

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

UDC 621.865.85

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2025.55.43-49>

Vitalii Mazhara, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Anatolii Artiukhov**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Maksym Hodunko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Kyryl Shcherbyna**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Svitlana Tenenyka**, Lecturer

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

e-mail: majara@ukr.net

Structural Design of Robotic Complexes

To find the most appropriate designs for robotic complexes, the article proposes the use of a structural method for designing such complexes. A distinctive feature of the developed method is that it takes into account the characteristics of the parts being processed, the specifics of the operation being performed, the features of the technological equipment used, the type and design of industrial robots and auxiliary devices, etc. A multi-variant structure for the functioning of a robotic complex has been developed. It serves as the basis for considering issues related to the planning structure and the logic of its functioning, etc.

structural design, robotic technological complex, industrial robot, auxiliary devices, technological equipment

Problem statement. The design of robotic complexes is a complicated multi-level process that requires consideration of a large number of technical, organizational, and functional factors. One of the key stages of this process is structural analysis, which allows determining the rational structure of the complex, establishing interrelationships among its elements, and optimizing functional connections. Lack of or insufficient attention to structural analysis can lead to the emergence of incompatible elements, overload of certain elements, and reduced reliability and efficiency of the complex as a whole. This is particularly important in modern production conditions, where the requirements for productivity, energy efficiency, and flexibility of automation systems are increasing. Structural analysis minimizes the risk of technical failures and allows the creation of systems that can quickly adapt to changes in production tasks.

Therefore, structural research of robotic technological complexes (RTC) is one of the important methods for finding their rational layouts.

Analysis of main research and publications. The issue of structural research in the design of robotic complexes has been addressed in many works, which consider both theoretical approaches and practical implementation [1-6].

Scientists in the field of robotics have paid considerable attention to methods of modeling and synthesizing such RTC subsystems as industrial robots. The works of Professor Pavlenko I.I. [7, 8, 9] are devoted to structural research and the determination of appropriate assembly schemes for industrial robots as one of the main elements of a robotic complex.

Literature sources also contain studies on the structural design of industrial robot grippers. These studies were conducted both for classic gripper designs [10] and for dual-gripper designs of industrial robots [11, 12]. Such studies are very relevant, since grippers are the executive parts of certain robots and the overall performance of a robotic complex depends on them.

The issue of the structural design of receiving and feeding devices and the functioning of industrial robots in the positions of auxiliary devices has also been reflected in the works of scientists who studied the issue of production robotization [1, 13].

Considerable attention has been paid to assessing the reliability and safety of robotic systems. Methods have been developed for analyzing failures and protecting against incorrect operating modes.

Literature sources also contain planning and layout studies conducted through the prism of the productivity structure of machine-tool robotic complexes [14, 15, 16].

A review of publications shows that the modern approach to the structure of robotic complexes has been considered by scientists from various angles, ranging from the element base to compositional studies based on a combination of system analysis and modular design of RTCs. At the same time, we can note the lack of generalized methods for a comprehensive assessment of layout solutions, which determines the directions for further research. Such methods should combine technical, organizational, and economic criteria when choosing the structure of the complex.

Objective statement. The objective of the work is to develop a structural approach for finding feasible options for robotic systems that will take into account the characteristics of the parts being processed, the type of operation, the features of the technological equipment used, industrial robots, auxiliary devices, etc.

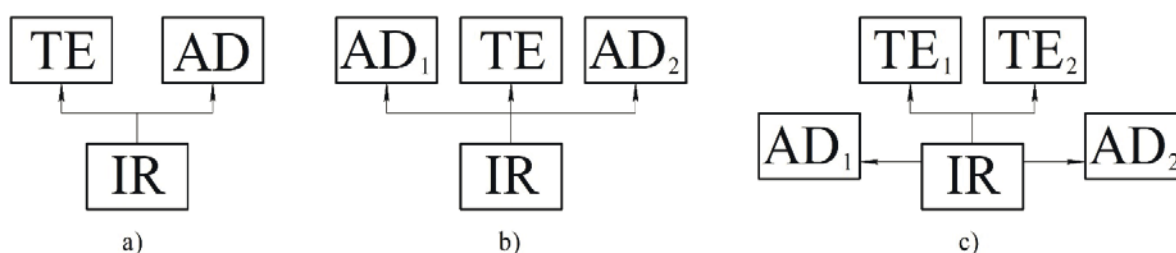
To achieve our goal, we tackled the following tasks:

- development of a generalized structure of the RTC;
- development of the structure of initial data for RTC design;
- development of the structure of the RTC element base;
- development of the RTC layout structure;
- development of a multi-variant structure for the operation of the robotic complex.

Main material. To create effective robotic complexes (RTC), it is necessary to conduct a thorough analysis based on the following criteria: the composition of the element base (equipment) of the RTC, the structural and functional characteristics of the RTC's elements, the layout of the equipment, and the structural and functional connections between the elements and the production environment.

Since there can be many options for RTCs, it is necessary to analyze the features of the structure and operation of the machine (machines), industrial robot, and auxiliary devices, as well as the combination of their layout, in order to determine the most appropriate designs.

The initial simplified structure of the RTC is shown in Fig. 1.



IR – industrial robot; TE – technological equipment; AD – auxiliary devices

Figure 1 – Simplified structure of RTC

Source: developed by the authors

The examples above show that an RTC can include different numbers of technological equipment (TE) and auxiliary devices (AD). Thus, it is possible to have a complex consisting of one machine tool and one auxiliary device (Fig. 1, a), or one machine tool and two devices (Fig. 1, b). It is also possible to implement an RTC with two machines and two auxiliary devices (Fig. 1, c). In this case, the auxiliary devices in the RTC can perform both feeding and receiving functions, or separately feeding and receiving functions.

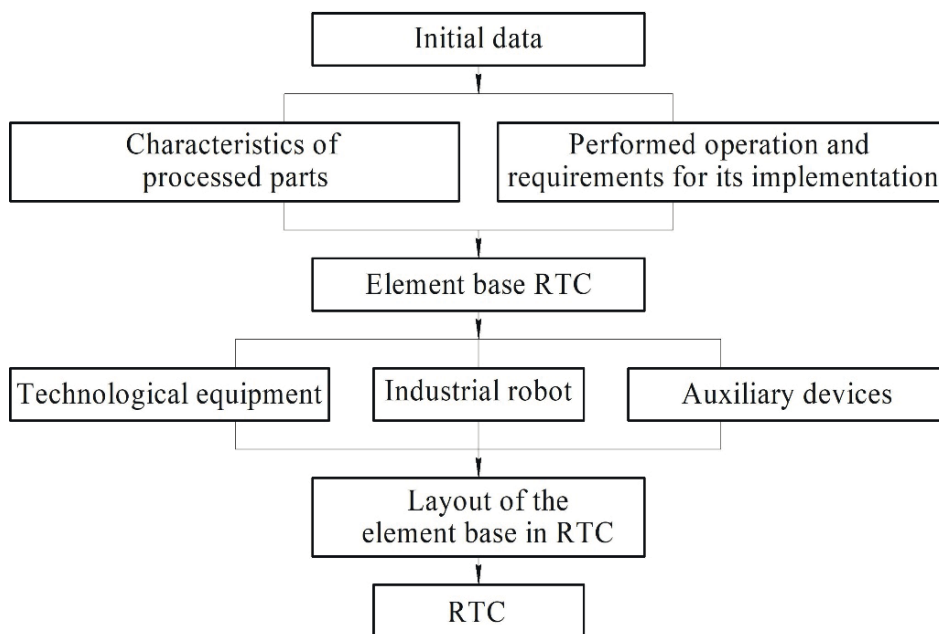


Figure 2 – Generalized structure for creating RTC

Source: developed by the authors based on [9]

The generalized structure for creating an RTC is shown in Fig. 2. This structure lists the main factors that must be taken into account when creating a robotic complex.

Considering significant complexity and variability of the design of robotic complexes, the detailed structure of the RTC can be presented in separate components. The structure of initial data is shown in Fig. 3.

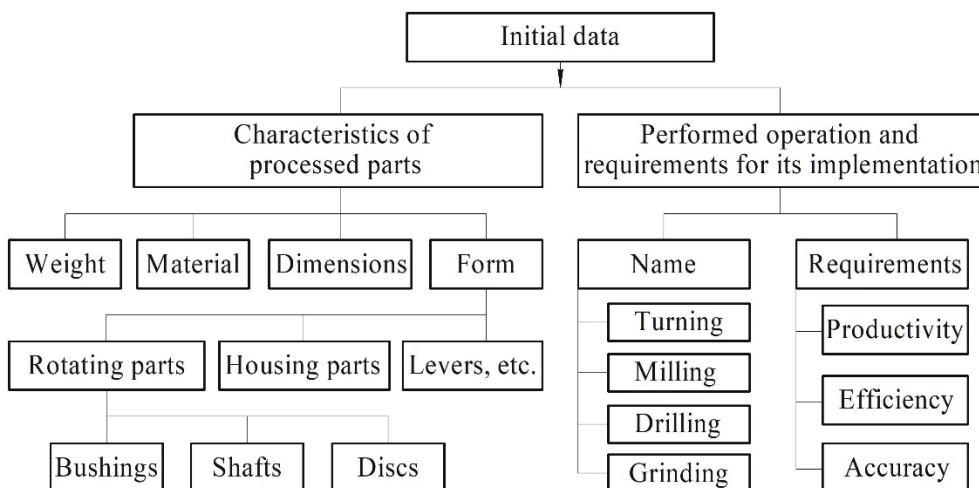


Figure 3 – Initial data structure

Source: developed by the authors

The structure of the RTC element base takes into account the main components of its structure and, accordingly, its functioning and other performance features. An example of such a structure is shown in Fig. 4.

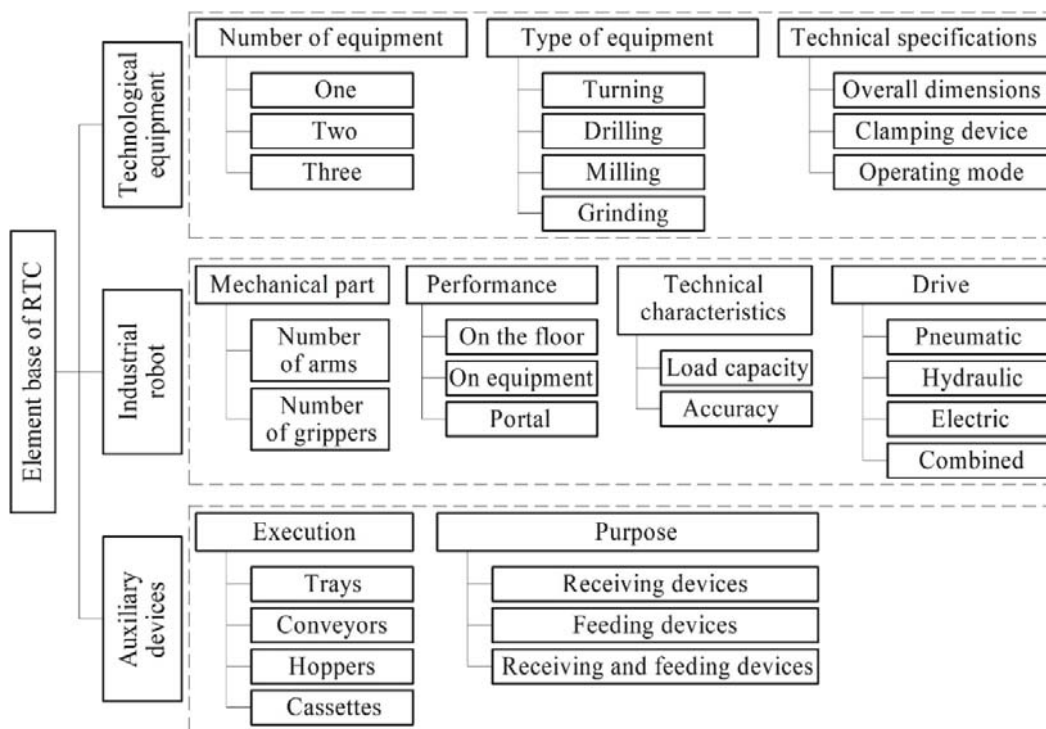


Figure 4 – Structure of the RTC element base

Source: developed by the authors

An important component of the overall structure of the complex is the layout of the element base, as shown in Fig. 5.

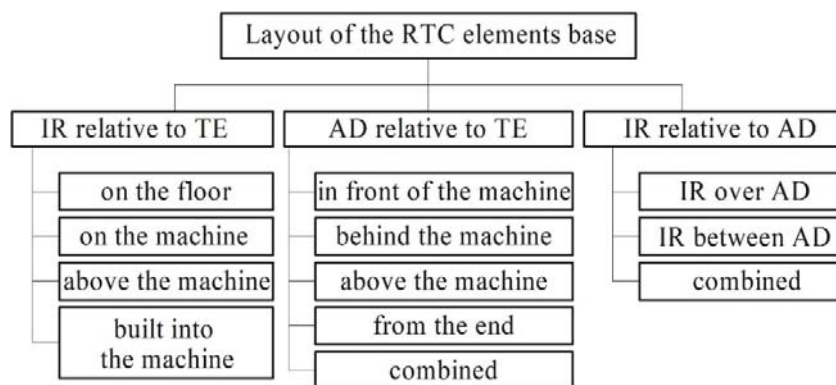


Figure 5 – Compositional structure of RTC

Source: developed by the authors

As a result, the structure of the RTC can be represented as interconnected and mutually influencing components. This version of the structure is presented in simplified form in Fig. 6.

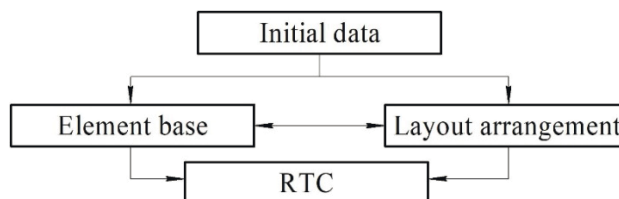


Figure 6 – Simplified structure of RTC operation

Source: developed by the authors

Choosing a rational RTC option requires a structural assessment of its functioning. With regard to the task at hand, this may involve determining basic options for moving the workpiece within the RTC, which determines the main content of its functioning. Examples of some options for the functioning (movement) of parts are shown in Fig. 7.

This structure shows three options for operation:

- Option 1 (shown by a dash-dotted line): the workpiece is placed on machine 1 by robot 1 from the auxiliary device, then moved to machine 2 for further processing, and then placed in auxiliary device 2;

- Option 2 (shown by a solid line): the workpiece is placed on machine 1 by a robot from auxiliary device 1 and, after processing, is moved to auxiliary device 2;

- Option 3 (shown by a dashed line): the workpiece from auxiliary device 1 is placed on machine 1 by a robot and, after processing, is moved to the same auxiliary device 1.

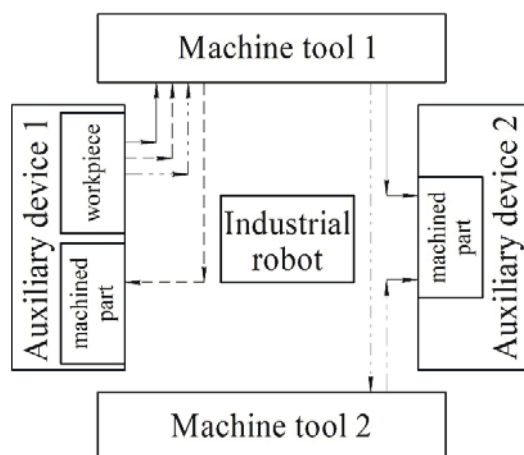


Figure 7 – Structure of the RTC functioning

Source: developed by the authors based on [6]

In addition to this functional structure, there may be other options that take into account the specifics of the robot's performance (one-armed or two-armed, etc.), the specifics of the movements performed, both in terms of movement and orientation.

Conclusions. 1. It is proposed to use a structural method to search for appropriate implementations of robotic complexes, taking into account the characteristics of the parts being processed, the operation being performed, the features of the technological equipment used, industrial robots, auxiliary devices, etc.

2. A multi-variant structure for the functioning of a robotic complex has been developed, which is the basis for considering issues related to the planning structure, the logic of its functioning, etc.

Resolving these issues will allow, at the initial stage of RTC design, to reasonably determine the appropriate options for the complex for the relevant conditions of its functioning.

References

1. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси : Монографія. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2019. 384 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11871>
2. Иванов В. О., Дегтярьов І. М. Технологічні основи гнучких автоматизованих виробництв : Навчальний посібник . Суми : Сумський державний університет, 2022. 203 с.
3. Triantafyllou Pavlos, Afonso Rodrigues Rafael, Chaikunsaeng Sirapoab, Almeida Diogo, Deacon Graham, Konstantinova Jelizaveta & Cotugno Giuseppe. (2021). A Methodology for Approaching the Integration of Complex Robotics Systems Illustrated through a Bi-manual Manipulation Case-Study. DOI: 10.48550/arXiv.2103.10242

4. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи : проектування і моделювання [Електронний ресурс] : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41388> (дата звернення: 02.10.2025).
5. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Мисик М. М. Гнучке автоматизоване виробництво і роботизовані комплекси : Навчальний посібник. Львів : «Магнолія 2006», 2025. 278 с.
6. Павленко І. І., Мажара В. А., Короп В. П. Особливості структури роботизованих технологічних комплексів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 2010. №. 40 (2). С. 221-226. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2440>
7. Павленко І. І. Промислові роботи : основи розрахунку та проектування. Кіровоград : КНТУ, 2007. 420 с.
8. Павленко І. І. Структура промислових роботів. Кіровоград : КІСМ, 1998. 100 с.
9. Сало, В. М., Годунко, М. О. (2008). Аналіз основних умов впровадження промислових роботів у сільськогосподарське машинобудування. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 38. Кіровоград: КНТУ, 2008. С. 125–128. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2170>
10. Павленко І. І., Годунко М. О. Конструктивна та силова структура захватних пристроїв промислових роботів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 36. Кіровоград: КНТУ, 2006. С. 44 – 49. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/1751>
11. Павленко І. І., Мажара В. А. Конструктивно-кінематична структура двозахватних пристроїв промислових роботів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : Збірник наукових праць. Вип. 19. Краматорськ; Київ, 2006. С. 104 – 109. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5050>
12. Павленко І. І., Мажара В. А. Конструктивна структура двозахватних пристроїв промислових роботів : *Збірник наукових праць КНТУ*. Вип. 17. Кіровоград : КНТУ, 2006. С. 292–296. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5639>
13. Павленко, І. І., Мажара, В. А. (2005). Продуктивність функціонування двозахватних промислових роботів на позиціях допоміжних пристроїв. *Прогресивні технології і системи машинобудування : міжнародний зб. наук. пр.* Донецьк : ДонНТУ, 2005. Вип. 30. С. 170–175. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5049>
14. Мажара, В. А., Годунко, М. О. (2018). Основи гнучкого автоматизованого виробництва. *Кропивницький* : ЦНТУ, 2018. 32 с. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/9037>
15. Павленко І. І., Мажара В. А. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів. *Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем* : Збірник наукових праць. Вип. 17. Краматорськ : ДДМА, 2005. С. 131–137. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5048>
16. Павленко І. І., Мажара В. А., Сторожук М. О. Структурні планувально-компонувальні дослідження роботизованих комплексів. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. 2010. №. 23. С. 96–100. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/718be77f-1ec9-45be-a941-776513f4de7d/content>

References

1. Pavlenko, I.I. & Mazhara, V.A. (2019). *Robotic technological complexes*. Kropyvnytskyi: TOV «KOD». URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/11871> [in Ukrainian].
2. Ivanov, V.O., & Dehtiarov, I.M. (2022). *Technological foundations of flexible automated production* : Textbook. Sumy: Sumskyi derzhavnyi universytet [in Ukrainian].
3. Triantafyllou Pavlos, Afonso Rodrigues Rafael, Chaikunsaeng Sirapoab, Almeida Diogo, Deacon Graham, Konstantinova Jelizaveta & Cotugno Giuseppe. (2021). *A Methodology for Approaching the Integration of Complex Robotics Systems Illustrated through a Bi-manual Manipulation Case-Study*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2103.10242>
4. Polishchuk, M.M. & Tkach, M.M. (2021). *Robotic systems: design and modeling* [Electronic resource] : Textbook. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41388> [in Ukrainian].
5. Dudiuk, D.L., Mazepa, S.S. & Mysyk, M.M. (2025). *Flexible automated production and robotic complexes* : Textbook. Lviv: «Mahnoliia 2006» [in Ukrainian].
6. Pavlenko, I.I., Mazhara, V.A. & Korop, V.P. (2010). Features of the structure of robotic technological complexes. *Design, manufacture, and operation of agricultural machinery*. 40 (2), 221–226. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2440> [in Ukrainian].
7. Pavlenko, I.I. (2007). *Industrial robots : fundamentals of calculation and design*. Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].

8. Pavlenko, I.I. (1998). *Structure of industrial robots*. Kirovohrad: KIAE [in Ukrainian].
9. Salo, V.M. & Hodunko M.O. (2008). Analysis of the main conditions for the introduction of industrial robots in agricultural engineering. National interdepartmental scientific and technical collection. *Design, manufacture, and operation of agricultural machinery*. 38, 125–128. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/2170> [in Ukrainian].
10. Pavlenko, I.I. & Hodunko, M.O. (2006). The design and power structure of industrial robot grippers. National interdepartmental scientific and technical collection. *Design, manufacture, and operation of agricultural machinery*. 36, 44–49. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/1751> [in Ukrainian].
11. Pavlenko, I.I. & Mazhara, V.A. (2006). Structural and kinematic structure of dual-gripper devices for industrial robots. Tool reliability and optimization of technological systems. Collection of scientific papers of DSMA. 19, 104–109. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5050> [in Ukrainian].
12. Pavlenko, I.I. & Mazhara, V.A. (2006). The design structure of dual-gripper devices for industrial robots. *Collection of scientific papers of KNTU*. 17, 292–296. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5639> [in Ukrainian].
13. Pavlenko, I.I. & Mazhara, V.A. (2005). Productivity of functioning of double-grip industrial works at auxiliary device positions. *Progressive technologies and mechanical engineering systems*. 30, 170–175. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5049> [in Ukrainian].
14. Mazhara, V.A. & Hodunko M.O. (2018). *Fundamentals of Flexible Automated Manufacturing*. Kropyvnytskyi: CUNTU <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/9037> [in Ukrainian].
15. Pavlenko, I.I. & Mazhara, V.A. (2005). The structure of productivity of machine-tool robotic complexes. *Tool reliability and optimization of technological systems. Collection of scientific papers of DSMA*. 17, 131–137. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5048> [in Ukrainian].
16. Pavlenko, I.I., Mazhara, V.A. & Storozhuk, M.O. (2010). Structural planning and layout studies of robotic complexes. *Collection of scientific papers of Kirovograd National Technical University. Technology in agricultural production, industrial engineering, automation*. 23, 96–100. <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/718be77f-1ec9-45be-a941-776513f4de7d/content> [in Ukrainian].

В.А. Мажара, доц., канд. техн. наук, **А.М. Артюхов**, доц., канд. техн. наук, **М.О. Годунко**, доц., канд. техн. наук, **К.К. Щербина**, доц., канд. техн. наук, **С.А. Тененика**, асистент

Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, Україна

Структурна будова роботизованих комплексів

Проектування роботизованих комплексів є складним багаторівневим процесом, який вимагає врахування великої кількості технічних, організаційних та функціональних факторів. Одним із ключових етапів цього процесу виступає структурний аналіз, що дозволяє визначити раціональну будову комплексу та встановити взаємозв'язки між елементами комплексу і оптимізувати функціональні зв'язки.

Для пошуку доцільних виконань роботизованих комплексів запропоновано використання структурного методу, що враховує характеристики оброблюваних деталей, виконуваної операції, особливості використовуваного технологічного обладнання, промислових роботів, допоміжних пристроїв тощо. Розроблено багатоваріантну структуру функціонування роботизованого комплексу, яка є основою для подальшого розгляду питань, пов'язаних із формуванням планувальної структури, визначенням логіки її функціонування, а також узгодженням взаємодії між окремими складовими системи. Багатоваріантність структури забезпечує можливість адаптації комплексу до різних виробничих умов, змін обсягів випуску продукції та номенклатури деталей. Крім того, це створює підґрунтя для побудови математичних моделей процесів керування, аналізу ефективності роботи системи, а також прогнозування її поведінки в динамічних виробничих середовищах. Таким чином, запропонована структура є ключовим етапом при проектуванні гнучких роботизованих комплексів, орієнтованих на підвищення продуктивності, надійності та автоматизації виробничих процесів.

Вирішення питань дослідження структурної будови дозволить ще на початковому етапі проектування РТК обґрунтовано визначити доцільні варіанти виконання комплексу для відповідних умов його функціонування. Це забезпечить підвищення ефективності процесів проектування, оптимізацію використання ресурсів та скорочення термінів розробки. Крім того, глибоке розуміння структурних особливостей роботизованих систем сприятиме підвищенню їх надійності, адаптивності та продуктивності під час практичного застосування.

структурна будова, роботизований технологічний комплекс, промисловий робот, допоміжні пристрої, технологічне обладнання

Одержано (Received) 15.10.2025

Прорецензовано (Reviewed) 28.10.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.12.2025