

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2019-7-19-25>

К ВОПРОСУ О СОЗДАНИИ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БЕЗ ИЗБЫТОЧНЫХ СВЯЗЕЙ ДЛЯ РАЗРЕЗАНИЯ МЕТАЛЛА

Гудимова Л.Н.

Ключевые слова: ножницы, поперечное разрезание, кривошип, избыточные связи, рычаг.

Аннотация. В настоящей статье рассмотрено устройство, используемое для поперечного разрезания металла в процессе движения, содержащее в своей структуре избыточные связи. Известно, что наличие таких связей снижает коэффициент полезного действия механизма и приводит к повышенному износу соприкасающихся деталей. Используя методику исключения избыточных связей, заключающуюся в адресной замене шарниров на кинематические пары более высоких классов, в работе предлагается кинематическая цепь ножниц без избыточных по связям.

TO THE QUESTION ABOUT CREATING THE KINEMATIC STRUCTURE WITHOUT REDUNDANT LINKS FOR CUTTING METAL

Gudimova L.N.

Keywords: scissors, cross-cutting, crank, redundant links, lever.

Abstract. This article describes a device used for transverse cutting of metal in the process of movement, containing in its structure redundant bonds. It is known that the presence of such bonds reduces the efficiency of the mechanism and leads to increased wear of the contacting parts. Using the technique of eliminating redundant links, which consists in addressing the replacement of hinges on kinematic pairs of higher classes, the kinematic chain of non-redundant shears is proposed.

Одной из важных проблем современного машиностроения является проблема создания механизмов с высокой энергоемкостью, которые характеризуется высоким коэффициентом полезного действия и низкой износостойкостью деталей. Более 70% используемых в настоящее время механизмов не обладают такими свойствами. Объясняется это тем, что при создании кинематических схем механизмов для соединения звеньев (деталей) применяются вращательные или поступательные кинематические пары, обладающие одной степенью подвижности. При работе в таких механизмах возникают несогласованности в движении звеньев, которые приводят к появлению необоснованного трения и износа их поверхностей, возникающие из-за лишних или избыточных связей [1-3].

Проблема избыточности связей в настоящее время является осознанной и не вызывает сомнений. В работе поставлена задача создания кинематической структуры устройства (ножниц) без избыточных связей для поперечного разрезания металла в процессе движения. Решение основано на методике, описанной в [4], одним из авторов которой является и автор статьи. Разработанный метод адресной замены кинематических пар на пары более высоких классов с целью исключения избыточных связей, содержит восемь последовательных этапов решения, которые представлены алгоритмом, приведенном на рисунке 1.

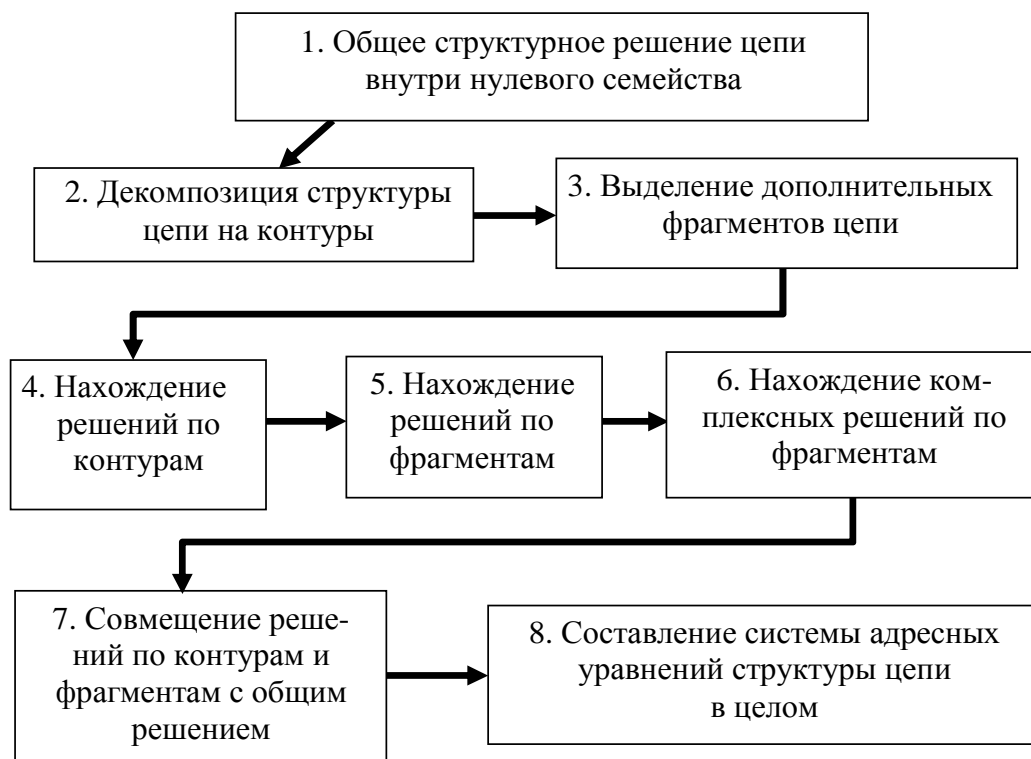


Рис. 1. Алгоритм метода адресной замены шарниров на кинематические пары более высоких классов

Исключим избыточные связи в структуре ножниц для поперечного разрезания металла (рисунок 2) в процессе движения, которые широко используются в металлургической промышленности.

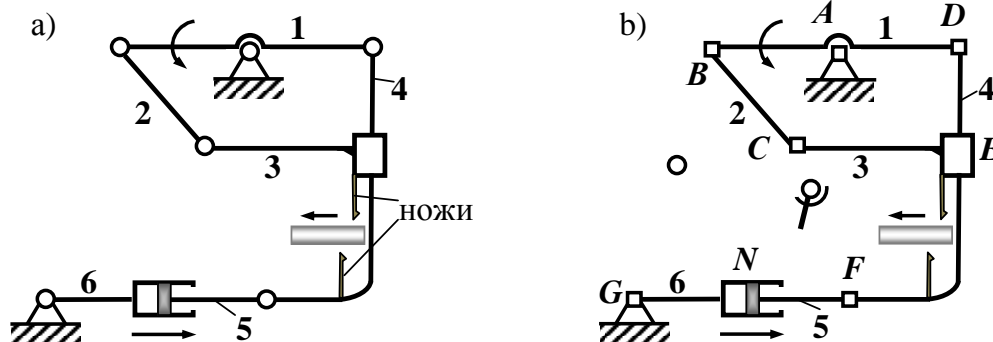


Рис. 2. Избыточная по связям кинематическая схема ножниц для поперечного разрезания металла (а), схема ножниц с виртуальными парами (б)

Исследуемый механизм содержит шесть подвижных звеньев ($n = 6$), которые соединены между собой восьмью кинематическими парами пятого класса ($p_5 = 8$), подвижность его, согласно формуле Чебышёва П.Л., $W = 3n - 2p_5 = 18 - 16 = 2$. Ведущим звеном является рычаг (1), а так как ножи

при разрезании уходят в сторону по направлению движения металла, то для их возврата предусмотрен пневмоцилиндр, т.е. структура ножниц является двухподвижной. Ножи между собой соединяются поступательной парой E , возвратно-поступательное движение которых осуществляется рычагом (1). Верхний нож соединен с рычагом через шатун 2, а нижний соединяется с рычагом шарниром. В этом механизме шесть избыточных связей $q = m(p - n) = 3(8 - 6) = 6$, где m – число общих связей, накладываемых на механизм в целом (для плоских механизмов $m = 3$).

Согласно разработанному методу исключения избыточных связей, в первом этапе определяются числа и классы кинематических внутри нулевого семейства, т.е. какие и сколько пар, определенных классов, должно быть в структуре безыбыточного по связям механизма. Воспользуемся системой уравнений, приведенной в [4]

$$\begin{cases} p_4 = \frac{3n + W}{2} - 2p_5, \\ p_3 = p_2 - W. \end{cases} \quad (1)$$

Подставляя в (1) выше приведенные значения (n и W) получаем систему

$$\begin{cases} p_4 = 10 - 2p_5, \\ p_3 = p_5 - 2, \end{cases} \quad (2)$$

которая имеет четыре варианта целочисленных положительных решений

$$1. p_5 = 5, p_4 = 0, p_3 = 3, \quad (2.1)$$

$$2. p_5 = 4, p_4 = 2, p_3 = 2, \quad (2.2)$$

$$3. p_5 = 3, p_4 = 4, p_3 = 1, \quad (2.3)$$

$$4. p_5 = 2, p_4 = 6, p_3 = 0. \quad (2.4)$$

Формально каждое из полученных решений является удовлетворительным, однако структура механизма ножниц является неодноконтурной и гарантировать отсутствие избыточных связей в каждом контуре, как показано в [4], нельзя. Для этого необходимо провести декомпозицию механизма на контуры и фрагменты, что предусмотрено вторым этапом метода. Процедуру декомпозиции необходимо проводить таким образом, чтобы звенья и кинематические пары не использовались дважды, т.е. и в контуре и во фрагменте. Число декомпозиций определяется числом изменяемых замкнутых контуров $r = (p - n) = 8 - 6 = 2$. Декомпозиция исследуемого механизма представлена на рисунке 3.

Рассмотрим первую декомпозицию механизма, она представлена контуром $ABCDE$ и фрагментом FNG , дополняющим контур. Используя параметры, приведенные на рисунке 3 для контура первой декомпозиции система (1) примет вид

$$\begin{cases} p_4 = 7 - 2p_5, \\ p_3 = p_5 - 2. \end{cases} \quad (3)$$

Система (3) имеет два варианта решений

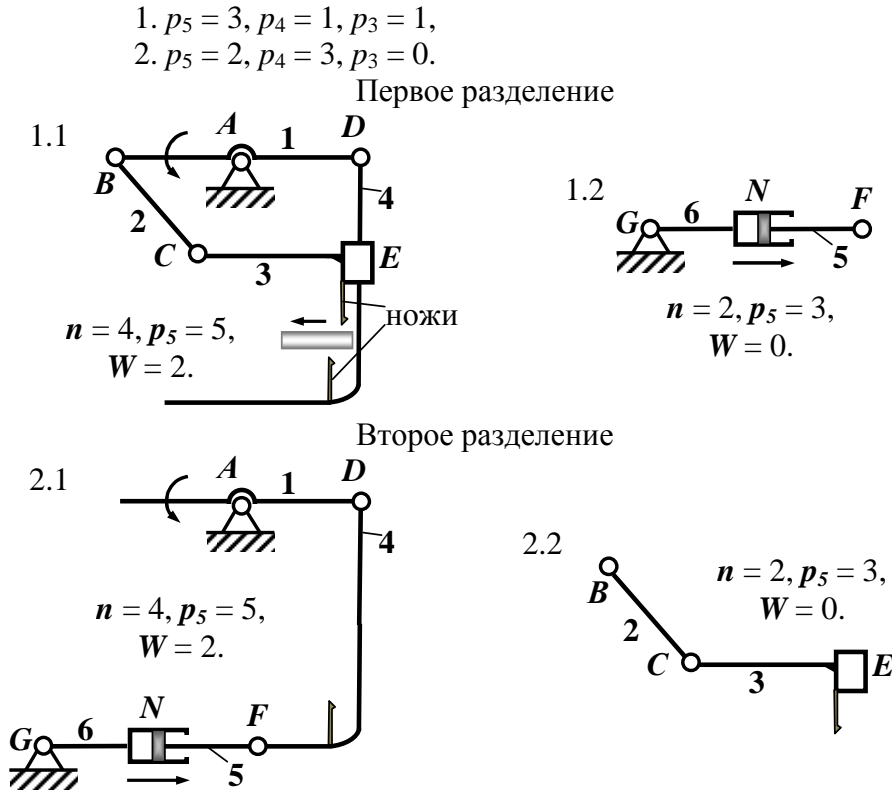


Рис. 3. Декомпозиция механизма ножниц на контуры и фрагменты

Подставляя значения n, p_5 и W в (1) для фрагмента FNG получим

$$\begin{cases} p_4 = 3 - 2p_5, \\ p_3 = p_5. \end{cases} \quad (4)$$

Решение системы (4) единственное

$$1. p_5 = 1, p_4 = 1, p_3 = 1. \quad (4.1)$$

Комплексных решений в первом разделении будет два. Под комплексным решением понимается алгебраическая сумма решений контура и фрагмента, т.е. при сложении чисел кинематических пар (3.1) и (4.1) получаем

$$1. p_5 = 4, p_4 = 2, p_3 = 2, \quad (5.1)$$

а при суммировании решений (3.2) и (4.1)

$$2. p_5 = 3, p_4 = 4, p_3 = 1. \quad (5.2)$$

Теперь перейдем к рассмотрению второй декомпозиции. Она представлена контуром $ADFNG$ и фрагментом BCE . Несмотря на то, что и контур, и фрагмент образованы звеньями отличными от первого разделения, параметры, их характеризующие, одинаковые (рисунок 3, 2.1 и 2.2), следовательно, и комплексные решения будут такими же

$$1. p_5 = 4, p_4 = 2, p_3 = 2, \quad (6.1)$$

$$2. p_5 = 3, p_4 = 4, p_3 = 1. \quad (6.2)$$

Следуя приведенному алгоритму (рисунок 1), сравним комплексные решения (5.1, 5.2 и 6.1, 6.2) с решениями внутри нулевого семейства (2.1 – 2.4). Совпадающими являются оба решения и они могут быть приняты при решении поставленной задачи. В качестве примера рассмотрим вариант, при котором $p_5 = 4$, $p_4 = 2$, $p_3 = 2$. Для нахождения адресного расположения кинематических пар в структуре механизма ножниц, обозначим их латинскими буквами (рисунок 2,b и 3). Первое уравнение системы соответствует решению внутри нулевого семейства, левая часть которого является суммой кинематических пар механизма, правая принятому решению

$$p_A + p_B + p_C + p_D + p_E + p_F + p_N + p_G = 4p_5 + 2p_4 + 2p_3.$$

Уравнение для контура первой декомпозиции (3.1)

$$p_A + p_B + p_C + p_D + p_E = 3p_5 + p_4 + p_3,$$

для фрагмента первой декомпозиции (4.1)

$$p_F + p_N + p_G = p_5 + p_4 + p_3,$$

Уравнение, соответствующее контуру второй декомпозиции

$$p_A + p_D + p_F + p_N + p_G = 3p_5 + p_4 + p_3,$$

а для фрагмента

$$p_B + p_C + p_E = p_5 + p_4 + p_3,$$

Объединим составленные уравнения в систему

$$\begin{cases} p_A + p_B + p_C + p_D + p_E + p_F + p_N + p_G = 4p_5 + 2p_4 + 2p_3, \\ p_A + p_B + p_C + p_D + p_E = 3p_5 + p_4 + p_3, \\ p_F + p_N + p_G = p_5 + p_4 + p_3, \\ p_A + p_D + p_F + p_N + p_G = 3p_5 + p_4 + p_3, \\ p_B + p_C + p_E = p_5 + p_4 + p_3. \end{cases} \quad (7)$$

Система (7) содержит пять независимых решения, а неизвестных параметров восемь. Запишем дополнительно еще два уравнения $p_A = p_5$ и $p_G = p_5$. Отметим, что это, во-первых, не противоречит системе (7), так как в тех уравнениях, где слева присутствуют соединения A и G , справа имеются кинематические пары пятого класса; во-вторых, наличие пар p_5 в этих соединениях дает возможность осуществить более простую организацию приводов.

Запишем систему уравнений (7), исключив из нее кинематические пары в соединениях p_A и p_G

$$\begin{cases} p_B + p_C + p_D + p_E + p_F + p_N = 2p_5 + 2p_4 + 2p_3, \\ p_B + p_C + p_D + p_E = 2p_5 + p_4 + p_3, \\ p_F + p_N = p_4 + p_3, \\ p_D + p_F + p_N = p_5 + p_4 + p_3, \\ p_B + p_C + p_E = p_5 + p_4 + p_3. \end{cases} \quad (8)$$

Теперь подставим пятое уравнение во второе и получим, что $p_D = p_5$, тогда система (7) будет содержать два тождественных уравнения $p_F + p_N = p_4 + p_3$ и три $p_B + p_C + p_E = p_5 + p_4 + p_3$.

На основании исследований, приведенных в [4] можно утверждать, что замена кинематических пар в соединениях p_F и p_N на пары p_4 или p_3 , т.е. $p_F = p_4$, а $p_N = p_3$ или $p_F = p_3$, а $p_N = p_4$, как и расположение пар в соединениях $p_B + p_C + p_E$ на безызбыточность всего механизма и его контуров влиять не будет.

Учитывая работу исследуемого механизма ножниц, целесообразно в соединении N использовать кинематическую пару p_4 , обеспечивая двухподвижное движение поршня в цилиндре, а в F и C – пары p_3 , которые обеспечат самоустанавливаемость звеньев 2, 3, 4 и 5 при работе механизма.

На рисунке 4,а приведена структура механизма ножниц без избыточных связей.

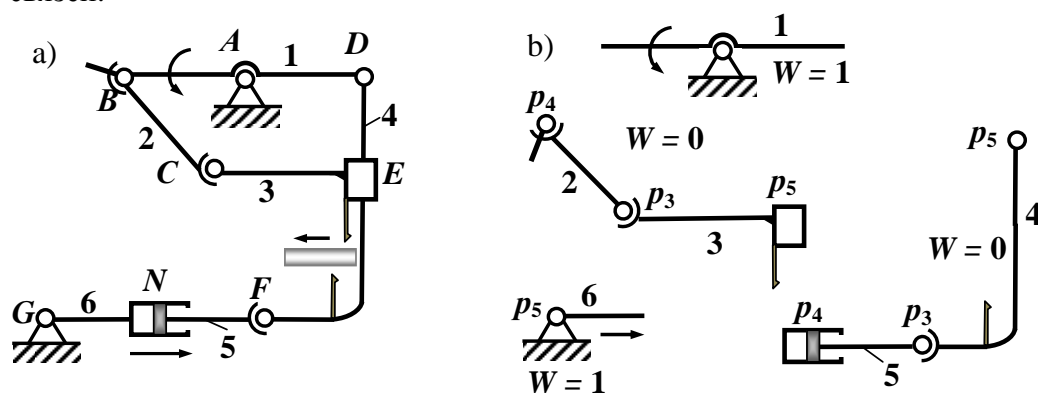


Рис. 4. Механизм ножниц без избыточных связей (а), формирование механизма ножниц (б)

Механизм ножниц двухподвижный и структурно состоит из ведущих звеньев 1 и 6 и двухзвенных кинематических цепей, образованных звеньями 2 и 3; 4 и 5. Покажем, что в структуре механизма избыточные связи отсутствуют. Двухзвенные кинематические цепи в обоих случаях (рисунок 4, б) содержат по одной кинематической паре пятого, четвертого и третьего классов, т.е. $p_5 = 1$, $p_4 = 1$, $p_3 = 1$. При этих условиях подвижность цепей равна

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 = 6 \cdot 2 - 5 \cdot 1 - 4 \cdot 1 - 3 \cdot 1 = 0,$$

т.е. эти цепи являются группами Ассур нулевого семейства, а механизм, созданный на их основе, не будет содержать избыточных связей.

Список литературы

1. Добровольский В.В. Система механизмов. – М.: Машгиз, 1943. – 96с.
2. Колчин Н.И. Опыт построения расширенной структурной классификации механизмов и основанной на ней структурной таблицы механизмов. Анализ и синтез механизмов // Труды Второго всесоюзного совещания по

основным проблемам теории машин и механизмов – М.: Машгиз, 1960. – С. 85-97.

3. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы: Справочник. – М.: Машиностроение, 1979. – 334 с.
4. Гудимова Л.Н. Основы теории избыточных связей в механизмах / Л.Н. Гудимова, Л.Т. Дворников – Новокузнецк: ООО Полиграфист, 2018. – 174с.

References

1. Dobrovolsky V.V. System of mechanisms. – М.: Mashgiz, 1943. – 96p.
2. Kolchin N.I. Experience in constructing an extended structural classification of mechanisms and a structural table of mechanisms based on it. Analysis and synthesis of mechanisms // Proceedings of the Second all-Union meeting on the main problems of the theory of machines and mechanisms – М.: Mashgiz, 1960. – P. 85-97.
3. Reshetov L.N. Self-aligning mechanisms: Handbook. – М.: Mechanical Engineering, 1979. – 334 p.
4. Gudimova L.N. Fundamentals of the theory of redundant links in mechanisms / L.N. Gudimova, L.T. Dvornikov – Novokuznetsk: Polygraphist, 2018. – 174p.

<p>Гудимова Людмила Николаевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и машиностроения, Сибирский государственный индустриальный университет, г.Новокузнецк, Российская Федерация, lyu-gudiova@yandex.ru</p>	<p>Gudimova Lyudmila Nikolaevna – candidate of technical sciences, associate professor of Department of mechanics and mechanical engineering, Siberian state industrial university, Novokuznetsk, Russian Federation, lyu-gudiova@yandex.ru</p>
--	---

Received 16.05.2019