

**Structural analysis of spatial mechanisms**  
**Gorshkov A.**  
**Структурный анализ пространственных механизмов**  
**Горшков А. Д.**

*Горшков Александр Деомидович / Gorshkov Aleksandr Deomidovich - кандидат технических наук, доцент,  
кафедра общинженерных дисциплин,  
Пермский военный институт внутренних войск, г. Пермь*

**Аннотация:** в статье рассматривается структурный анализ пространственных механизмов, применение которого проиллюстрировано на примерах многозвенных механизмов. Введены в рассмотрение пространственные структурные группы.

**Abstract:** the article discusses the structural analysis of spatial mechanisms, application of which is illustrated on the examples of multilink mechanisms. An overview of spatial structural groups.

**Ключевые слова:** механизм, кинематическая пара, звено, структурная группа.

**Keywords:** mechanism, kinematic pair, link, structural group.

Предложенная структурная классификация пространственных механизмов представляется достаточно удобной для проведения кинематического и силового исследования механизмов, проводимого аналитическим методом, предложенного автором для анализа плоских механизмов ([5]-[9]).

Условие существования пространственных структурных групп, вытекающее из формулы Сомова-Малышева

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 = 0, \quad (1)$$

где  $W$  – степень подвижности кинематической цепи,

$n$  – количество подвижных звеньев,

$p_5$  – количество кинематических пар пятого класса,

$p_4$  – количество кинематических пар четвертого класса,

$p_3$  – количество кинематических пар третьего класса.

Из выражения (1) получим

$$6n = 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 \quad (2)$$

Анализ показывает, что равенство (2) может быть реализовано в четырех случаях:

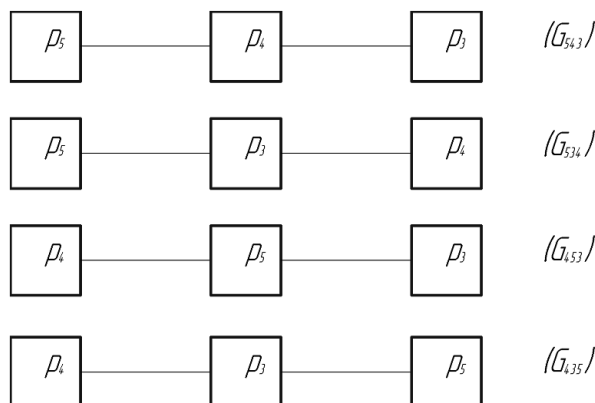
- при  $n=2$ , когда  $p_5 = p_4 = p_3 = 1$ ,  $n = \frac{1}{6}(5 \times 1 + 4 \times 1 + 3 \times 1) = 2$ , (3)

- при  $n=3$ , когда  $p_5 = 3, p_4 = 0, p_3 = 1$ ,  $n = \frac{1}{6}(5 \times 3 + 0 \times 1 + 3 \times 1) = 3$ , (4)

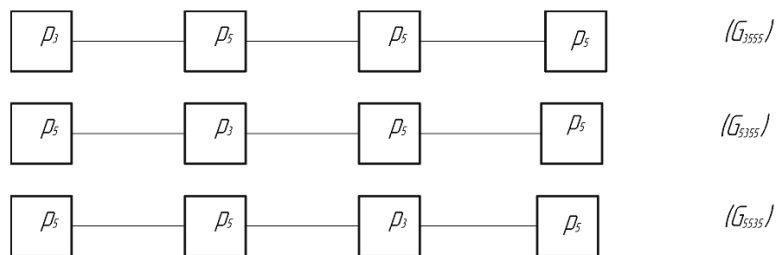
- при  $n=3$ , когда  $p_5 = 2, p_4 = 2, p_3 = 0$ ,  $n = \frac{1}{6}(5 \times 2 + 4 \times 2 + 3 \times 0) = 3$  (5)

- при  $n=5$ , когда  $p_5 = 6, p_4 = p_3 = 0$ ,  $n = \frac{1}{6}(5 \times 6 + 4 \times 0 + 3 \times 0) = 5$  (6)

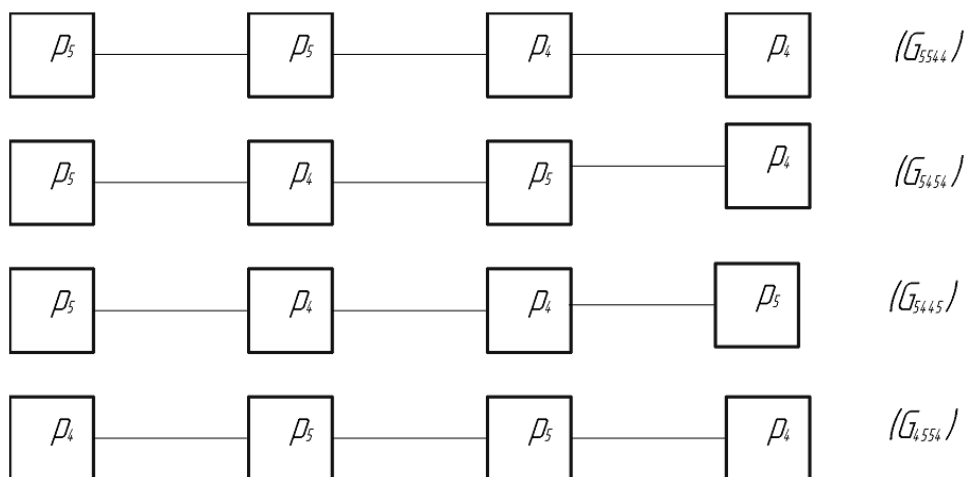
Для случая при  $n=2$  (равенство 3) имеем четыре варианта:



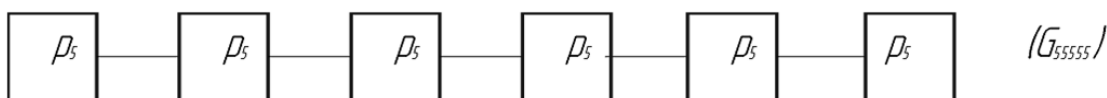
Для случая при  $n=3$  (равенство 4) имеем три варианта:



Для случая при  $n=3$  (равенство 5) имеем четыре варианта:



Для случая при  $n=5$  (равенство 6) имеем один вариант:



Пример 1.

Пространственный кривошипно-ползунный механизм [2, стр. 94].

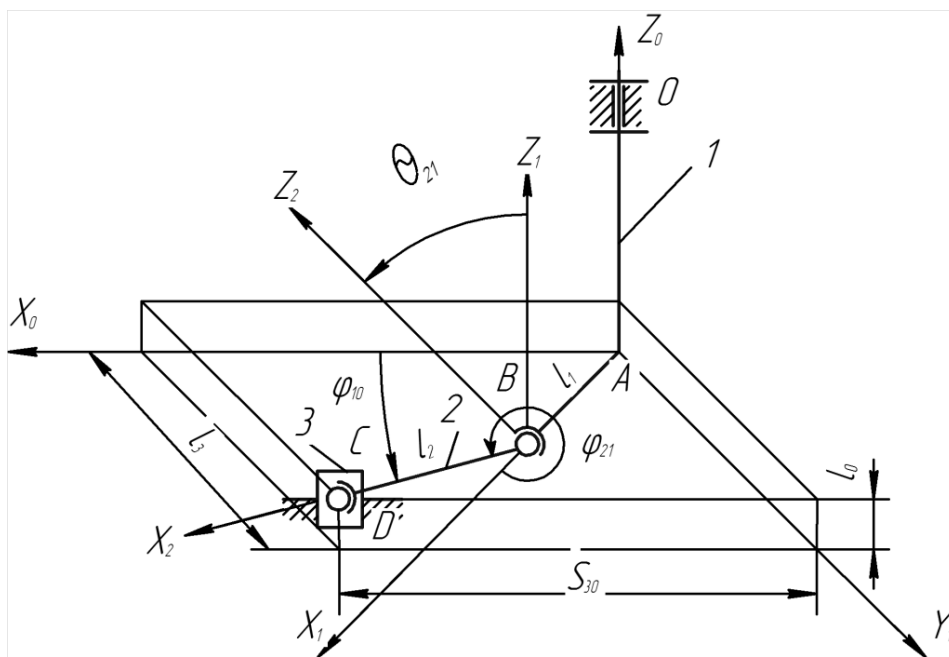


Рис.1. Пространственный кривошипно-ползунный механизм

Механизм состоит из трех подвижных звеньев ( $n=3$ ):

- кривошип 1 (входное звено, вращательное движение);
  - шатун 2;
  - ползун 3 (прямолинейно-поступательное движение)
- и четырех кинематических пар:  
 $O, D$  – вращательная и поступательная пары ( $p_5$ ),  
 $B$  – сферическая пара с пальцем ( $p_4$ ),  
 $C$  – сферическая пара ( $p_3$ ).

Степень подвижности кинематической цепи:

$$W = 6 \times n - 5 \times p_5 - 4 \times p_4 - 3 \times p_3 = 6 \times 3 - 5 \times 2 - 4 \times 1 - 3 \times 1 = 1$$

Кинематическая цепь является механизмом. Формула строения механизма

$$I \rightarrow G_{543}$$

Пример 2.

Рычажный механизм [4].

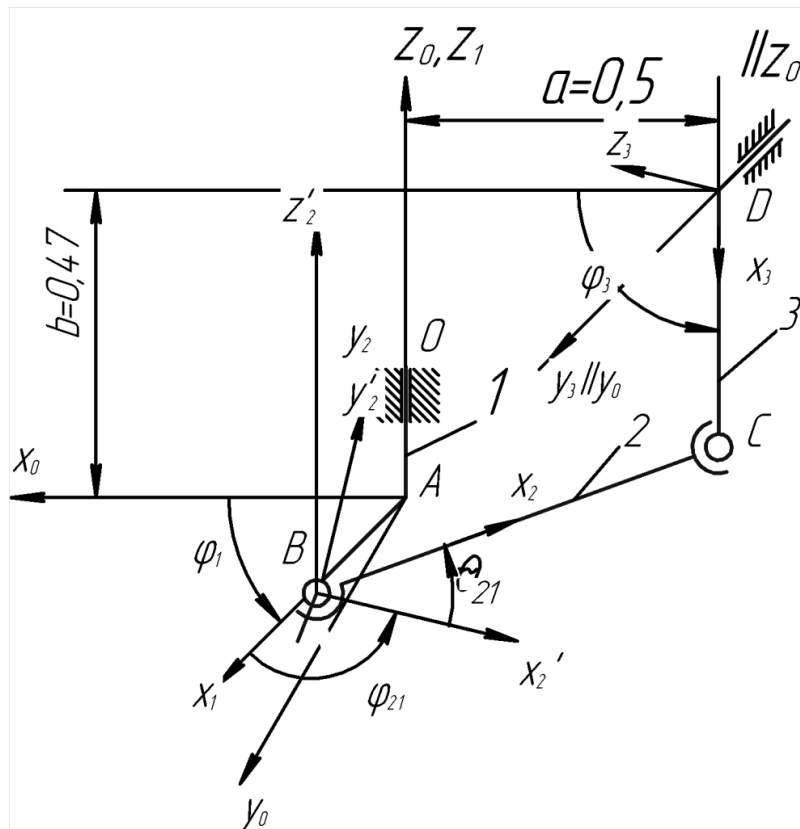


Рис. 2. Рычажный механизм

Механизм состоит из трех подвижных звеньев ( $n=3$ ):

- кривошип 1 (входное звено, вращательное движение);
- шатун 2;
- коромысло 3 (вращательное движение)

и четырех кинематических пар:

- $O, D$  – вращательные ( $p_5$ ),
- $B$  – сферическая пара с пальцем ( $p_4$ ),
- $C$  – сферическая пара ( $p_3$ ).

Степень подвижности кинематической цепи:

$$W = 6 \times n - 5 \times p_5 - 4 \times p_4 - 3 \times p_3 = 6 \times 3 - 5 \times 2 - 4 \times 1 - 3 \times 1 = 1.$$

Кинематическая цепь является механизмом.

Формула строения механизма:

$$I \rightarrow G_{453}.$$

Пример 3.

Модель пространственного шестизвенного механизма ([1], стр. 109).

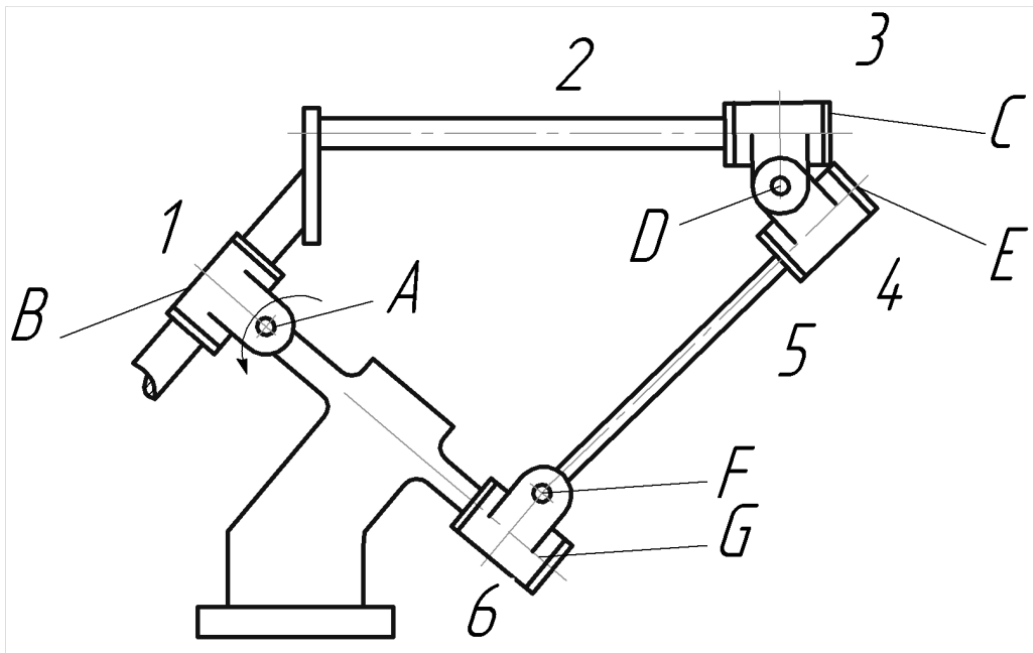


Рис. 3. Шестизвенный механизм

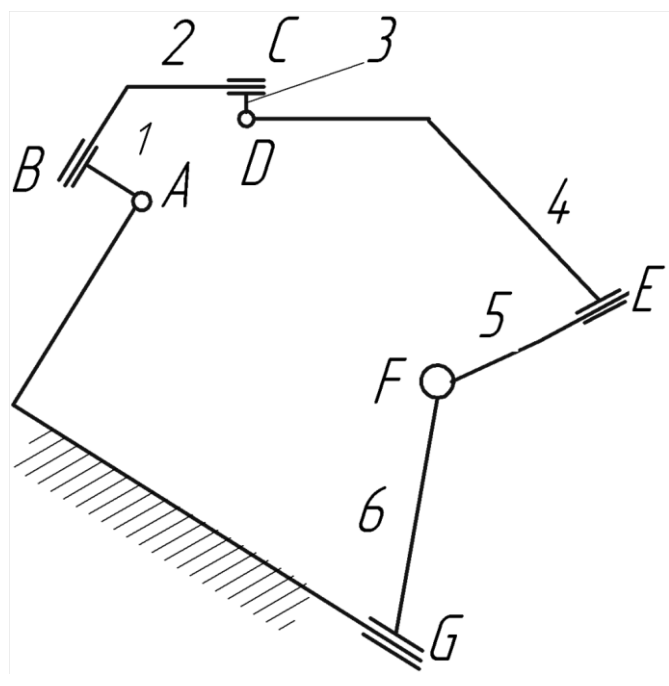


Рис. 4. Структурная схема шестизвенного механизма

Количество подвижных звеньев –  $n=6$ .

Количество кинематических пар пятого класса  $p_5=7$  ( $A, D, F$  – вращательные,  $B, C, E, G$  – поступательные).

Степень подвижности кинематической цепи:

Кинематическая цепь является механизмом.

Формула строения механизма:

$$I \rightarrow G_{555555}$$

Пример 4. Карданный механизм ([3], стр. 137).

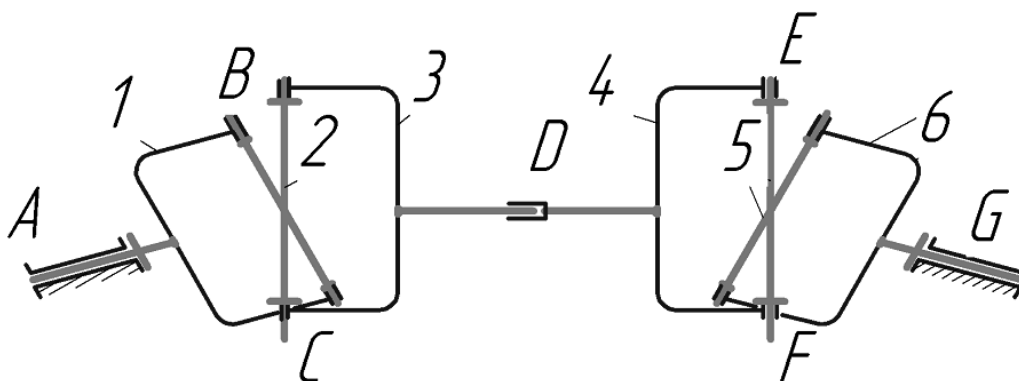


Рис. 5. Карданный механизм

Кинематическая цепь состоит из шести подвижных звеньев ( $n=6$ ), количество кинематических пар пятого класса  $p_5=7$ .  
Степень подвижности кинематической цепи:

$$W = 6 \times n - 5 \times p_5 = 6 \times 6 - 5 \times 7 = 36 - 35 = 1.$$

Кинематическая цепь является механизмом.

Формула строения механизма:

$$I \rightarrow G_{555555}$$

#### Литература

1. Артоболовский И. И. Теория механизмов и машин. - М.: Наука, 1975.
2. Левитский Н. И. Теория механизмов и машин.-М.: Наука, 1990.
3. Теория механизмов и механика машин: Учебн. для вузов / Фролов К. В. и др.; М.: Высшая школа, 2003.
4. Кинематический анализ пространственного рычажного механизма методом преобразования координат. Анципорович П. П., Акулич В. К., Дубовская Е. М. Белорусский национальный технический университет, Минск. Репозиторий БНТУ.
5. Горшков А. Д. Применение аналитического метода в кинематическом анализе плоских механизмов. XV Международная научно-практическая конференция: «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке» Россия, г. Москва, 27-28.03.2015, - С 16-19.
6. Горшков А. Д. Применение аналитического метода в силовом анализе плоских механизмов. XV Международная научно-практическая конференция: «Научное обозрение физико-математических и технических наук в XXI веке» Россия, г. Москва, 27-28.03.2015, - С 19-22.
7. Горшков А. Д., Кузьминова Н. А. Применение аналитического метода в силовом анализе рычажного плоского механизма. European Research: Innovation in Science, Education and Technology // European research № 3 (4) / Сб. ст. по мат.: IV межд. науч.-практ. конф. (Россия, Москва, 23-24 мая, 2015). М. - 98 с.
8. Горшков А. Д., Примостка В. Е. Применение аналитического метода в кинематическом анализе плоских многозвенных механизмов. European Research: Innovation in Science, Education and Technology // European Research № 8 (9) / Сб. ст. по мат.: IX межд. науч.-практ. конф. (Россия, Москва, 23-24 октября, 2015). М. 2015, 6-17 с.
9. Горшков А. Д., Примостка В. Е. Применение аналитического метода в силовом анализе плоских многозвенных механизмов. European Research: Innovation in Science, Education and Technology // European Research № 8 (9) / Сб. ст. по мат.: IX межд. науч.-практ. конф. (Россия, Москва, 23-24 октября, 2015). М. 2015, 17-28 с.