

$$w(\xi) = \frac{q_k}{2k\beta} \left\{ \frac{1}{\Delta} [e^{2\beta L} \cos^2 \beta L (sh\beta\xi \cos\beta\xi - e^{-\beta\xi} \sin\beta\xi) + (e^{2\beta\xi} + 1 + e^{2\beta L} \sin 2\beta L) sh\beta\xi \sin\beta\xi] - \frac{1}{2} (2e^{-\beta\xi} \sin\beta\xi - \xi) \right\},$$

$$L = 0.3 \quad (26)$$

$$\text{где } \Delta = -[(e^{2\beta L} + 1)^2 + 4e^{2\beta L} \cos^2 \beta L],$$

$$\beta = \frac{\sqrt{2}}{2} \beta L = \frac{3}{10\sqrt{2}}. \quad (27)$$

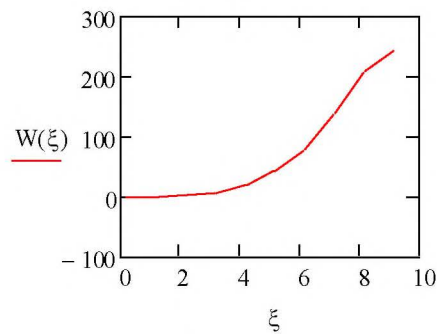


Рис – 4

#### Список литературы

1. С.Н.Соколов, «Круглая пластинка на обобщенном упругом основании, Инженерник сборник», т. 2, 1952 г.
2. А.Р.Кер, «Упругие и вязкоупругие модели оснований», «Прикладная механика», 1964 г.
3. Е.Т.Божанов, Ж.С.Ержанов, «Исследование проблем устойчивости упругих тел, гибких пластин и оболочек и их приложения», «Қазақстан жоғарғы мектебі», Алматы 2001 г., 300с.
4. В.З.Партон, «Механика разрушения от теории к практике», Москва, Наука, 1990 г., 239с.

УДК 621.01

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ИЗБЫТОЧНЫХ СВЯЗЕЙ В МЕХАНИЗМАХ

**Абдираимов А.А.** кандидат технических наук,

КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66

**Зыкова Е.П.** соиск. каф. «Метрология и стандартизация», КГТУ им. И.Раззакова, Кыргызстан, 720044, г.Бишкек, пр. Мира 66

В статье рассмотрена методика определения избыточных связей в кинематических цепях и механизмах. Показано, что избыточные связи появляются в многоподвижных системах. В качестве примера рассмотрен четырехзвенный механизм с тремя подвижными звеньями, в нем выявлено число избыточных связей и найдены два способа их устранения.

**Ключевые слова:** избыточная связь, кинематическая цепь, подвижное звено, кинематическая пара, шарнир, четырехзвенный механизм, наложенная связь.

#### DETERMINATION AMOUNT OF EXCESS BONDS IN THE MECHANISMS

**Abdiraimov A.A.** PhD (Engineering), Associate Professor,

Kyrgyzstan, 720044, c.Bishkek, KSTU named after I.Razzakov

**Zykova E.P.** (the applicant of the department "Metrology and standardization"

Kyrgyzstan, 720044, c. Bishkek, KSTU named after I.Razzakov

The article describes the method of determining the redundant links in the kinematic chains and mechanisms. It is shown that there are redundant links in mnogopodviznyh systems. As an example the four-link mechanism with three mobile units, it found the number of redundant links and find two ways to address them.

**Keywords:** excess bond kinematic chain movable member kinematic pair, hinge, four-bar mechanism of imposed connection.

Начиная с 1950-х годов трудами ученых – Л.В. Ассура, О.Г. Озола, Л.Т. Дворникова и других установлены новые закономерности структуры механизмов, например, существование в них избыточных (пассивных) связей.

Устранение этих связей дает возможность синтезировать рациональные или самоустанавливающиеся механизмы.

Л.Н. Решетов дал следующее определение избыточным связям в механизмах:

Избыточными (пассивными) связями называют такие связи, устранение которых не увеличивает подвижность механизма.

Согласно современной терминологии [1,2], механическая система будет рациональной, работоспособной, без избыточных связей, если выполняется условие

$$6n - 1 = \sum k \cdot p_k \quad (1)$$

где  $n$  – число подвижных звеньев,  $k$  – класс кинематических пар,  $p_k$  – число кинематических пар  $k$ -го класса.

то система спроектирована верно. Если же левая и правая части (1) не будут равны друг другу, то между ними возникает число избыточных связей [1]

$$q = \sum k \cdot p_k - (6n - 1). \quad (2)$$

В случае, когда  $q > (6n - 1)$ , то система будет или неработоспособной или при движении ею будут преодолеваются избыточные связи.

Также избыточные связи появляются в многоподвижных системах при  $W > 1$ . В этом случае вместо единицы в (2) введем параметр  $W$ , тогда число избыточных связей  $q$  можно определить:

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

Для кинематических цепей с  $\tau = 1$ , выражение (3) примет вид

$$q = m(p - n), \quad (4)$$

где  $p$  – общее число кинематических пар, независимо от их классов,  $m$  – число наложенных связей.

По формулам (3) и (4) можно определить количество избыточных связей в кинематической цепи. В формуле (4) необходимо знать количество наложенных связей  $m$ . Если проектируется кинематическая цепь с количеством  $m$  наложенных связей, то подвижность этой цепи определяется по формуле Добровольского В.В.

$$W = (6 - m) \cdot n - \sum (k - m) \cdot p_k \cdot h(k - m). \quad (5)$$

Чтобы устранить избыточные связи в кинематической цепи при  $m \neq 0$ , необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} 6n - W = 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1, \\ (6 - m) \cdot n - W = \sum (k - m) \cdot p_k \cdot h(k - m), \\ p = p_5 + p_4 + p_3 + p_2 + p_1. \end{cases} \quad (6)$$

Применительно к системам с кинематическими парами пятого класса, второе и третье уравнения системы (6) примут вид:

$$p = p_5 = \frac{(6-m)n-W}{5-m}. \quad (7)$$

Например, при  $m = 3$ , при проектировании плоского механизма необходимо воспользоваться системой

$$\begin{cases} 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1 = 6n - W, \\ p_5 + p_4 + p_3 + p_2 + p_1 = \frac{3n-W}{2}. \end{cases} \quad (8)$$

При создании плоского четырехзвенного механизма, у которого число подвижных звеньев  $n = 3$  и  $W = 1$  из системы (8) получаем

$$\begin{cases} 5p_5 + 4p_4 + 3p_3 + 2p_2 + p_1 = 17, \\ p_5 + p_4 + p_3 + p_2 + p_1 = 4. \end{cases} \quad (9)$$

Примем  $p_1 = 0$ ,  $p_2 = 0$ , а также выразим  $p_3$  и  $p_4$  через  $p_5$

$$p_3 = p_5 - 1, \quad p_4 = 5 - 2p_5. \quad (10)$$

Поскольку число кинематических пар  $p_4$  в четырехзвенном механизме [4,5] не может быть больше 4, то значениями  $p_5$  могут быть 1 или 2. В этом случае существует два способа устранения избыточных связей в плоском четырехзвеннике:

$$p_5 = 1, \quad p_4 = 3, \quad p_3 = 0, \quad (11)$$

$$p_5 = 2, \quad p_4 = 1, \quad p_3 = 1. \quad (12)$$

Анализ (11) и (12) показывает, что в четырехзвенном механизме нужно либо заменить три одноподвижных шарнира  $p_5$  на двухподвижные пары  $p_4$ , либо один из шарниров  $p_5$  заменить на пару  $p_4$ , а второй - на пару  $p_3$ .

Покажем результаты устранения избыточных связей на примере.

Более подробно разберем существо избыточных связей [3] на примере шарнирного четырехзвенного механизма, степень подвижности которого определяется по формуле:

$$W = 3n - 2P_5 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1.$$

В этом механизме для достижения качественной его работы необходимо, чтобы оси всех шарниров были строго параллельны между собой и перпендикулярны плоскости чертежа. Если же при изготовлении звеньев эти требования выполнены неточно, то получим механизм с произвольным расположением осей шарниров в пространстве. Эта неточность при сборке механизма и его дальнейшей работе повлечет появление напряжений в звеньях и шарнирах, а, следовательно, снизит надежность механизма.

При анализе шарнирного четырехзвенного механизма можно заметить, что повышенные требования к точности его изготовления обусловлены слишком большим числом связей, наложенных на механизм (13). Поэтому целесообразно уменьшить некоторое число связей без изменения определенности движения звеньев.

Определим число избыточных связей в шарнирном четырехзвеннике в соответствии с формулой Л.Н. Решетова:

$$q = W + 5P_5 + 6n = 1 + 5 \cdot 4 - 6 \cdot 3 = 3. \tag{13}$$

Следовательно, в этом механизме существует три избыточные связи, которые можно устранить, не увеличивая подвижность механизма. Один из вариантов устранения избыточных связей в указанном механизме изображен на рисунке 1.

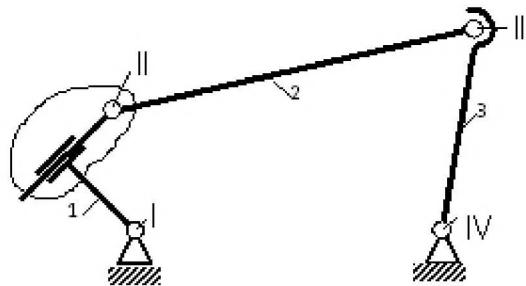


Рис. 1 Схема четырехзвенного механизма с замененными кинематическими парами

Здесь кинематическая пара II V-го класса  $p_5$  заменена парой IV-го класса  $p_4$  (поступательно-вращательной), а кинематическая пара III V-го класса  $p_5$  заменена парой III-го класса  $p_3$  (сферической). Число избыточных связей после замены кинематических пар станет равным нулю, т.к.

$$q = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 1P_1 - 6n = 1 + 5 \cdot 2 + 4 \cdot 1 + 3 \cdot 1 - 6 \cdot 3 = 0.$$

Сборка и работа такого механизма происходит без деформации звеньев, т.к. он имеет возможность самоустанавливаться при перекосе шарниров I и IV.

Степень подвижности шарнирного четырехзвенника без избыточных связей проверим по формуле:

$$W = 6n - 5P_5 - 4P_4 - 3P_3 - 2P_2 - 1P_1 = 6 \cdot 3 - 5 \cdot 2 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 1.$$

Таким образом, степень подвижности механизма в результате исключения избыточных связей не изменилась.

Рассмотрим схему вспомогательного механизма пресс-подборщика - упаковщика [6], представляющего собой четырехзвенный механизм, начальным звеном которого является кривошип 1, а выходным – вилка упаковщика, являющаяся продолжением шатуна 2.

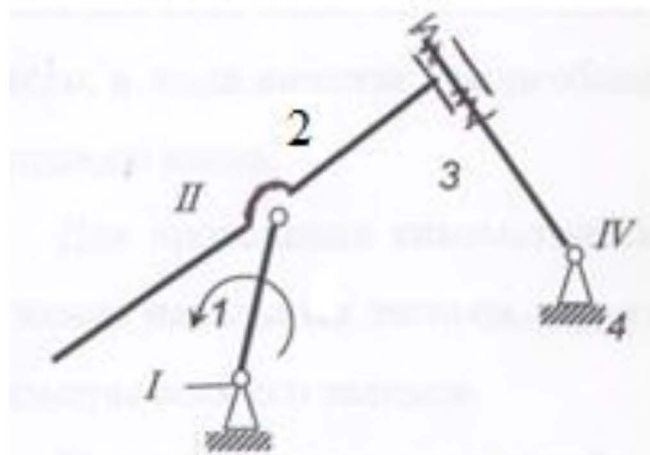


Рис. 2 Структурная схема механизма упаковщика

Как видно из рисунка 2, механизм состоит из четырех звеньев – трех подвижных: 1-кривошип, 2-шатун, 3-коромысло и неподвижного - стойки 4. Кинематические пары данного механизма: I, II, IV - одноподвижные, пара III – является двухподвижной, т.е.  $n = 3$ ,  $P_5 = 3$ ,  $P_4 = 1$ .

Подвижная кинематическая пара III между шатуном и коромыслом ограничена с двух сторон упругими элементами, ограничивающими их относительную подвижность, поэтому указанную относительную (местную) подвижность принимаем равной нулю:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 1$$

В случаях, когда происходит подача упаковщиком большой порции сена, и возникают силы, превышающие силы сопротивления упругих элементов, допускается небольшое перемещение вдоль оси коромысла, что позволяет преодолеть перегрузки. Тогда:

$$W = 3n - 2P_5 - P_4 = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 3 - 1 = 2,$$

$$W = W_m + W_0 = 1 + 1 = 2, \quad W_m=1 - \text{местная подвижность}$$

Местная подвижность в этом механизме не изменяет его передаточных функций, однако, согласно (12) с целью исключения избыточной связи, необходимо одну из кинематических пар  $p_5$  заменить на  $p_3$ , что в рассматриваемом механизме возможно сделать в кинематической паре II.

### Вывод

После выявления количества избыточных связей в механизме устранить эти связи можно только заменой используемых кинематических пар на пары других (высоких) классов, что не изменяет степень подвижности механизма. На примере шарнирного четырехзвенного механизма показан один из двух способов устранения избыточных связей.

### Список литературы

1. Дворников, Л.Т. Начала теории структуры механизмов [Текст] / Л.Т. Дворников. –Новокузнецк: СИБГТМА, 1994. – 102 с.
2. Дворников, Л.Т. Основы теории кинетических цепей [Текст] / Л.Т. Дворников // Матер. второй межд. конф. «Механизмы переменной структуры и вибрационные машины». – Бишкек, 1995. - С. 4-7.
3. Туров, В.А. Прикладная механика [Текст]: учеб. пособие/ В.А. Туров, У.А. Цой, Е. П. Зыкова - Бишкек.: ИЦ «Техник», 2013 г.-196 с.
4. Алмаатов, М.З. Структурный синтез плоских рычажных механизмов с использованием формулы Л.Т. Дворникова [Текст] / М.З. Алмаатов, А.А. Абдираимов // Машиноведение: сб. науч. тр. – Бишкек: Илим, 2008. – Вып. 6. – С. 44-49.
5. Абдираимов, А.А. Структурный синтез механизмов [Текст] / А.А. Абдираимов // Известия КГТУ им. И. Раззакова. – Бишкек, 2006. - № 9, т. 1. – С. 141-146.
6. Жумаев, Т. Унификация конструкций подбирающих механизмов кормоуборочных машин [Текст] / Т. Жумаев. – Бишкек: Техник, 2013. – 120 с.

### References

1. Dvornikov L.T. The theory of the structure of mechanisms [Text] / LT Janitors. -Novokuznetsk: SIBGTMA, 1994. - 102 p.
2. Dvornikov L.T. Fundamentals of the theory of kinetic chains [Text] / LT Wipers // Mater. second int. Conf. "The mechanisms of variable structure and vibrating machines." - Bishkek, 1995. - P. 4-7.
3. Turov V.A. Prikladnaya mechanics [Text]: studies. Benefit / V.A. Desk, W.A. Choi, E.P Zykova - Bishkek .: IC "Technique", 2013, 196 p.
4. Almatov M.Z. Structural synthesis of planar linkages using the formula L.T. Dvornikova [Text] / MZ Almatov, AA Abdairaimov // Knowing machines: Sat. scientific. tr. - Bishkek: Ilim, 2008. - Vol. 6. - P. 44-49.
5. Abdairaimov A.A. Structural synthesis mechanisms [Text] / A.A. Abdairaimov // Proceedings of KSTU. I.Razzakova. - Bishkek, 2006. - № 9, Vol. 1. - P. 141-146.
6. Zhumaev T. Unification designs picks mechanisms forage machines [text] / T. Zhumaev. - Bishkek: Technique, 2013. - 120 p.