

Л.Т. Дворников, Д.А. Береснев

Сибирский государственный индустриальный университет

ЗАДАЧА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА ЦЕПЕЙ М. ГРЮБЛЕРА С ПОСТУПАТЕЛЬНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМИ

Одним из широко известных в теории механизмов методов структурного синтеза кинематических цепей является метод М. Грюблера, разработанный и опубликованный в 1883 г. [1]. Русский перевод работы Грюблера [2, 3] был осуществлен в 2011 г. В практике конструирования машин этот метод применяется уже более ста лет, однако заложенные Грюблером в его методе идеи еще не до конца изучены и использованы.

В настоящей работе сделана попытка системного подхода к проблеме построения цепей Грюблера с поступательными кинематическими парами.

В основу метода синтеза структур плоских стержневых шарнирных механизмов Грюблером положена известная к тому времени формула подвижности кинематических цепей, выведенная российским ученым П.Л. Чебышевым в 1869 г. В современных обозначениях эта формула имеет вид

$$W = 3n - 2p, \quad (1)$$

где W – подвижность кинематической цепи; n и p – число подвижных звеньев и соединяющих их шарниров в цепи.

Особенность подхода Грюблера заключается в том, что изучаемым кинематическим цепям задается подвижность $W = 4$, то есть рассматриваются свободные в плоскости замкнутые цепи, удовлетворяющие условию

$$3n_r - 2p = 4, \quad (2)$$

где n_r – число звеньев цепи Грюблера; $n_r = n + 1$; сама цепь может свободно двигаться в трех направлениях в плоскости и в одном дополнительном направлении внутри цепи.

Так, приведенная на рис. 1, свободная в плоскости четырехзвенная цепь может двигаться поступательно вдоль осей z и y , а также вращаться относительно оси x . Помимо этого, если хотя бы одно из звеньев рассматриваемой

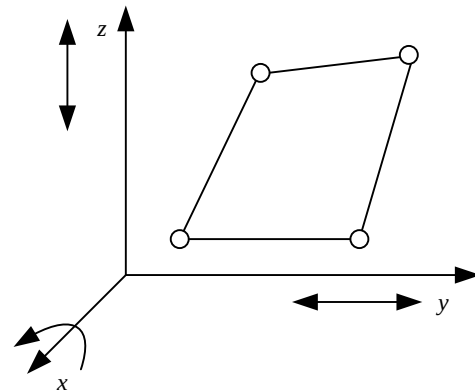


Рис. 1. Четырехзвенная цепь Грюблера

цепи остановить, то остальные звенья смогут двигаться относительно между собой, то есть цепь Грюблера обладает четырьмя независимыми направлениями движения. Если далее в этой цепи остановить одно (любое) из звеньев, то полученная цепь окажется механизмом, обладающим подвижностью, равной единице.

Более сложная цепь Грюблера (шестизвенная) может быть собрана в двух формах (рис. 2).

Последовательно останавливая в этих цепях звенья, можно построить все отличающиеся схемы шестизвенных механизмов, всего их пять (рис. 3): две цепи формы (а) и три цепи формы (б). Значительно большее количество схем механизмов можно построить из восьми- или десятизвенных цепей Грюблера.

В исследовании [1] М. Грюблер рассматривал исключительно цепи с вращательными кинематическими парами, то есть такими, в которых между соседними звеньями возможно единственное относительное направление движения, а именно, вращение в плоскости. Также единственное относительное направление движения между звеньями обеспечивают поступательные пары. На этом основании в любой цепи Грюблера возможна замена вращательных пар на поступательные. Рассмотрим это на примере шестизвенной цепи. Это представляется важным, так как из таких цепей могут быть построены механизмы, отличающиеся от обычных шарнирных.

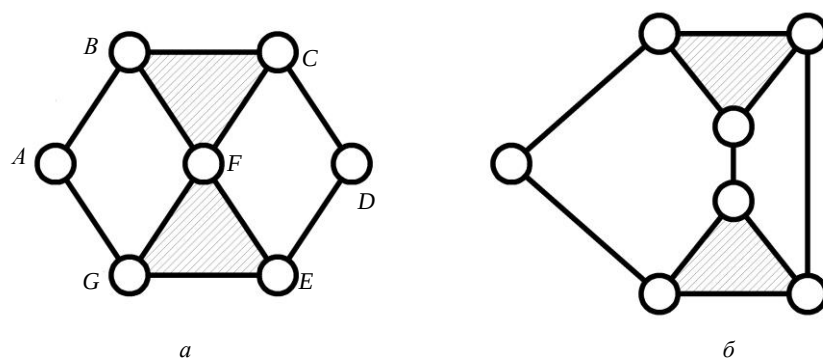


Рис. 2. Шестизвенные цепи Грюблера первой (а) и второй (б) форм

Общий принцип замены вращательных пар на поступательные рассмотрим прежде на примере простейшей цепи Грюблера – четырехзвенной. Все возможные схемы таких цепей показаны на рис. 4: одна с одной поступательной парой (рис. 4, а), две с двумя поступательными парами (рис. 4, б, в). Ввести в четырехзвенную цепь третью поступательную пару нельзя, потому что все эти три пары окажутся расположенными подряд друг за другом (рис. 4, г), цепь выродится в трехзвенную, так как вращательное движение в оставшемся шарнире станет невозможным при совместном поступательном движении всех четырех звеньев. При замене четырех шарниров на поступательные пары (рис. 4, д) цепь окажется двухподвижной.

Важно отметить, что в работе [4] были показаны три условия, приводящие к вырождению механизмов при включении в них поступательных пар:

– ни одно из звеньев цепи не должно иметь две параллельные поступательные пары, так как в этом случае звено получит свое локальное относительное движение;

– два звена цепи, имеющие только поступательные пары, не должны находиться рядом;

– ни один замкнутый контур цепи не должен содержать менее двух шарниров (именно этот случай приведен на рис. 4, г).

Построим шестизвенные цепи с поступательными парами, используя шарнирную цепь Грюблера по форме а (рис. 2, а). Отметим, что эта цепь является симметричной относительно двух осей: проходящей через шарниры AFD и перпендикулярной ей, проходящей через пару F . Если установить поступательную пару на место шарнира A , то цепь с поступательной парой в шарнире D окажется точно такой же.

Вполне очевидно, что единственная поступательная пара, введенная в рассматриваемую шестизвенную цепь Грюблера, приведет к получению отличающихся цепей лишь в трех случаях, показанных в первой строке рис. 5 (где ЦГ – цепь Грюблера; 6 – шестизвенная; П – поступательные пары; i – число поступательных пар; j – номер цепи при заданном i). Все остальные варианты будут повторять реализованные.

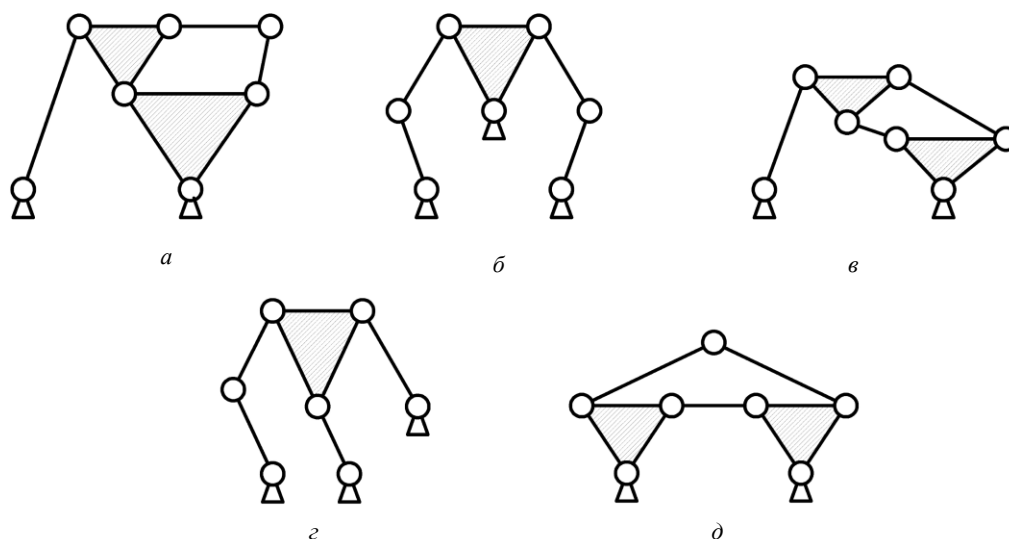


Рис. 3. Схемы шестизвенных механизмов

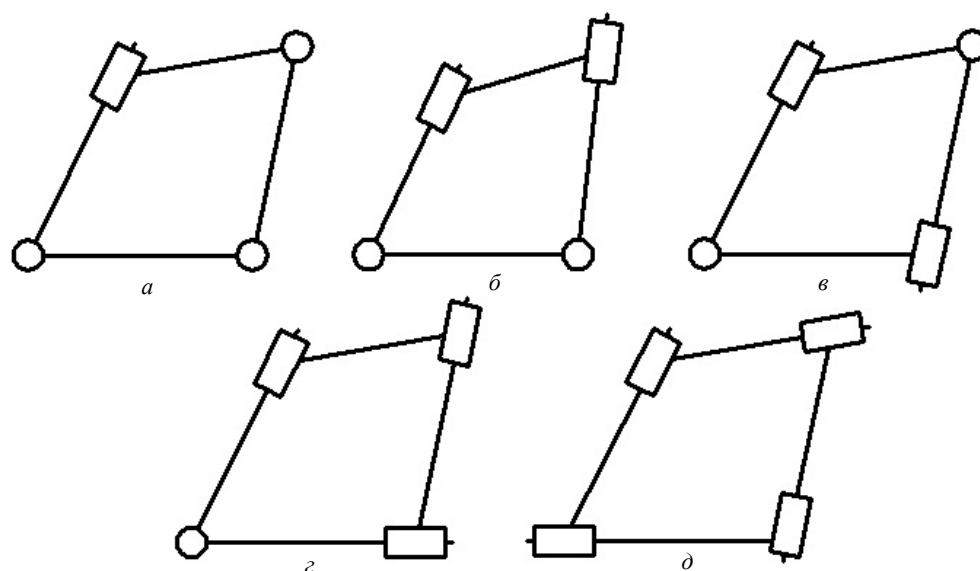


Рис. 4. Возможные виды четырехзвенной цепи Грюблера с поступательными парами

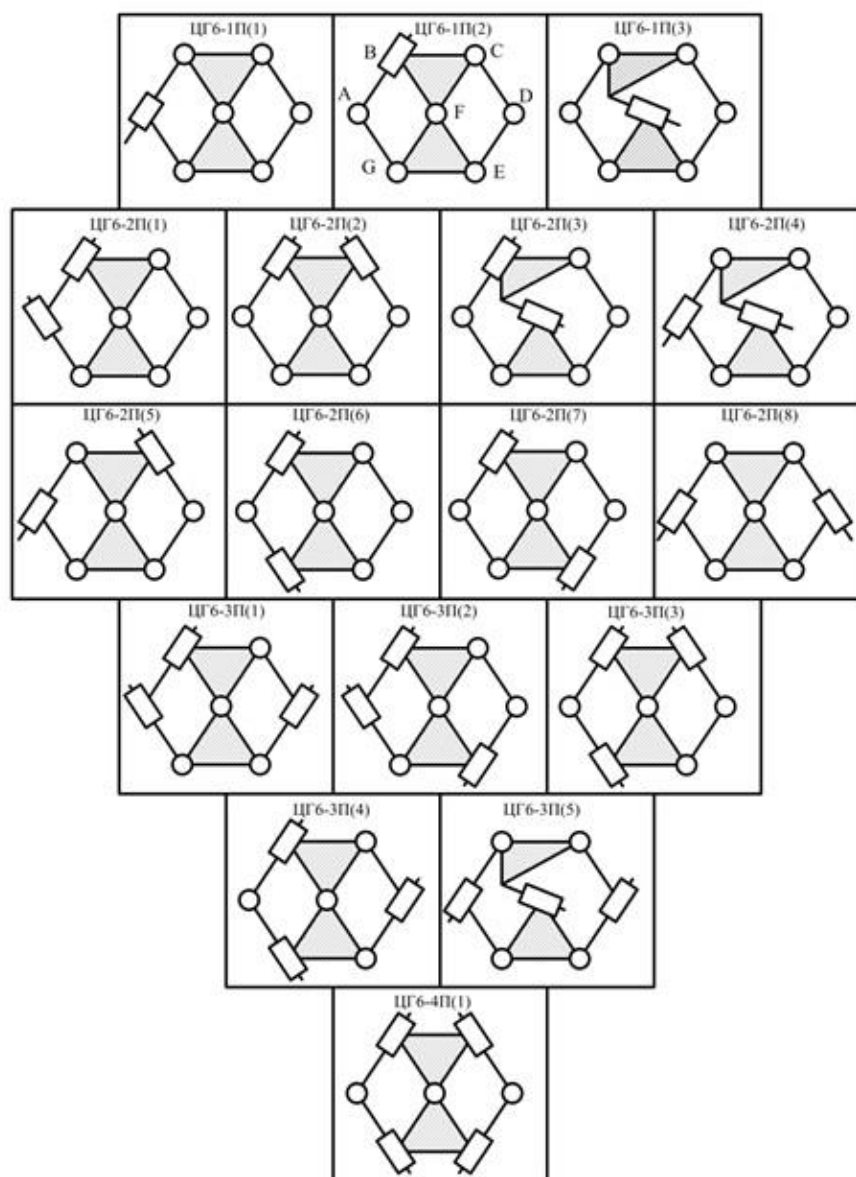


Рис. 5. Полный состав шестизвенных цепей Грюблера с поступательными кинематическими парами

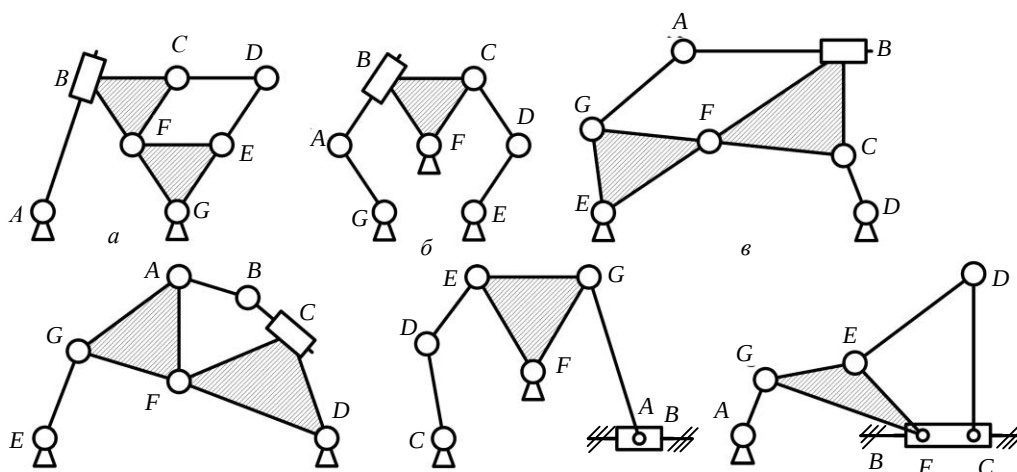


Рис. 6. Схема шестизвенных механизмов

Существует восемь разных способов расположить две поступательные пары в шестизвенной цепи таким образом, чтобы они удовлетворяли всем трем выше приведенным условиям; три поступательные пары можно вводить вместо шарниров лишь так, чтобы они не были расположены подряд. Таких цепей можно отличить лишь пять. А четыре поступательные пары можно установить в цепи единственным вариантом. Таким образом, всего отличающихся шестизвенных цепей Грюблера по форме 2, а с поступательными парами можно построить 17 и по каждой из них, останавливая звенья по одному, создать отличающиеся механизмы. Уже по второй цепи (рис. 5) можно обосновать шесть отличающихся механизмов, которые показаны на рис. 6.

Выводы. Применение изложенного метода для всех шестизвенных и восьмизвенных цепей Грюблера позволит найти полное многообразие плоских механизмов с вращательными и с поступательными кинематическими парами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Grubler M. Allgemeine eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen ketten // Civiling. 1883. № 29. P. 167 – 200.
2. Дворников Л.Т., Жуковский Н.С. Адаптированный перевод с немецкого языка статьи: М. Grubler. Allgemeine eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen ketten. – Лейпциг. 1883. Ч. 1 // Теория механизмов и машин. 2011. № 1 (17). Т. 9. С. 44 – 61.
3. Дворников Л.Т., Жуковский Н.С. Адаптированный перевод с немецкого языка статьи: М. Grubler. Allgemeine eigenschaften der zwanglaufigen ebenen kinematischen ketten. – Лейпциг. 1883. Ч. 2 // Теория механизмов и машин. 2011. № 2 (18). Т. 9. С. 3 – 17.
4. Озол О.Г. Основы конструирования и расчета механизмов / Сост. У.Я. Дзинтарс. – Рига: Звайгзие, 1979. – 360 с.

© 2017 г. Л.Т. Дворников, Д.А. Береснев
Поступила 12 апреля 2017 г.