

Научная статья  
Статья в открытом доступе  
УДК 621.01  
doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-11-21

## СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АССУРОВЫХ ВОСЬМИЗВЕННЫХ ЗАМКНУТЫХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОДВИЖНЫХ ЗВЕНЬЕВ ПЕРВОГО СЕМЕЙСТВА ЧЕТВЕРТОГО ВИДА

**Валерий Владимирович Вовкотруб**<sup>✉</sup>

Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.К. Серова Министерства обороны Российской Федерации, Краснодар, Россия  
vovkotrubv@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7674-5082>

### Аннотация

Цель исследования: развитие метода структурного синтеза замкнутых кинематических цепей подвижных звеньев (далее – ЗКЦ) на ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида.

Задачи: на основе универсальной структурной системы ЗКЦ первого семейства, определить состав решений, описывающих организацию ассуровых ЗКЦ первого семейства, при сложности базисного звена цепи, равной четырем, подвижности цепи, равной шести, числе кинематических пар цепи, равном десяти и общем числе звеньев цепи, равном восьми. Произвести идентификацию виртуальных звеньев цепи и получить сочетания кинематических пар и звеньев, являющихся основой для построения структурных схем ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства, при заданных параметрах. Используя полученные данные, рассмотреть на конкретном примере процесс построения структурных схем ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида.

Методы исследования: метод структурного синтеза замкнутых кинематических цепей подвижных звеньев первого семейства, теория множеств и

комбинаторика, виртуализация, идентификация и кодирование, теория графов.

Новизна работы: раскрыты особенности применения универсальной структурной системы для определения состава ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида. На конкретном примере показан порядок применения полученных решений для синтеза структурных схем ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида.

Результаты исследования: найдены сочетания кинематических пар и звеньев, позволяющие построить все возможные структурные схемы ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства при заданных параметрах. Получена структурная схема восьмизвенной замкнутой кинематической цепи подвижных звеньев шестого подсемейства первого семейства четвертого вида, из которой путем остановки одного из звеньев, могут образовываться одноподвижные восьмизвенные механизмы первого семейства.

**Ключевые слова:** система, цепь, схема, подвижность звено, кинематическая пара.

Ссылка для цитирования:

Вовкотруб В.В. Структурный синтез ассуровых восьмизвенных замкнутых кинематических цепей подвижных звеньев первого семейства четвертого вида / В.В. Вовкотруб // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 7. – С. 11-21. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-11-21.

Original article  
Open Access Article

## STRUCTURAL SYNTHESIS OF ASSUR EIGHT-BAR CLOSED KINEMATIC CHAINS OF THE FIRST FAMILY MOVABLE LINKS OF THE FOURTH TYPE

**Valery Vladimirovich Vovkotrub**<sup>✉</sup>

Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots named after A.K. Serov of the Defense Ministry of the Russian Federation, Krasnodar, Russia  
vovkotrubv@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-7674-5082>

## Abstract

The study objective is to develop a method for the structural synthesis of closed kinematic chains (CKC) of moving links onto Assur eight-bar CKC of the first family of the fourth type.

The tasks are the following: based on the universal structural system of closed kinematic chains of the first family to determine the composition of solutions describing the arrangement of Assur closed kinematic chains of the first family with the complexity of the basic chain link equal to four, chain mobility equal to six and the total number of chain links equal to eight. To identify virtual chain links and obtain combinations of kinematic pairs and links that are the basis for constructing structural schemes of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family according to the given parameters. Using the obtained data, to consider constructing structural schemes of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family of the fourth type on a specific example.

Research methods are the method of structural synthesis of closed kinematic chains of moving links of

the first family, set theory and combinatorics, virtualization, identification and coding, graph theory.

The novelty of the work: the features of applying a universal structural system for determining the composition of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family of the fourth type are given. Using a specific example, the order of applying the obtained solutions for synthesis of structural schemes of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family of the fourth type is considered.

The study results: combinations of kinematic pairs and links are found, which make it possible to construct all possible structural schemes of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family under given parameters. A diagram of an eight-bar closed kinematic chain of the six subfamily movable links of the first family of the fourth type is obtained, from which single-movable eight-bar mechanisms of the first family can be formed by stopping one of the links.

**Keywords:** system, chain, diagram, mobility, kinematic pair.

## Reference for citing:

Vovkotrub VV. Structural synthesis of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family moving links of the fourth type. *Transport Engineering*. 2024;7:11-21. doi: 10.30987/2782-5957-2024-7-11-21.

## Введение

Метод создания многозвенных плоских механизмов М. Грюблера [1, 2] получил широкое распространение в западных странах [3, 4, 5].

Метод разработан М. Грюблером для плоских цепей, и до настоящего времени, не получил принципиального развития на замкнутые кинематические цепи подвижных звеньев (далее – ЗКЦ) первого семейства.

В работе автора [6] рассмотрена возможность применения универсальной структурной системы профессора Л.Т. Дворникова [7, 8] для развития метода М. Грюблера на ЗКЦ первого семейства. Приведена универсальная структурная система ЗКЦ первого семейства.

В настоящей статье, рассмотрим особенности применения универсальной структурной системы ЗКЦ первого семейства для определения состава ассуровых восьмизвенных замкнутых кинематических цепей подвижных звеньев первого семейства при сложности базисного звена цепи равной четырем, подвижности цепи равной шести, числе кинематических пар цепи равном десяти и общем числе звеньев цепи равном восьми.

На конкретном примере покажем порядок применения полученных решений для синтеза структурных схем ассуровых восьмизвенных замкнутых кинематических цепей подвижных звеньев первого семейства.

## Основная часть

Универсальная структурная система ЗКЦ первого семейства, при числе звень-

ев, не добавляющих в цепь кинематических пар  $n_0 = 1$ , имеет вид [6]:

$$\begin{cases} p = \tau + (\tau - 1)n_{(\tau-1)} + \dots + in_i + \dots + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_{\tau-1} + \dots + n_i + \dots + n_2 + n_1, \\ W_{II1} = 5n_u - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2 = 6, \end{cases} \quad (1)$$

где  $W_{ц1}$  – подвижность ЗКЦ первого семейства;  $n_u$  – общее число звеньев цепи;  $\tau$  – число геометрических элементов наиболее сложного звена кинематической цепи;  $n_i$  – число звеньев, добавляющих в цепь  $i$  кинематических пар;  $p$  – общее число кинематических пар цепи;  $p_5, p_4, p_3, p_2$  – число кинематических пар пятого, четвертого, третьего и второго класса.

Заменяя в системе уравнений (1) структурную формулу подвижности ЗКЦ первого семейства (третье уравнение системы) поочередно на формулы подвижности подсемейств ассуровых ЗКЦ данного семейства [6], при  $\tau = 4$ , получим исходные системы уравнений по подсемействам для ассуровых ЗКЦ первого семейства четвертого вида:

Первое подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(1)} = 5n_u - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 - p_2 = 6, \end{cases} \quad (2)$$

Второе подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(2)} = 5n_u - 4p_5 - 3p_4 - 2p_3 = 6, \end{cases} \quad (3)$$

Третье подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(3)} = 5n_u - 4p_5 - 3p_4 - p_2 = 6, \end{cases} \quad (4)$$

Четвертое подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(4)} = 5n_u - 4p_5 - 3p_4 = 6, \end{cases} \quad (5)$$

Пятое подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(5)} = 5n_u - 4p_5 - 2p_3 - p_2 = 6, \end{cases} \quad (6)$$

Шестое подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(6)} = 5n_u - 4p_5 - 2p_3 = 6, \end{cases} \quad (7)$$

Седьмое подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_u = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{ц1(7)} = 5n_u - 4p_5 - p_2 = 6, \end{cases} \quad (8)$$

Восьмое подсемейство:

$$\begin{cases} p = 4 + 3n_3 + 2n_2 + n_1, \\ n_y = 2 + n_3 + n_2 + n_1, \\ W_{Ц1(8)} = 5n_y - 4p_5 = 6, \end{cases} \quad (9)$$

Системы уравнений (2-9) позволяют находить все возможные структуры ассурированных ЗКЦ первого семейства четвертого вида для заданных значений  $n_y$ .

Рассмотрим решения систем уравнений (2-9) для значений  $n_y = 8$ .

Первое подсемейство:

$$\begin{cases} p_5 + p_4 + p_3 + p_2 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + 3p_4 + 2p_3 + p_2 = 34, \end{cases} \quad (10)$$

Решение системы уравнений (10), при  $p = 10$ , приведено в таблице 1, № 1.

Второе подсемейство:

Решение системы (3) сводится к отысканию параметров  $p_5, p_4, p_3$  и  $n_i$ .

$$\begin{cases} p_5 + p_4 + p_3 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + 3p_4 + 2p_3 = 34, \end{cases} \quad (11)$$

Решения системы уравнений (11), при  $p = 10$ , приведены в табл. 1, № 2-3.

Третье подсемейство:

Решение системы (4) сводится к отысканию параметров  $p_5, p_4, p_2$  и  $n_i$ .

$$\begin{cases} p_5 + p_4 + p_2 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + 3p_4 + p_2 = 34, \end{cases} \quad (12)$$

Решение системы уравнений (12), при  $p = 10$ , приведено в табл. 1, № 4.

Четвертое подсемейство:

Решение системы (5) сводится к отысканию параметров  $p_5, p_4$  и  $n_i$ .

$$\begin{cases} p_5 + p_4 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + 3p_4 = 34, \end{cases} \quad (13)$$

Решение системы уравнений (13), при  $p = 10$ , приведено в табл. 1, № 5.

Пятое подсемейство:

Решение системы (6) сводится к отысканию параметров  $p_5, p_3, p_2$  и  $n_i$ .

Решение системы (2) сводится к отысканию параметров  $p_5, p_4, p_3, p_2$  и  $n_i$ .

Для первого подсемейства:  $p_5 \neq 0, p_4 \neq 0, p_3 \neq 0, p_2 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (2) примет вид:

Для второго подсемейства:  $p_5 \neq 0, p_4 \neq 0, p_3 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (3) примет вид:

Для третьего подсемейства:  $p_5 \neq 0, p_4 \neq 0, p_2 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (4) примет вид:

Для четвертого подсемейства:  $p_5 \neq 0, p_4 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (5) примет вид:

Для пятого подсемейства:  $p_5 \neq 0, p_3 \neq 0, p_2 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (6) примет вид:

$$\begin{cases} p_5 + p_3 + p_2 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + 2p_3 + p_2 = 34, \end{cases} \quad (14)$$

Система уравнений (14), при  $p = 10$ , не имеет целочисленных решений.

Шестое подсемейство:

Решение системы (7) сводится к отысканию параметров  $p_5$ ,  $p_3$  и  $n_i$ .

Для шестого подсемейства:  $p_5 \neq 0$ ,  $p_3 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (7) примет вид:

$$\begin{cases} p_5 + p_3 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + 2p_3 = 34, \end{cases} \quad (15)$$

Решение системы уравнений (15), при  $p = 10$ , приведено в табл. 1, № 6.

Седьмое подсемейство:

Решение системы (8) сводится к отысканию параметров  $p_5$ ,  $p_2$  и  $n_i$ .

Для седьмого подсемейства:  $p_5 \neq 0$ ,  $p_2 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (8) примет вид:

$$\begin{cases} p_5 + p_2 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 + p_2 = 34, \end{cases} \quad (16)$$

Решение системы уравнений (16), при  $p = 10$ , приведено в табл. 1, № 7.

Восьмое подсемейство:

Решение системы (9) сводится к отысканию параметров  $p_5$  и  $n_i$ .

Для восьмого подсемейства:  $p_5 \neq 0$ .

При  $n_y = 8$  система уравнений (9) примет вид:

$$\begin{cases} p_5 = 10 + 2n_3 + 1n_2, \\ n_1 = 6 - n_3 - n_2, \\ 4p_5 = 34, \end{cases} \quad (17)$$

Система (17) не имеет целочисленных решений.

При построении структурных схем ЗКЦ на основе данных таблицы 1, необходимо учитывать, что в таблице указано количество виртуальных звеньев, сложность которых отождествляется с числом кинематических пар, привносимых звеном в кинематическую цепь [9]. Например, звено  $n_1$ , привносящее в цепь одну кинематическую пару, может по факту быть и двухпарным, и трехпарным, и четырехпарным [10].

Поэтому, приведенные в табл. 1 решения, могут быть эффективно использованы при построении структурных схем ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого

семейства четвертого вида, только после идентификации виртуальных звеньев.

Для идентификации виртуальных звеньев ЗКЦ, используем теорему Эйлера для графов [11, 12], которая гласит: сумма степеней вершин графа равна удвоенному количеству его ребер.

По отношению к ЗКЦ теорему Эйлера можно представить в виде следующего уравнения:

$$2p = \sum_{j=2}^{\tau} jn_j \quad (18)$$

где  $p$  – общее число кинематических пар ЗКЦ;  $n_j$  – количество  $j$  – парных звеньев.

Результаты идентификации виртуальных звеньев представлены в табл. 2.

Таблица 1

Решения, описывающие организацию ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида, при общем числе кинематических пар цепи равном десяти

Table 1

*Solutions describing the arrangement of Assur eight-bar closed kinematic chains of the first family of the fourth type, with the complexity of the basic chain link equal to ten*

№ решения	Общее число кинематических пар, $p$	Решения, описывающие организацию ЗКЦ из $n_i$ и $p_k$
Первое подсемейство		
1	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 7, p_4 = 1, p_3 = 1, p_2 = 1;$
Второе подсемейство		
2	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 5, p_4 = 4, p_3 = 1;$
3	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 6, p_4 = 2, p_3 = 2;$
Третье подсемейство		
4	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 6, p_4 = 3, p_2 = 1;$
Четвертое подсемейство		
5	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 4, p_4 = 6;$
Шестое подсемейство		
6	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 7, p_3 = 3;$
Седьмое подсемейство		
7	10	$n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 8, p_2 = 2;$

Таблица 2

Состав звеньев ассуровых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида

Table 2

*Composition of the links of Assur eight-branched closed kinematic chains of the first family of the fourth type*

Общее число звеньев цепи, $n_u$	Общее число кинематических пар цепи, $p$	Состав звеньев цепи		
		4-х парные	3-х парные	2-х парные
8	10	1	2	5
		2	0	6

Полученные сочетания кинематических пар и звеньев, представленные в табл. 1 и 2, являются основой для построения структурных схем ассуровых восьмизвен-

ных замкнутых кинематических цепей подвижных звеньев первого семейства четвертого вида, при общем числе кинематических пар цепи равном десяти.

### Пример синтеза структурных схем восьмизвенных ЗКЦ шестого подсемейства первого семейства четвертого вида

Рассмотрим на конкретном примере особенности структурного синтеза восьмизвенных ЗКЦ шестого подсемейства первого семейства четвертого вида на основе решений, приведенных в табл. 1 и 2.

Пусть требуется построить структурную схему восьмизвенной ЗКЦ шестого

подсемейства первого семейства по заданным параметрам:

$$\tau = 4, n_u = 8, p = 10.$$

Для такой ЗКЦ в табл. 1 имеется решение под № 6:  $n_\tau = 1, n_0 = 1, n_1 = 6, n_2 = 0, n_3 = 0, p_5 = 7, p_3 = 3.$

В табл. 2 для значений  $n_y = 8$  и  $p = 10$  показано два возможных варианта состава звеньев ЗКЦ по сложности:

Первый вариант включает: одно четырехпарное, два трехпарных и пять двухпарных звеньев. Второй вариант включает: два четырехпарных и шесть двухпарных звеньев. Синтез структурных схем ЗКЦ по заданным параметрам проведем в три этапа. На первом этапе, определяем все возможные структурные схемы восьмизвенных ЗКЦ, которые могут быть построены,

без учета класса кинематических пар цепи, то есть на данном этапе соединения звеньев в схемах показываем условными, так называемыми виртуальными кинематическими парами. За основу при разработке схем, берем известные структурные схемы восьмизвенных ЗКЦ Грюблера четвертого вида [3, 4, 5, 13].

В результате получаем семь структурных схем ЗКЦ с виртуальными кинематическими парами (рис. 1).

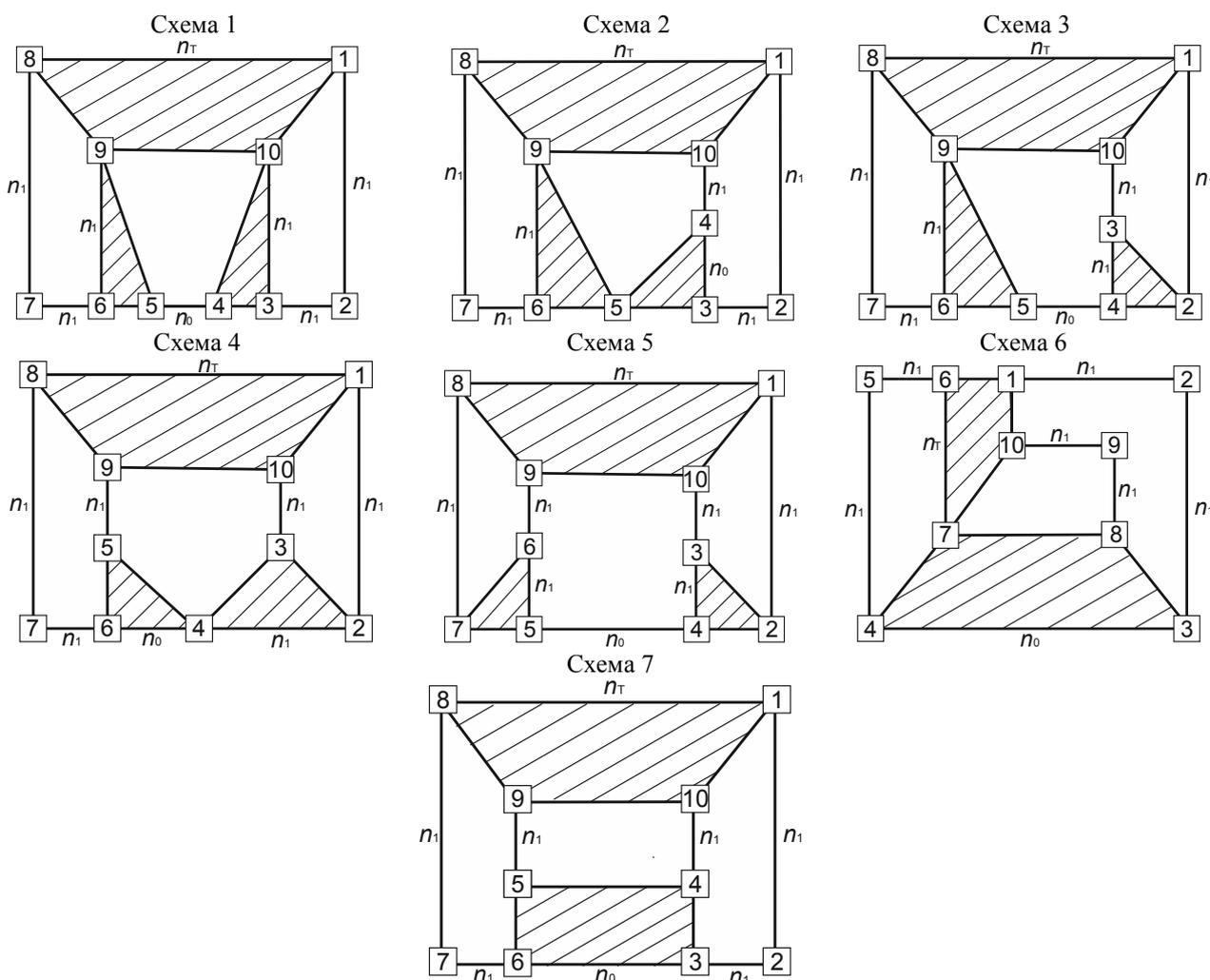


Рис. 1. Структурные схемы восьмизвенных ЗКЦ с виртуальными кинематическими парами  
 Fig. 1. Diagrams of eight-branched CKs with virtual kinematic pairs

Квадратами в схемах на рис. 1 показаны связи – виртуальные кинематические пары. Цифра внутри квадрата – порядковый номер виртуальной пары.

На втором этапе, производим замену в структурных схемах ЗКЦ, виртуальных кинематических пар на классы кинемати-

ческих пар, разрешенные к применению. В нашем случае, это кинематические пары пятого и третьего класса, в количествах  $p_5 = 7$ ,  $p_3 = 3$ .

Для определения количества  $R$  возможных вариантов размещения заданного

числа кинематических пар пятого и третьего класса на местах расположения виртуальных пар используем известную из комбинаторики формулу [14], которая для нашего случая имеет вид:

$$R = \frac{p!}{p_3! \times p_5!} \quad (19)$$

Подставив в формулу (19) значения  $p = 10$ ,  $p_5 = 7$ ,  $p_3 = 3$ , получим общее количество вариантов размещения кинематических пар  $R = 120$ .

В табл. 3, показаны все 120 вариантов размещения кинематических пар, каждый вариант имеет свой номер и код из 10 цифр, цифра «3» кода соответствует кинематической паре третьего класса, а цифра «5» пятого. Замена виртуальных пар на условные классы кинематических пар, проводится на основе вариантов размещения в порядке нумерации виртуальных пар на схемах.

Таблица 3

Варианты размещения кинематических пар  $P_3$  и  $P_5$  на схемах

Table 3

*Types of the arrangement of P5 and P4 kinematic pairs in diagrams*

№	Код	№	Код	№	Код
1	3335555555	41	5335555355	81	5535553535
2	3353555555	42	5335555535	82	5535553553
3	3355355555	43	5335555553	83	5535553355
4	3355535555	44	5353355555	84	5535553535
5	3355553555	45	5353535555	85	5535555533
6	3355555355	46	5353553555	86	5553335555
7	3355555535	47	5353555355	87	5553353555
8	3355555553	48	5353555535	88	5553355355
9	3533555555	49	5353555553	89	5553355535
10	3535355555	50	5355335555	90	5553355553
11	3535535555	51	5355353555	91	5553533555
12	3535553555	52	5355355355	92	5553535355
13	3535555355	53	5355355535	93	5553535535
14	3535555535	54	5355355553	94	5553535553
15	3535555553	55	5355533555	95	5553553355
16	3553355555	56	5355535355	96	5553553535
17	3553535555	57	5355535535	97	5553553553
18	3553553555	58	5355535553	98	5553553355
19	3553555355	59	5355553355	99	5553553535
20	3553555535	60	5355553535	100	5553555533
21	3553555553	61	5355553553	101	5553335555
22	3555335555	62	5355553355	102	5553353555
23	3555353555	63	5355553553	103	5553355535
24	3555355355	64	5355555335	104	5553355553
25	3555355535	65	5533355555	105	5553353555
26	3555355553	66	5533535555	106	5553353535
27	3555335555	67	5533553555	107	5553353553
28	3555353555	68	5533555355	108	5553355335
29	3555355535	69	5533555535	109	5553355535
30	3555355553	70	5533555553	110	5553355533
31	3555533555	71	5533355555	111	5555333555
32	3555535355	72	5533535555	112	5555335355
33	3555535553	73	5533553555	113	5555335553
34	3555553355	74	5533555335	114	5555335335
35	3555553535	75	5533555553	115	5555335353
36	3555555335	76	5533533555	116	5555335533
37	5333555555	77	5533553355	117	5555533335
38	5333555555	78	5533553535	118	5555533535
39	5335355555	79	5533553553	119	5555535335
40	5335535555	80	5533553355	120	5555535335

В результате замены виртуальных кинематических пар в структурных схемах ЗКЦ, изображенных на рис. 1, кинематическими парами пятого и третьего класса, можно получить 120 вариантов структурных схем ЗКЦ с условными классами кинематических пар на одну схему ЗКЦ с виртуальными парами.

На рис. 2, приведена структурная схема восьмизвенной ЗКЦ четвертого вида, полученной в результате замены виртуальных пар в схеме 6, изображенной на рис. 1, на условные классы кинематических пар, в соответствии с вариантом размещения № 7 табл. 3.

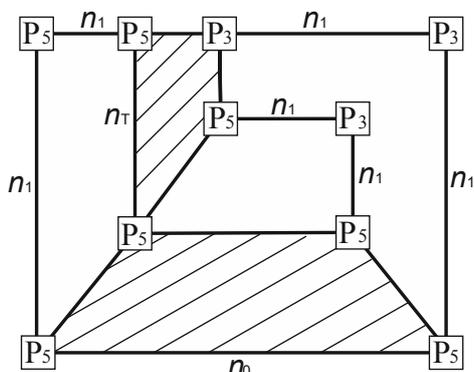


Рис. 2. Структурная схема восьмизвенной ЗКЦ четвертого вида с условными классами кинематических пар, разрешенными к применению

Fig.2. Diagram of an eight-bar closed kinematic chain of the fourth type with conditional classes of kinematic pairs to use

На третьем этапе, выбираем пространство функционирования звеньев цепи, и заменяя в схемах ЗКЦ условные классы кинематических пар технически реализуемыми парами с конкретным комплексом движений, строим все возможные структурные схемы восьмизвенных ЗКЦ шестого подсемейства первого семейства четвертого вида для данного пространства.

Если выбрать пространство функционирования цепи ВПВП и заменить в

структурной схеме ЗКЦ, изображенной на рис. 2, условные классы кинематические пар на виды технически реализуемых, получим структурную схему восьмизвенной ЗКЦ шестого подсемейства первого семейства четвертого вида, приведенную на рис. 3, из которой путем остановки одного из звеньев, могут образовываться одноподвижные восьмизвенные механизмы первого семейства.

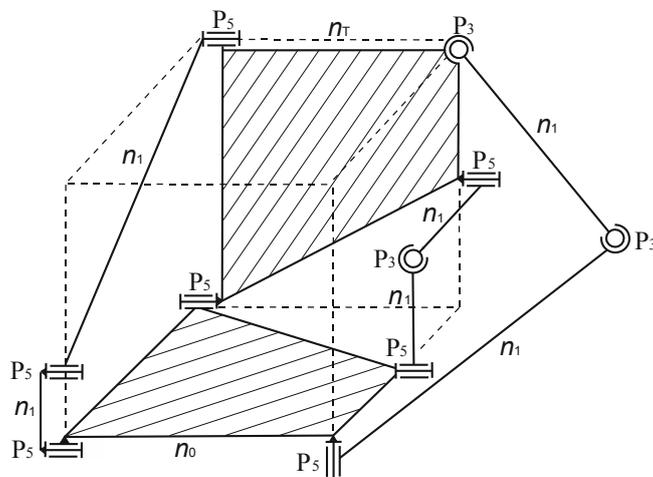


Рис. 3. Структурная схема восьмизвенной ЗКЦ шестого подсемейства первого семейства четвертого вида

Fig.3. Diagram of the six subfamily eight-bar closed kinematic chain of the first family subfamily of the fourth type

## Заключение

Полученные в результате проведенных исследований решения, представленные в табл. 1 и 2, являются фундаментом для построения структурных схем ассуро-

вых восьмизвенных ЗКЦ первого семейства четвертого вида и позволяют находить все возможные структурные схемы данных цепей при заданных параметрах.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Grubler M. Allgemeine Eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen Ketten // *Civilingenieur*. Leipzig. 1883. № 29. P. 167-200.
2. Дворников Л.Т., Жуковский Н.С. Адаптированный перевод с немецкого языка статьи: Martin Grübler «Allgemeine Eigenschaften der zwangläufigen ebenen kinematischen Ketten», изданной в Лейпциге в 1883 г. // Материалы девятнадцатой научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения. - Новокузнецк, 2009. С.73-95.
3. Пейсах Э.Е. Проблема изоморфизма структур и идентификационный структурный код для замкнутых кинематических цепей // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна*. СПб, 2008. № 15. С. 40-46.
4. Butcher E.A., Hartman C. Efficient enumeration and hierarchical classification of planar simple-jointed kinematic chains: Application to 12- and 14-bar single degree-of-freedom chains. - *Mechanism and Machine Theory*, Volume 40, No. 9, September 2005, p. 1030-1050.
5. Федоров А.И., Дворников Л.Т. К вопросу о полном составе восьмизвенных плоских цепей Грюблера // *Машиностроение*. Новокузнецк, 2010. № 20. С. 45-51.
6. Вовкотруб В.В. Развитие методов структурного синтеза механизмов первого семейства из за-

- мкнутых кинематических цепей подвижных звеньев // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. СПб: НИЦ МС, 2023. № 18. С. 27-35.
7. Дворников Л.Т. Начала теории структуры механизмов: Учебное пособие. Новокузнецк: СибГГМА, 1994. 102 с.
8. Дворников Л.Т. Универсальная структурная классификация механизмов / Л.Т. Дворников. - Новокузнецк: Машиностроение, 2011. № 21. С. 4-37.
9. Степанов А.В. Виртуализация в задачах компьютерного синтеза структур механизмов // *Вестник КузГТУ*. 2007. № 3(61). С. 47-50.
10. Степанов А.В. Развитие алгоритмов расчета состава кинематических цепей // *Вестник КузГТУ*. 2014. № 4(104). С. 57-60.
11. Харари, Ф. Теория графов / Ф. Харари. М.: Мир, 1973. 300 с.
12. Домнин, Л.Н. Элементы теории графов / Л.Н. Домнин. Пенза: Изд-во ПГУ, 2004. 139 с.
13. Пейсах Э.Е. Структурный синтез замкнутых кинематических цепей (цепей Грюблера). // Часть 1. Теория механизмов и машин. 2008. № 1. Т. 6. С. 4-14.
14. Андерсон Д.А. Дискретная математика и комбинаторика. Пер. с англ. Москва: Вильямс, 2004. 960 с.

## REFERENCES

1. Grubler M. Allgemeine Eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen Ketten. Leipzig: *Civilingenieur*. 1883;29:167-200.
2. Dvornikov LT, Zhukovsky NS. Adapted translation from German: Allgemeine Eigenschaften der zwangläufigen ebenen kinematischen Ketten. Proceedings of the 19th Scientific and Practical Conference on Problems of Mechanics and Machine Building. Novokuznetsk; 2009.
3. Peisakh EE. Problem of structure isomorphism and the identification of structural code for closed kinematic chains. *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Natural and Technical Sciences*. 2008;15:40-46.
4. Butcher EA, Hartman C. Efficient enumeration and hierarchical classification of planar simple-jointed kinematic chains: application to 12- and 14-bar sin-

- gle degree-of-freedom chains. *Mechanism and Machine Theory*. 2005;40(9):1030-1050.
5. 5 Fedorov AI, Dvornikov LT. On the problem of the full composition of eight-bar flat Grubler chains. *Novokuznetsk: Mashinostroenie*. 2010;20:45-51.
6. Vovkotrub VV. Development of methods of structural synthesis of first family mechanisms of closed kinematic chains. *Transport, Mining and Construction Engineering: Science and Production*. 2023;18:27-35.
7. Dvornikov LT. The foundations of the theory of mechanism structure: textbook. Novokuznetsk: SibGGMA; 1994.
8. Dvornikov LT. Universal structural classification of mechanisms. *Novokuznetsk: Mashinostroenie*; 2011.

9. Stepanov AV. Virtualization in problems of computer synthesis of mechanism structures. Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2007;3(61):47-50.
10. Stepanov AV. Development of algorithms for calculating the composition of kinematic chains. Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2014;4(104):57-60.

11. Harari F. Graph theory. Moscow: Mir; 1973.
12. Domnin LN. Elements of graph theory. Penza: Publishing House of PSU; 2004.
13. Peisakh EE. Structural synthesis of closed kinematic chains (Grubler chains). Theory of Mechanisms and Machines. 2008;1(6):4-14.
14. Anderson DA. Discrete mathematics and combinatorics. Moscow: Wilyams; 2004.

#### **Информация об авторе:**

**Вовкотруб Валерий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент 105 кафедры механики, тел. 89183822068.

**Vovkotrub Valery Vladimirovich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanics, phone: 89183822068.

**Статья опубликована в режиме Open Access.  
Article published in Open Access mode.**

**Статья поступила в редакцию 20.05.2024; одобрена после рецензирования 23.05.2024; принята к публикации 26.06.2024. Рецензент – Сьянов С.Ю., кандидат технических наук, доцент Брянского государственного технического университета, заместитель главного редактора журнала «Транспортное машиностроение».**

**The article was submitted to the editorial office on 20.05.2024; approved after review on 23.05.2024; accepted for publication on 26.06.2024. The reviewer is Syanov S.Yu., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University, Deputy Editor-in-Chief of the journal *Transport Engineering*.**