

## Учредители

- Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук
- Московский государственный индустриальный университет

## Издатель

Московский государственный индустриальный университет

Журнал зарегистрирован 30 декабря 2004 г. Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-19294

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

## № 1'2010

Выходит 4 раза в год

ISSN 1815-1051

## В номере

### РЕДКОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

#### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Ганиев Р.Ф.**, академик РАН, директор Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ) РАН

#### ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

**Скопинский В.Н.**, д.т.н., профессор (МГИУ)

#### ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Баранов Ю.В.**, д.т.н., проф. (ИМАШ РАН)

**Овчинников В.В.**, д.т.н., проф. (ФГУП «РСК МИГ»)

#### ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

**Алешин Н.П.**, академик РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Асташев В.К.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Беляков Г.П.**, д.э.н., проф. (Красноярск)

**Бобровницкий Ю.И.**, д.ф.-м.н., проф. (Москва)

**Вайсберг Л.А.**, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Горкунов Э.С.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Екатеринбург)

**Григорян В.А.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Дроздов Ю.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Индейцев Д.А.**, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Колесников А.Г.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Кошелев О.С.**, д.т.н., проф. (Н. Новгород)

**Лунев А.Н.**, д.т.н., проф. (Казань)

**Махутов Н.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Пановко Г.Я.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Перминов М.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Петров А.П.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Полилов А.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Поникаров С.И.**, д.т.н., проф. (Казань)

**Приходько В.М.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Резчиков А.Ф.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Саратов)

**Рототаев Д.А.**, д.т.н., проф., акад. РАРАН (Москва)

**Теряев Е.Д.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Федоров М.П.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Чаплыгин Ю.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Шляпин А.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Штриков Б.Л.**, д.т.н., проф. (Самара)

### АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МАШИН

**Л. Н. Гудимова, Л. Т. Дворников**

Современное состояние изученности плоских кинематических цепей ..... 2

### ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

**А. А. Барзов, А. Л. Галиновский, О. Ю. Елагина**

Анализ возможностей применения ультразвукового диагностирования для обеспечения промышленной безопасности ..... 9

**В. И. Стащенко**

Скоростная термообработка током высокой плотности при производстве высокопрочной проволоки из среднеуглеродистой стали ..... 15

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**К. М. Ерохин, Н. П. Калашников, А. С. Ольчак**

Разрушение металлов при нарушении условия суммарной нейтральности зарядов ..... 22

**Д. А. Иванов, А. Ю. Омаров, А. Д. Шляпин**

Разработка технологии утилизации продукта отхода рабочего цикла мобильных водородных генераторов ..... 31

**Ю. С. Авраамов, В. И. Кошкин, И. А. Кравченкова,**

**А. Н. Кравченков, А. Д. Шляпин**

О выборе элемента-лидера при поверхностном контактном легировании сплавов на основе алюминия и меди из расплавов тяжелых легкоплавких металлов ..... 37

**В. В. Овчинников, М. В. Иваненко, С. И. Феклистов**

Влияние термического старения на свойства аустенитной стали 08X18H10T ..... 42

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАШИН И СИСТЕМ

**В. Н. Скопинский, Н. А. Берков**

К определению предельной нагрузки в пересекающихся сферической и цилиндрической оболочках ..... 47

**В. В. Порошин, Д. Ю. Богомолов, А. А. Сыромятникова**

Численные исследования течения жидкости в герметизируемых соединениях с заданной микро топографией поверхности ..... 54

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА

**В. В. Плошкин, С. И. Казак**

К оценке профессиональных рисков в литейном производстве ..... 63

## ВНИМАНИЮ ПОДПИСЧИКОВ!

Подписка на журнал

«Машиностроение и инженерное образование»  
проводится в издательстве МГИУ

Тел.: (495) 674-62-50.

E-mail: mio@msiu.ru

Подписной индекс Роспечати 36942

## Уважаемые читатели!

*Журнал «Машиностроение и инженерное образование» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора или кандидата наук.*

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ ПЛОСКИХ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Л. Н. Гудимова, Л. Т. Дворников

*В статье проведен анализ четырех видов плоских шарнирных кинематических цепей, таких как цепи Грюблера, группы Ассура, «фермы» Баранова и механизмы в их ретроспекции и современном понимании. Рассмотрены и обоснованы основные параметры цепей. Изложен новый метод для поиска любых плоских стержневых кинематических цепей, в основе которого лежит универсальная структурная система. Приведены примеры синтеза рассмотренных кинематических цепей по предлагаемой методике.*

**Ключевые слова:** цепи Грюблера, группы Ассура, «фермы» Баранова, базисное звено, замкнутый контур, универсальная структурная система.

## Введение

Известно, что процесс создания новых машин и механизмов начинается с разработки его структурной схемы, которая должна не только удовлетворять условию задаваемого рабочего движения, т.е. функционального назначения, но и гарантировать работоспособность. Последнее условие может быть обеспечено лишь в том случае, если машина строится на основе безупречных требований теории структуры кинематических цепей.

При создании плоских стержневых механизмов это требование сводится к удовлетворению уравнения подвижности механической системы, обоснованному еще академиком П.Л. Чебышевым (1869 г.) и имеющему вид

$$W = 3n - 2p_5, \quad (1)$$

где  $W$  – число степеней подвижности системы;  $n$  – число подвижных звеньев;  $p_5$  – число одноподвижных (в частности, шарниров) кинематических пар.

При  $W = 1$  в систему для получения механизма достаточно установить одно звено с заданным законом движения.

К настоящему времени есть основания считать, что теория структурного синтеза механизмов практически нашла свое полное разрешение. Это заключение не является общепризнанным в силу того, что пока не предпринимались попытки обобщить все полученные по этому направлению результаты исследований. В настоящей статье сделана попытка такого обобщения.

## Ретроспективное исследование результатов изученности шарнирных кинематических цепей

Сравнительно недавно (2007 г.) профессором Э.Е. Пейсахом в [1] было обосновано существование четырех видов плоских кинематических цепей, а именно – кинематических цепей Грюблера, групп Ассура, «ферм» Баранова и, собственно, механизмов. В статье [1] автором приводится таблица реального количества перечисленных цепей в зависимости от числа звеньев в них (табл. 1).

Считая весьма важным полученный Э.Е. Пейсахом результат, отметим, что особенности всех указанных четырех видов цепей к настоящему времени еще недостаточно изучены и использованы. Обратимся к подробному рассмотрению перечисленных цепей, расположив их в хронологическом порядке, по времени их публикации в научной печати, а именно: цепи Грюблера (1883 г.), группы Ассура (1914–16 гг.) и «фермы» Баранова (1951 г.).

Свое исследование М.Ф. Грюблер [2] посвятил замкнутым (принудительным) кинематическим цепям, обладающим подвижностью  $W = 4$ , т.е. таким, которые не имеют открытых или свободных кинематических пар и обладают в плоскости четырьмя подвижностями: три – совместных для всей цепи – в плоскости и одну – относительного движения звеньев. Таким образом, в соответствии с (1) цепи Грюблера – это такие цепи, которые удовлетворяют условию

$$3n - 2p_5 = 4.$$

Таблица 1

Число различных кинематических цепей по Пейсаху

Число звеньев	Число групп Ассура	Число цепей Грюблера	Число механизмов	«Фермы» Баранова	
				Число звеньев	Число «ферм»
2	1	-	-	3	1
4	2	1	1	5	1
6	10	2	9	7	3
8	173	16	153	9	28
10	5442	230	4506	11	-
12	251638	6856	195816	13	-
14	-	318162	11429024	15	-

Например, если ввести в шарниры четыре звена так, как это показано на рис. 1, то, в соответствии с формулой Чебышева (1) эта цепь будет иметь подвижность  $W = 12 - 8 = 4$ .

Эта четырехзвенная кинематическая цепь – простейшая цепь Грюблера. Если в ней начать останавливать, т.е. делать неподвижными звенья 1, 2, 3 или 4, можно получать разные механизмы – двухкривошипные, кривошипно-коромысловые или двухкоромысловые. При этом структурно они не будут отличаться друг от друга – все они шарнирные четырехзвенники.

При увеличении числа звеньев до шести появятся шестизвенные цепи Грюблера. Чтобы их найти, Грюблером было введено понятие  $i$ -парных звеньев, т.е. звеньев различной сложности. Звенья могут быть двухпарные ( $n_2$ ), как все звенья, показанные на рис. 1, трехпарные ( $n_3$ ), четырехпарные ( $n_4$ ) и т.д.

Учитывая это, Грюблером были введены два уравнения, описывающие исследуемые цепи:

$$\begin{cases} 2p_5 = 2n_2 + 3n_3 + 4n_4 + \dots, \\ n = n_2 + n_3 + n_4 + \dots \end{cases} \quad (2)$$

Двойка слева в первом уравнении обосновывается тем, что при сложении всех пар звеньев  $n_2, n_3, n_4$  и т.д. они (пары) просчитываются дважды.

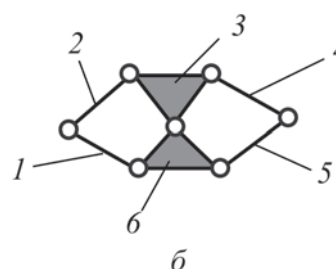
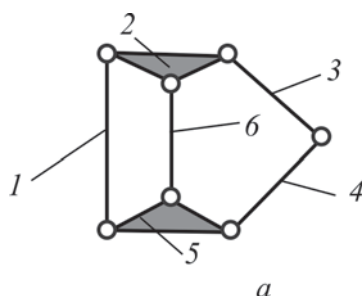


Рис. 2. Шестизвенные цепи Грюблера с изменяемыми замкнутыми контурами: а –  $\alpha_4, \alpha_5$ ; б –  $\alpha_4, \alpha_4$

Рассмотрим шестизвенные цепи Грюблера. В таких цепях могут присутствовать лишь звенья  $n_2$  и  $n_3$  (хотя это обстоятельство Грюблером обосновано не было). Тогда, подставляя  $n = 6$  в (1) и (2), получим  $p_5 = 7, n_2 = 4, n_3 = 2$ . Таких цепей Грюблера всего две (рис. 2).

Останавливая в этих цепях последовательно, т.е. делая неподвижными звенья 1, 2, 3, 4, 5 и 6, можно получить всего пять структурно отличающихся друг от друга шестизвенных механизмов, показанных на рис. 3. Три механизма (см. рис. 3, а, б, в) получаются из цепи, изображенной на рис. 2, а, и два – из цепи на рис. 2, б.

Если обратить внимание на стрелки, определяющие заданные движения звеньев на рис. 3, то всего из этих пяти схем можно создать девять отличающихся механизмов.

Именно эти девять кинематических цепей, обладающих подвижностью  $W = 1$ , являлись осно-

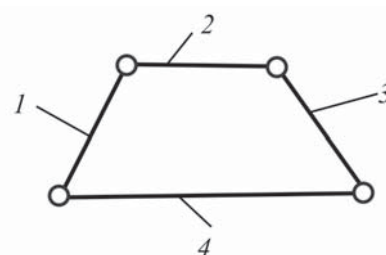


Рис. 1. Четырехзвенная замкнутая кинематическая цепь