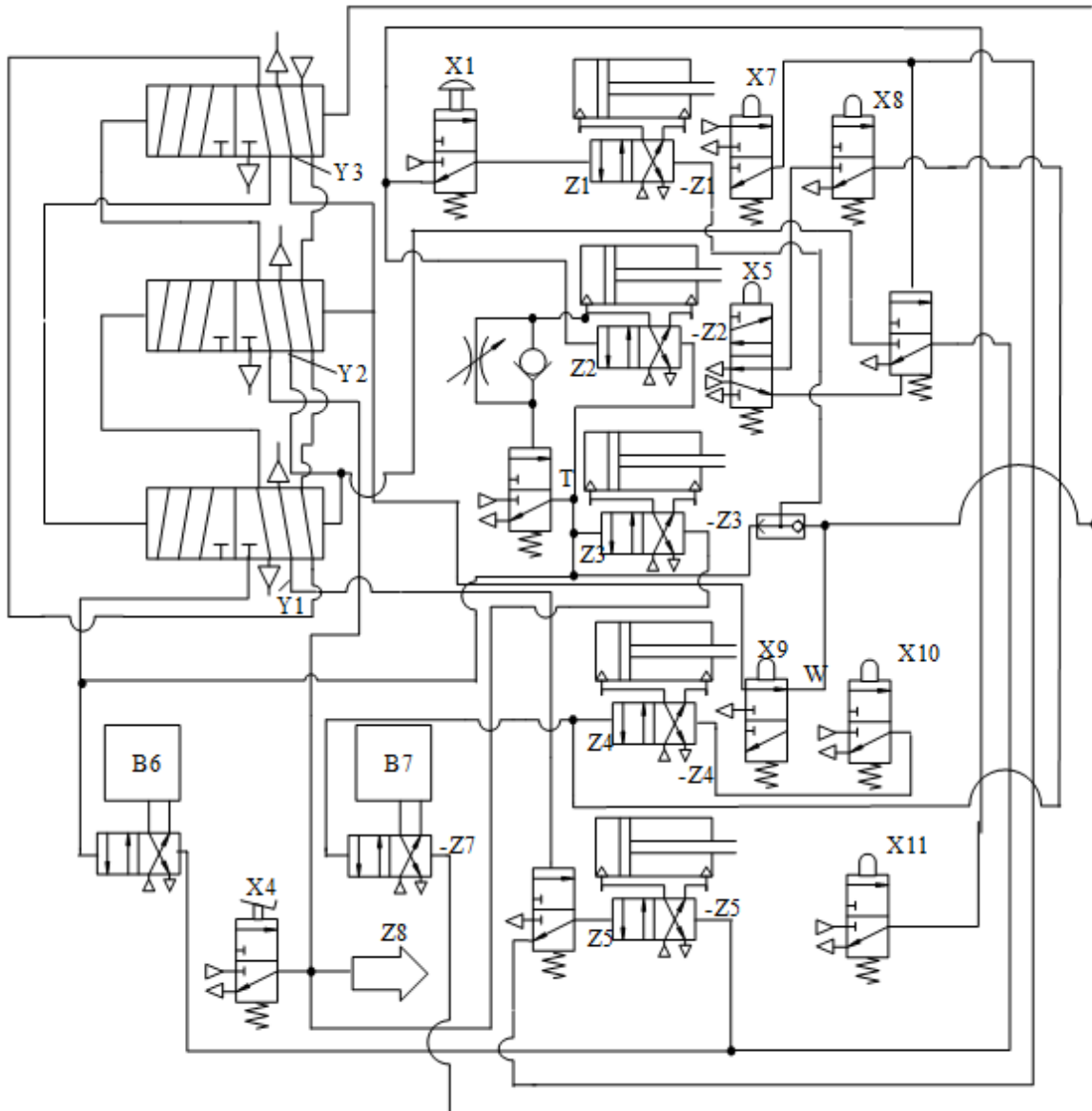


Рис. 4. Схема пневматичної системи керування формувальної машини із використанням семилінійного командоапарату: Т – сигнал з виходу реле часу

#### Список літератури

1. Черкашенко М. В. *Автоматизація проектування систем гідро-і пневмоприводів з дискретним управлінням*. Харків: НТУ «ХП», 2001. 182 с.
2. Сокол С., Черкашенко М., Потетенко О., Дранковський В., Гасюк О., Гриб О. *Гідроенергетика. Т. 2. Гідравлічні машини*. Харків: НТУ «ХП», 2020. 534 с.
3. Черкашенко М. В., Вурье Б. А. *Теорія побудови схем гідропневмоагрегатів*. Харків: НТУ «ХП», 2016. 253 с.
4. Мигущенко Р. П., Кропачек О. Ю. *Елементи цифрової електроніки в технічних пристроях*. Харків: НТУ «ХП», 2013. 255 с.
5. Черкашенко М. В., Барський О. Б. Авторське свідоцтво 1012226. *Пневматичний тригер з роздільними входами*. 1983.
6. Черкашенко М. В., Барський О. Б. Авторське свідоцтво 1062673. *Пневматичний тригер з лічильним входом*. 1983.
7. Черкашенко М. В., Барський О. Б. Авторське свідоцтво

1111144. Пневматичний тригер з лічильним входом. 1984.
8. Келерман Ю. І., Черкашенко М. В., Сметанка Л. А., Писаренко А. П. Авторське свідоцтво 935933. *Пневматичний пристрій управління*. 1982.
  9. Fatyeyev O., Fatieieva N., Sushko S., Pastushenko A., Ponomarov V. Comparative Analysis of Design Methods for Pneumatic Control Systems. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham: Springer, 2023. P. 23–32. doi: org/10.1007/978-3-031-32774-2\_3
  10. Черпаков М. І. Підвищення ефективності свердлильного верстата за допомогою структурної організації. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2023. No. 2. P. 85–88. doi: 10.20998/2411-3441.2023.2.13
  11. Cherkashenko M. Synthesis of minimal schemes of systems control of hydraulic and pneumatic drives. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv: NTU "KhPI". 2023. No. 1. P. 12–17. doi: 10.20998/2411-3441.2023.1.02
  12. Harary F. *Graph Theory*. Boston: Addison-Wesley, 1971. 274 p.
- References (transliterated)**
1. Cherkashenko M. V. *Avtomatyzatsiya proektuvannya system hidro- i pnevmopryvodiv z dyskretnym upravlinnyam* [Automating the design of hydraulic and pneumatic drive systems with discrete control]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2001. 182 p.
  2. Sokol Ye., Cherkashenko M., Potetenko O., Drankovs'kyi V., Hasyuk O., Hryb O. *Hidroenerhetyka. Tom 2. Hidravlichni mashyny* [Hydropower engineering. Vol. 2. Hydraulic machines]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2020. 534 p.
  3. Cherkashenko M. V., Vur'e B. A. *Teoriya pobudovy skhem hidropnevmoahrehativ* [The theory of designing hydraulic pneumatic units]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2016. 253 p.
  4. Myhushchenko R. P., Kropachek O. Yu. *Elementy tsyfrovoyi elektroniky v tekhnichnykh prystroyakh* [Digital electronics elements in technical devices]. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2013. 255 p.
  5. Cherkashenko M. V., Bars'kyi O. B. *Pnevmatychnyy tryher z rozdil'nymy vkhodamy* [Pneumatic trigger with separate inputs]. Patent, no. 1012226, 1983.
  6. Cherkashenko M. V., Bars'kyi O. B. *Pnevmatychnyy tryher z lichyl'nym vkhodom* [Pneumatic trigger with counting input]. Patent, no. 1062673, 1983.
  7. Cherkashenko M. V., Bars'kyi O. B. *Pnevmatychnyy tryher z lichyl'nym vkhodom* [Pneumatic trigger with counting input]. Patent, no. 1111144, 1984.
  8. Kelerman Yu. I., Cherkashenko M. V., Smetanka L. A., Pysarenko A. P. *Pnevmatychnyy prystriy upravlinnya* [Pneumatic control device]. Patent, no. 935933, 1982.
  9. Fatyeyev O., Fatieieva N., Sushko S., Pastushenko A., Ponomarov V. Comparative Analysis of Design Methods for Pneumatic Control Systems. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing VI. DSMIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Cham, Springer Publ., 2023, pp. 23–32. doi: org/10.1007/978-3-031-32774-2\_3
  10. Cherpakov M. I. Pidvyshchennya efektyvnosti sverdylnoho verstata za dopomohoyu strukturnoyi orhanizatsiyi [Increasing the efficiency of the drilling machine with structural organization]. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2023, no. 2, pp. 85–88. doi: 10.20998/2411-3441.2023.2.13
  11. Cherkashenko M. Synthesis of minimal schemes of systems control of hydraulic and pneumatic drives. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Hydraulic machines and hydraulic units*. Kharkiv, NTU "KhPI" Publ., 2023, no. 1, pp. 12–17. doi: 10.20998/2411-3441.2023.1.02
  12. Harary F. *Graph Theory*. Boston, Addison-Wesley Publ., 1971. 274 p.

Надійшла (received) 14.10.2024

### Відомості про авторів / About the Authors

**Черкашенко Михайло Володимирович (Cherkashenko Mykhailo)** – доктор технічних наук, професор, головний редактор Вісника Національного технічного університету «ХПІ», серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3908-7935>; e-mail: [mchertom@gmail.com](mailto:mchertom@gmail.com)

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