

УДК 621.86-182.7

Структурный синтез и классификация плоских и пространственных механизмов параллельно-перекрестной структуры

В.Г. Певнев

ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина»

Structural synthesis and classification of planar and spatial mechanisms of parallel-cross structure

V.G. Pevnev

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Gubkin University — National University of Oil and Gas

В нефтегазовой промышленности все шире применяются колтюбинговые установки как для ремонта и обслуживания имеющихся скважин, так и для бурения новых. При этом точное позиционирование механизма подачи гибкой трубы над устьем скважины требует достаточно больших трудозатрат и времени. В процессе работы установки происходит нарушение позиционирования, что приводит к смещению продольной оси гибкой трубы относительно оси скважины, вызывает изгиб трубы, снижая ресурс, а в некоторых случаях и ее обрыв. Выполнен анализ возможности использования механизма параллельно-перекрестной структуры в качестве промежуточного звена между сборной мачтой и механизмом подачи гибкой трубы для повышения точности его позиционирования при установке над устьем скважины и корректировки его положения во время работы без остановки технологического процесса. Рассмотрена классификация плоских и пространственных механизмов параллельно-перекрестной структуры с различным числом приводных кинематических цепей. Исследовано влияние числа наложенных связей на степень подвижности механизмов в зависимости от наличия одной или нескольких перекрестных кинематических цепей, их расположения между соседними или противоположными приводными кинематическими цепями, а также от способа присоединения перекрестных кинематических цепей к приводным. Полученные в ходе синтеза и приведенные в классификации механизмы позволяют расширить область промышленного применения таких устройств.

EDN: ATOVUV, <https://elibrary/atovuv>

Ключевые слова: механизм параллельно-перекрестной структуры, степень свободы, перекрестная кинематическая цепь, приводная кинематическая цепь, наложенные связи, перекрестные связи

In the oil and gas industry, coiled tubing units are increasingly being used both for the repair and maintenance of existing wells and for drilling new ones. At the same time, accurate positioning of the flexible pipe feeding mechanism above the wellhead requires quite a lot of time and labor; during operation of the installation, positioning is disrupted, which leads to a displacement of the longitudinal axis of the flexible pipe relative to the well axis, causing bending of the pipe, reducing its service life, and in some cases and breakage of a flexible pipe. The purpose of this work is to analyze the possibility of using a

parallel-cross structure mechanism as an intermediate link between the flexible pipe feed mechanism and the prefabricated mast, to improve the positioning accuracy of the feed mechanism when installed above the wellhead and adjust its position during operation without stopping the technological process. The classification of flat and spatial mechanisms of parallel-cross structure with different number of drive kinematic chains is considered, the influence of the number of imposed connections on the degree of mobility of mechanisms is analyzed — due to the presence of one or more cross kinematic chains, their location between adjacent or opposite drive kinematic chains, as well as the method of connecting cross kinematic chains to drive kinematic chains. The mechanisms obtained in the course of synthesis and presented in the classification will allow to expand the scope of industrial application of these devices.

EDN: ATOVUV, <https://elibrary/atovuv>

Keywords: parallel-cross structure mechanism, degree of freedom, cross kinematic chain, drive kinematic chain, superimposed links, cross links

В нефтегазовой промышленности все чаще применяют колтюбинговую технику для бурения, ремонта и технического обслуживания скважин. При эксплуатации колтюбинговых установок разного типа возникает общая проблема: сложность точного позиционирования механизма подачи гибкой трубы (ГТ) над устьем скважины и нарушение позиционирования во время работы. Наиболее распространенной является вариант установки, показанный на рис. 1.

Такая схема имеет существенный недостаток: при проведении спускоподъемных операций под действием вибрации и значительных вертикальных усилий (особенно заметно это проявляется в процессе бурения), передаваемых на ГТ, происходит смещение механизма подачи ГТ относительно устья скважины в горизонтальной плоскости и изменение угла наклона механизма относительно оси скважины. Это приводит к несовпадению продольной оси ГТ с осью скважины, вызывает изгиб ГТ, появление знакопеременных циклических



Рис. 1. Внешний вид установки механизма подачи ГТ на сборную мачту

напряжений и снижение ресурса ГТ со 120...130 до 60...70 циклов проведения спускоподъемных операций, а в некоторых случаях может привести к обрыву ГТ (рис. 2).

Для корректировки положения механизма подачи ГТ приходится останавливать технологический процесс, что увеличивает общее время проведения спускоподъемных операций, прерывает технологический процесс, а также может привести к прихвату ГТ внутри скважины и необходимости выполнения дополнительных работ для его устранения.

Цель работы — анализ классификации механизмов параллельно-перекрестной структуры (МППС), определение влияния количества наложенных связей на степень свободы МППС в зависимости от количества и состава кинематических цепей (КЦ), а также исследование воз-

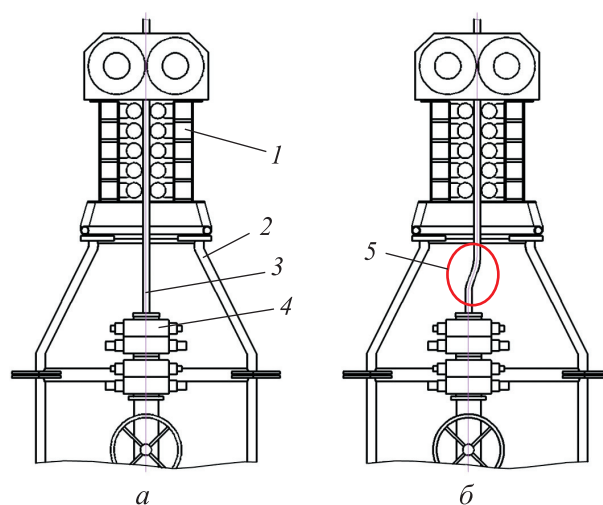


Рис. 2. Схема нарушения соосности установки механизма подачи ГТ относительно скважины в процессе работы:

1 — механизм подачи; 2 — мачта; 3 — ГТ; 4 — скважинное оборудование; 5 — зона знакопеременной деформации ГТ

возможности использования МППС в качестве промежуточного звена между сборной мачтой и механизмом подачи ГТ для повышения точности его позиционирования над устьем скважины и корректировки его положения в процессе работы без остановки технологического процесса.

Известно большое количество плоских и пространственных МППС [1–17], главное преимущество которых перед другими механизмами заключается в наличии перекрестных КЦ, связывающих между собой параллельно расположенные приводные КЦ. Причем эту связь можно реализовать в нескольких вариантах:

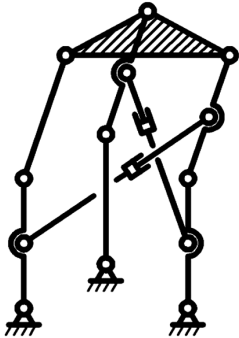
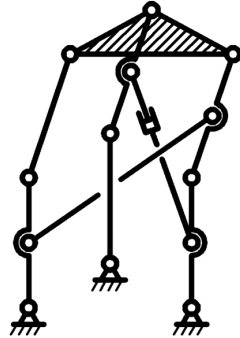
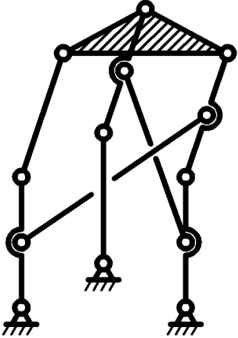
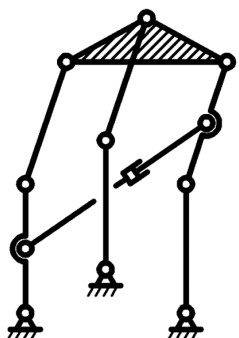
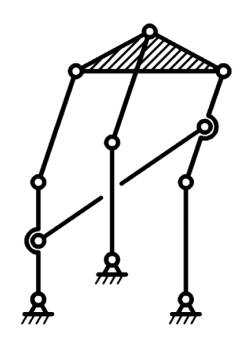
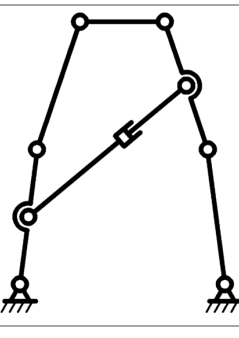
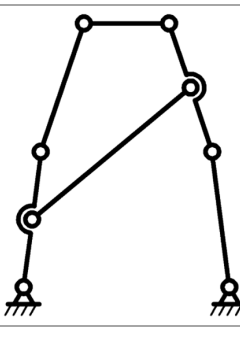
между ведущими звеньями соседних или противоположных параллельных КЦ; между ведомыми звеньями соседних или противоположных параллельных КЦ; между ведущими и ведомыми звеньями соседних или противоположных параллельных КЦ [11].

Для выбора оптимальной схемы выполним анализ МППС, используя те же методы, что и в известных работах [6, 11].

Сначала проведем классификацию плоских МППС (табл. 1) по числу степеней свободы (от 1 до 3) и числу КЦ (от 3 до 5). В каждом варианте классификации под структурной схемой ме-

Таблица 1

Классификация плоских МППС в графическом и аналитическом виде

Общее число КЦ	Число параллельных КЦ – число перекрестных КЦ	Количество КП пятого класса в каждой КЦ при числе степеней свободы W		
		3	2	1
5	3–2			
		333–33	333–23	333–22
4	3–1			–
		333–3	333–2	–
3	2–1			–
		33–3	33–2	–

ханизма слева указано число параллельных кинематических цепей, справа — число перекрестных кинематических цепей в составе механизма. Каждая цифра в классификации соответствует эквивалентному количеству кинематических пар (КП) пятого класса в рассматриваемой КЦ.

В графическом виде в условных обозначениях показаны КП, входящие в состав параллельных и перекрестных КЦ.

Рассмотрим известный механизм параллельной структуры (МПС) с тремя степенями свободы, в состав которого входят три приводные КЦ 1–2, 3–4, 5–6 и выходное звено 7, совершающее движение в плоскости XY (рис. 3).

Усложним этот МПС путем последовательного добавления одной, двух и трех структурных групп второго класса второго порядка третьего вида между ведущим и ведомым звеньями соседних приводных КЦ (рис. 4). Полученный в результате модификации МППС содержит тринадцать подвижных звеньев, соединенных восемнадцатью КП пятого класса: три приводные КЦ и три перекрестные КЦ.

Приводные КЦ включают в себя звенья 1–2, 3–4 и 5–6, связанные вращательными КП пятого класса. Приводные КЦ присоединены к основанию 0 и выходному звену 7 с помощью шести вращательных КП пятого класса.

Перекрестные кинематические цепи, представляющие собой структурные группы второго класса второго порядка третьего вида, состоят из звеньев 8–9, 10–11 и 12–13, соединенных поступательными КП пятого класса, и создают перекрестные связи между входными звеньями 1, 3, 5 и выходными звеньями 2, 4, 6 приводных КЦ 1–2, 3–4 и 5–6. Перекрестные КЦ соединены со звеньями приводных КЦ шестью вращательными КП пятого класса.

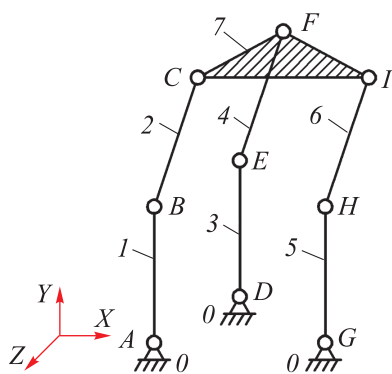


Рис. 3. Схема МПС с тремя приводными КЦ

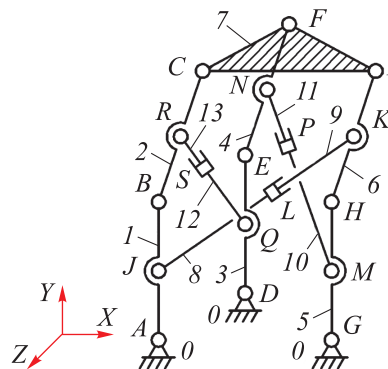


Рис. 4. Схема МППС с тремя приводными КЦ и тремя перекрестными КЦ

В исследуемом плоском механизме в качестве низших использованы КП пятого класса: в приводных КЦ — вращательные (A, B, C, D, E, F, G, H, I), в перекрестных КЦ — вращательные (J, K, M, N, Q, R) и поступательные (L, P, S).

Число степеней свободы созданного механизма можно определить по формуле П.Л. Чебышева

$$W = 3n - 2p_n - p_v + q, \quad (1)$$

где n — количество подвижных звеньев; p_n и p_v — количество низших и высших КП; q — число избыточных связей.

Подставляя в выражение (1) значения параметров ($n = 13$, $p_n = 18$, $p_v = 0$, $q = 0$), получаем число степеней свободы модифицированных МППС $W = 3$.

Созданный механизм имеет три степени свободы, как и прототип, приведенный на рис. 3, что подтверждает отсутствие избыточных связей ($q = 0$).

Аналогично проведем анализ пространственных МППС по числу степеней свободы (от 1 до 6) и числу КЦ (от 3 до 6). Часть классификации приведена в табл. 2.

В процессе работы была расширена известная классификация [11] пространственных МППС и добавлены новые схемы механизмов.

Часть графической классификации исследуемых пространственных МППС, имеющих в своем составе суммарно шесть параллельных и перекрестных КЦ в различных комбинациях приведена в табл. 3. Как и в классификации плоских МППС, КП, входящие в состав параллельных и перекрестных КЦ, показаны в условных обозначениях.

Таблица 2

Классификация пространственных МППС

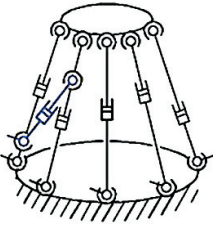
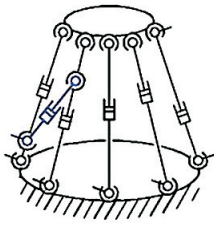
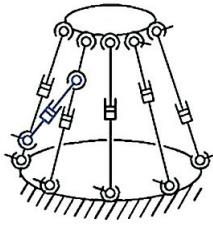
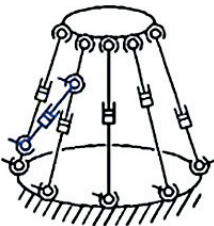
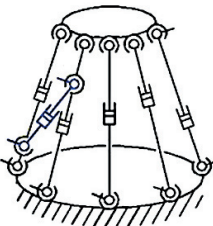
Общее число КЦ	Число параллельных КЦ–число перекрестных КЦ	Число степеней свободы W					
		6	5	4	3	2	1
5	4–1	6666–6	6666–5	6665–5	6655–5	6555–5	5555–5
			6665–6	6655–6	6555–6	5555–6	6644–5
				6664–6	6665–4	6644–6	
				6666–4	6664–5	6664–4	
	3–2	666–66	666–65	666–55	665–55	655–55	555–55
			665–66	665–65	655–65	555–65	665–44
				655–66	555–66	644–66	
				664–66	665–64	664–64	
				666–64	666–54		
					664–65		
4	3–1	666–6	666–5	665–5	655–5	555–5	553–6
			665–6	655–6	555–6	653–6	563–5
				666–4	663–6	663–5	565–3
				664–6	666–3	665–3	544–6
					654–6	654–5	644–5
					664–5	655–4	654–4
					665–4	554–6	554–5
							555–4

Рассмотрим известный пространственный МПС, имеющий шесть степеней свободы, в состав которого входят три приводные КЦ 1–2, 3–4, 5–6 и выходное звено 7 (рис. 5).

Модифицируем этот МПС путем добавления структурной группы второго класса второго порядка третьего вида между ведущим и ведомым звеньями соседних приводных КЦ

Таблица 3

Классификации пространственных МППС в графическом виде

Общее число КЦ	Число параллельных КЦ–число перекрестных КЦ	Число степеней свободы		
		6	5	4
6	5–1			
		–		

Окончание таблицы 3

Общее число КЦ	Число параллельных КЦ – число перекрестных КЦ	Число степеней свободы		
		6	5	4
6	4–2			
		–		
		–	–	

(рис. 6). В результате модификации получены три варианта МППС, имеющие по три приводных и одной перекрестной КЦ, отличающиеся присоединением перекрестной КЦ:

- две КП третьего класса (рис. 6, а);
- по одной КП третьего и четвертого классов (рис. 6, б);
- две КП четвертого класса (рис. 6, в).

Приводные КЦ состоят из звеньев 1–2, 3–4 и 5–6, соединенных между собой поступательными КП пятого класса. Приводные КЦ присо-

единены к основанию 0 и выходному звену 7 тремя КП четвертого класса и тремя КП пар третьего класса.

Перекрестная КЦ представляет собой структурную группу второго класса второго порядка третьего вида и состоит из звеньев 8 и 9, соединенных между собой поступательной КП парой пятого класса, создавая перекрестную связь между выходным звеном 6 приводной КЦ 5–6 и входным звеном 1 приводной КЦ 1–2.

Полученный в результате модификации МППС является пространственным, число степеней свободы которого определяется выражением Сомова — Малышева

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1 + q, \quad (2)$$

где $p_5 - p_1$ — количество КП пятого–первого класса.

Подставляя в выражение (2) значения параметров, получаем число степеней свободы модифицированных МППС ($n = 9$, $p_2 = 0$, $p_1 = 0$ и $q = 0$):

- для МППС с параметрами $p_5 = 4$, $p_4 = 3$, $p_3 = 5$ (см. рис. 6, а) $W = 7$;
- для МППС с параметрами $p_5 = 4$, $p_4 = 4$, $p_3 = 4$ (см. рис. 6, б) $W = 6$;

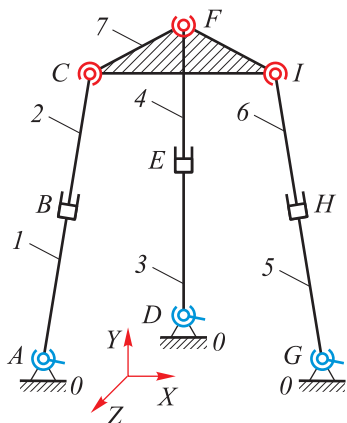


Рис. 5. Схема пространственного МППС с тремя приводными КЦ

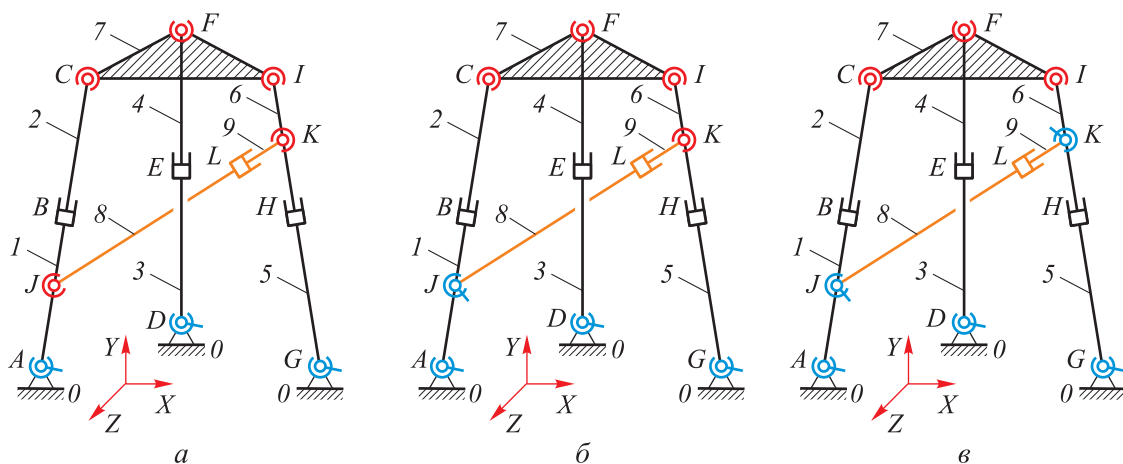


Рис. 6. Схемы МППС с тремя приводными и одной перекрестной КЦ

• для МППС с параметрами $p_5 = 4$, $p_4 = 5$, $p_3 = 3$ (см. рис. 6, в) $W = 5$.

Анализ результатов расчета показал, что число степеней свободы МППС зависит от состава КП в перекрестной КЦ:

- две КП третьего класса (см. рис. 6, а) добавляют одну местную подвижность;
- одна КП третьего класса и одна КП четвертого класса (см. рис. 6, б) не влияют на W ;
- две КП четвертого класса (см. рис. 6, в) накладывают одно ограничение (избыточную связь).

Проведем последовательное усложнение МППС, показанного на рис. 6, б, путем последовательного добавления второй и третьей структурных групп второго класса второго порядка третьего вида между ведущим и ведомым звеньями соседних приводных КЦ (рис. 7).

Полученный в результате модификации МППС состоит из тринадцати подвижных зве-

ньев ($n = 13$), соединенных шестью КП пятого класса ($p_5 = 6$), шестью КП четвертого класса ($p_4 = 6$), шестью КП третьего класса ($p_3 = 6$), и имеет в своем составе три приводные КЦ, образованные звеньями 1–2, 3–4, 5–6, которые связаны между собой вращательными КП пятого класса, и три перекрестные КЦ, образованные звеньями 8–9, 10–11 и 12–13, представляющими собой структурные группы второго класса второго порядка третьего вида.

Приводные КЦ присоединены к основанию 0 и выходному звену 7 тремя КП четвертого класса и тремя КП третьего класса.

Перекрестные КЦ связаны со звеньями приводных КЦ также с помощью трех КП четвертого класса и трех КП третьего класса.

Подставляя в выражение (2) значения параметров ($n = 13$, $p_5 = 6$, $p_4 = 6$, $p_3 = 6$, $p_2 = 0$, $p_1 = 0$, $q = 0$), получаем число степеней свободы созданного МППС $W = 6$.

Результаты расчета подтверждают, что исследуемый МППС (см. рис. 7) обладает шестью степенями свободы, как и прототип, приведенный на рис. 5, что указывает на отсутствие избыточных связей.

Таким образом, результаты исследования плоских МППС, созданных с использованием только низших КП пятого класса, подтверждают неизменное число степеней свободы механизма, не зависящее от числа перекрестных КЦ, входящих в его состав, в отличие от МПС, в которых перекрестные КЦ отсутствуют.

Наличие перекрестных КЦ позволяет увеличить общую жесткость механизма при уменьшении размеров выходного звена, сохранить

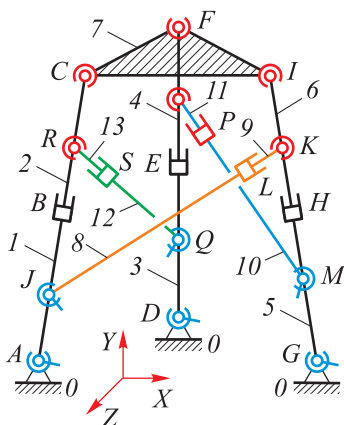


Рис. 7. Схема МППС тремя приводными и тремя перекрестными КЦ

точность позиционирования в пределах рабочей зоны и не налагает избыточных связей, независимо от числа КЦ и вариантов их встраивания в структуру механизма.

Выводы

1. Результаты исследования пространственных МППС, созданных с использованием низших КП пятого, четвертого и третьего классов, при наличии более одной перекрестной КЦ подтверждают разное число степеней свободы МППС в зависимости от состава КП в перекрестной КЦ:

- при присоединении перекрестных КЦ к приводным кинематическими парами четвертого класса, каждая перекрестная КЦ накладывает одно ограничение (избыточную связь);
- при использовании КП третьего класса для присоединения перекрестных КЦ к приводным,

каждая перекрестная КЦ добавляет местную подвижность механизма;

- при применении КП четвертого и третьего классов для присоединения перекрестных КЦ к приводным, перекрестные КЦ не влияют на число степеней свободы механизма независимо от их количества.

2. Установлено, что для использования МППС в качестве промежуточного звена между механизмом подачи ГТ и сборной мачтой подходят только пространственные механизмы, так как максимальная степень свободы плоских МППС равна трем, чего недостаточно для корректировки положения механизма подачи ГТ во время работы (минимальное число степеней свободы равно четырем).

3. Анализ результатов исследования позволяет системно подойти к синтезу и проектированию МППС для применения в различных отраслях промышленности.

Литература

- [1] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 355 p.
- [2] Angeles J. The qualitative synthesis of parallel manipulators. *J. Mech. Des.*, 2004, vol. 126, no. 4, pp. 617–624, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1667955>
- [3] Ceccarelli M. *Fundamentals of mechanics of robotic manipulation*. Springer, 2004. 312 p.
- [4] Carricato M., Parenti-Castelli V. On the topological and geometrical synthesis and classification of translational parallel mechanisms. *Proc. XI World Congress in Mechanism and Machine Science*, 2004, pp. 1624–1628.
- [5] Kong X., Gosselin C. Type synthesis of parallel mechanisms. *Springer*, 2007. 276 p.
- [6] Глазунов В.А. Структура пространственных механизмов. Группы винтов и структурные группы. *Справочник. Инженерный журнал*, 2010, приложение № 3, 24 с.
- [7] Meng X.D., Gao F.A. Framework for computer-aided type synthesis of parallel robotic mechanisms. *Proc. Inst. Mech. Eng. C*, 2014, vol. 228, no. 18, pp. 3496–3504, doi: <https://doi.org/10.1177/0954406214531252>
- [8] Laryushkin P., Fomin A., Antonov A. Kinematic and singularity analysis of a 4-DOF Delta-type parallel robot. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 2023, vol. 45, no. 4, art. 218, doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04128-7>
- [9] Huo X., Jiang C., Wang B. et al. Configuration evolution of 6-DoF parallel robots based on Markov decision process. In: *Advances in mechanism and machine science*, 2023, vol. 2, pp. 673–682, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45770-8_67
- [10] Ling F., Gao F. Type design and behavior control for six legged robots. *Chin. J. Mech. Eng.*, 2018, vol. 31, art. 59, doi: <https://doi.org/10.1186/s10033-018-0259-9>
- [11] Глазунов В.А. *Механизмы параллельной структуры и их применение*. Москва-Ижевск, ИКИ, 2018. 1035 с.
- [12] Laryushkin P., Fomin A., Glazunov V. et al. Redundantly actuated 5-DOF delta-type parallel robot with linear drives. In: *Advances in mechanism and machine science*, 2023, vol. 2, pp. 820–827, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45770-8_81
- [13] Meng J., Liu G., Li Z. A geometric theory for analysis and synthesis of sub-6 DoF parallel manipulators. *IEEE Trans. Robot.*, 2007, vol. 23, no. 4, pp. 625–649, doi: <https://doi.org/10.1109/TRO.2007.898995>
- [14] Lu Y., Ye N. Type synthesis of parallel mechanisms by utilizing sub-mechanisms and digital topological graphs. *Mech. Mach. Theory*, 2017, vol. 109, pp. 39–50, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2016.11.008>

- [15] Филиппов Г.С. Кинематический анализ механизма параллельно-последовательной структуры с пятью степенями свободы. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2019, № 8, с. 18–24, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2019-8-18-24>
- [16] Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 211–216, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618814030030>
- [17] Brinker J., Corves B. A survey on parallel robots with Delta-like architecture. *Proc. 14th IFToMMWorld Congress*, 2015, pp. 25–30, pp. 407–414, doi: <https://doi.org/10.6567/IFTToMM.14TH.WC.PS13.003>

References

- [1] Merlet J.-P. *Parallel robots*. Kluwer Academic Publishers, 2000. 355 p.
- [2] Angeles J. The qualitative synthesis of parallel manipulators. *J. Mech. Des.*, 2004, vol. 126, no. 4, pp. 617–624, doi: <https://doi.org/10.1115/1.1667955>
- [3] Ceccarelli M. Fundamentals of mechanics of robotic manipulation. *Springer*, 2004. 312 p.
- [4] Carricato M., Parenti-Castelli V. On the topological and geometrical synthesis and classification of translational parallel mechanisms. *Proc. XI World Congress in Mechanism and Machine Science*, 2004, pp. 1624–1628.
- [5] Kong X., Gosselin C. Type synthesis of parallel mechanisms. *Springer*, 2007. 276 p.
- [6] Glazunov V.A. Structure of spatial mechanisms. Screw groups and structural groups. *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal* [Handbook. An Engineering Journal], 2010, appendix no. 3, 24 p. (In Russ.).
- [7] Meng X.D., Gao F.A. Framework for computer-aided type synthesis of parallel robotic mechanisms. *Proc. Inst. Mech. Eng. C*, 2014, vol. 228, no. 18, pp. 3496–3504, doi: <https://doi.org/10.1177/0954406214531252>
- [8] Laryushkin P., Fomin A., Antonov A. Kinematic and singularity analysis of a 4-DOF Delta-type parallel robot. *J. Braz. Soc. Mech. Sci. Eng.*, 2023, vol. 45, no. 4, art. 218, doi: <https://doi.org/10.1007/s40430-023-04128-7>
- [9] Huo X., Jiang C., Wang B. et al. Configuration evolution of 6-DoF parallel robots based on Markov decision process. In: *Advances in mechanism and machine science*, 2023, vol. 2, pp. 673–682, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45770-8_67
- [10] Ling F., Gao F. Type design and behavior control for six legged robots. *Chin. J. Mech. Eng.*, 2018, vol. 31, art. 59, doi: <https://doi.org/10.1186/s10033-018-0259-9>
- [11] Glazunov V.A. *Mekhanizmy parallelnoy struktury i ikh primeneniye* [Parallel structure mechanisms and their application]. Moscow-Izhevsk, IKI Publ., 2018. 1035 p. (In Russ.).
- [12] Laryushkin P., Fomin A., Glazunov V. et al. Redundantly actuated 5-DOF delta-type parallel robot with linear drives. In: *Advances in mechanism and machine science*, 2023, vol. 2, pp. 820–827, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-45770-8_81
- [13] Meng J., Liu G., Li Z. A geometric theory for analysis and synthesis of sub-6 DoF parallel manipulators. *IEEE Trans. Robot.*, 2007, vol. 23, no. 4, pp. 625–649, doi: <https://doi.org/10.1109/TRO.2007.898995>
- [14] Lu Y., Ye N. Type synthesis of parallel mechanisms by utilizing sub-mechanisms and digital topological graphs. *Mech. Mach. Theory*, 2017, vol. 109, pp. 39–50, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2016.11.008>
- [15] Filippov G.S. Kinematic analysis of a parallel-sequential structure mechanism with five degrees of freedom. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye* [BMSTU Journal of Mechanical Engineering], 2019, no. 8, pp. 18–24, doi: <http://dx.doi.org/10.18698/0536-1044-2019-8-18-24> (in Russ.).
- [16] Glazunov V.A., Chunichin A.Yu. Development of mechanisms of parallel structure. *J. Mach. Manuf. Reliab.*, 2014, vol. 43, no. 3, pp. 211–216, doi: <https://doi.org/10.3103/S1052618814030030>
- [17] Brinker J., Corves B. A survey on parallel robots with Delta-like architecture. *Proc. 14th IFToMMWorld Congress*, 2015, pp. 25–30, pp. 407–414, doi: <https://doi.org/10.6567/IFTToMM.14TH.WC.PS13.003>

Информация об авторе

ПЕВНЕВ Виктор Григорьевич — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Робототехника и техническая механика». ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина» (119991, Москва, Российская Федерация, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1, e-mail: pevnev.v@gubkin.ru).

Information about the author

PEVNEV Victor Grigorievich — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Robotics and Technical Mechanics. Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Gubkin University — National University of Oil and Gas (119991, Moscow, Russian Federation, Leninsky Prospekt, Bldg. 65, Block 1, e-mail: pevnev.v@gubkin.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Певнев В.Г. Структурный синтез и классификация плоских и пространственных механизмов параллельно-перекрестной структуры. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2026, № 4, с. 56–65.

Please cite this article in English as:

Pevnev V.G. Structural synthesis and classification of planar and spatial mechanisms of parallel-cross structure. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2026, no. 4, pp. 56–65.



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
предлагает читателям учебное пособие**

«Алгоритмизация и программирование. Основы алгоритмизации и процедурное программирование»

Авторы: Г.С. Иванова, Т.Н. Ничушкина

Содержит теоретический материал по первой, процедурной части дисциплины «Алгоритмизация и программирование». В качестве языка для обучения азам программирования в дисциплине используется язык C++. Представлены сведения о способах хранения данных в оперативной и внешней памяти, особенностях построения и реализации структурных и неструктурных алгоритмов, принципы работы с динамической памятью и другие достаточно сложные средства создания консольных программ, которые должны послужить базой для изучения объектно-ориентированного программирования на языке C++.

Для студентов, изучающих дисциплину «Алгоритмизация и программирование» в рамках направления подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника». Может быть полезно студентам, изучающим процедурное программирование на языках C/C++.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; <https://press.bmstu.ru>