

## 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

## № 3'2010

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

**С. Брио, В. Аракелян, В. А. Глазунов**

Условия передачи движения в плоских манипуляторах параллельной структуры ..... 2

**И. М. Борзов, Е. Ю. Левинтан, А. А. Шейпак**

Динамический пневмопривод с эжекторным соплом ..... 14

**Б. А. Сентаков, К. П. Ширококов, В. М. Святский**

Методика расчета средней скорости воздушного потока в рабочей зоне устройства волокнообразования ..... 20

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Н. П. Калашников, А. С. Ольчак**

Выделение энергии при кулоновском взрыве в тонких металлических струнах ..... 25

**В. В. Столяров**

Особенности механических свойств наноструктурных сплавов ..... 31

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАШИН И СИСТЕМ

**А. М. Гуськов, Е. А. Коровайцева, А. Е. Шохин**

Особенности численного моделирования собственных колебаний кварцевой пластины ..... 37

**О. А. Русанов, И. Г. Панкратова**

Расчетные и экспериментальные исследования собственных колебаний кузовов вагонов электропоездов ..... 44

### ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ТРУДА

**Б. Б. Бобович**

Проблемы утилизации автомобилей и автокомпонентов ..... 53

**Л. А. Широков, А. Е. Рабинович, С. В. Суворов**

Автоматизированная информационная система оптимального формирования атмосфероохранных комплексов машиностроительного производства ..... 59

### ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Д. П. Ильященко, А. В. Тищенко, А. Б. Ефременков**

Производственная практика студентов — важнейшее звено подготовки высококвалифицированных инженерных кадров ..... 68

### ОБРАЗОВАНИЕ И КАРЬЕРА

**А. Н. Яндовский**

Развитие индустрии туризма в посткризисный период ..... 74

## 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.*

УДК 621.01

# УСЛОВИЯ ПЕРЕДАЧИ ДВИЖЕНИЯ В ПЛОСКИХ МАНИПУЛЯТОРАХ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ\*

С. Брио, В. Аракелян, В. А. Глазунов

*В статье проведен анализ углов давления и реакции в кинематических парах плоских манипуляторов параллельной структуры. Показано, что вблизи сингулярностей углы давления и реакции повышаются. Построены рабочие зоны манипуляторов, ограниченные максимальными реакциями в кинематических парах.*

**Ключевые слова:** плоский манипулятор параллельной структуры, сингулярность, угол давления, рабочая зона.

## Введение

Известно, что у манипуляционных механизмов параллельной структуры вблизи особых положений резко снижается нагрузочная способность. Для поиска особых положений применяют подходы, основанные на матрицах Якоби или на винтовом исчислении. Однако необходимо установить критерии не только особого положения, но и положений, близких к нему, где ухудшаются функциональные возможности. В данной работе для решения этой проблемы разрабатывается подход, основанный на анализе углов давления. При этом также должны учитываться условия передачи моментов, так как они характеризуют близость механизма к особым положениям.

## Постановка задачи

Манипуляционные механизмы параллельной структуры вблизи особых положений (сингулярностей), связанных с потерей управляемости, могут утрачивать свои функциональные возможности [1–5]. Поэтому многие авторы уделили внимание этой проблеме [1–12], рас-

сматривая траектории, не содержащие особых положений, а также определяя критерии сингулярности. Один из наиболее применимых подходов к решению этого вопроса основан на матрицах Якоби [1–4], которые выражают взаимосвязь между силовыми и кинематическими винтами, соответствующими выходному звену, и входными воздействиями – обобщенными координатами и силами:

$$\mathbf{t} = \mathbf{J}\dot{\mathbf{q}}, \quad \mathbf{w} = \mathbf{J}^{-T} \boldsymbol{\tau},$$

где  $\mathbf{t}$  – кинематический винт платформы (выходного звена);  $\mathbf{J}$  – матрица Якоби;  $\dot{\mathbf{q}}$  – обобщенные скорости;  $\mathbf{w}$  – силовой винт, действующий на платформу;  $\boldsymbol{\tau}$  – обобщенные силы.

Хорошо известно, что элементы указанных матриц зависят от положения механизма, а для особых его положений матрицы вырождаются. Однако нужно находить положения механизма, близкие к особым, в которых может произойти потеря нагрузочной способности. Поэтому необходимо установить критерии близости к особым положениям, и желательно, чтобы эти критерии отражали технический смысл.

\* Данная работа частично выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Грант № 10-07-00727.

В данном вопросе может быть целесообразно использование винтового исчисления, на этой основе был предложен критерий передачи движения [7], который впоследствии был разработан для разных механизмов [8–10]. Однако подобный подход не всегда соответствует требованию наглядности критерия. Поэтому был предложен критерий, основанный на силовом анализе [11]. Согласно этому критерию обобщенная сила не должна превышать допустимый максимум. Недостатком данного подхода является необходимость анализа всех направлений сил и моментов.

В данной работе развивается подход, основанный на анализе углов давления [12]. Это дает наглядность, но, как оказалось, угла давления недостаточно для анализа функциональных возможностей механизма. Может оказаться, что вблизи особых положений резко возрастают реакции в кинематических парах (рис. 1). Здесь небольшое усилие  $w$ , приложенное к конечному звену, вызывает большую реакцию  $R_1$  в неприводной паре  $B$ . Но при этом обобщенная сила  $\tau_1$  остается в допустимых пределах, так как она зависит от компоненты  $F_1$  реакции  $R_1$ , ортогональной оси звена  $AB$ .

Для анализа сил реакций в данной работе применяется подход, основанный на рассмотрении углов давления и расстояний до мгновенной оси вращения. Это позволяет оценить каждое положение механизма и затем построить его рабочую зону.

#### Определение критерия функциональных возможностей

Рассмотрим манипулятор параллельной структуры с тремя степенями свободы: два перемещения вдоль осей  $x$  и  $y$  и вращение вокруг оси  $z$ . Имеют место три цепи, состоящие из одной приводной пары и двух неприводных пар. Неприводные (пассивные) пары обозначим как

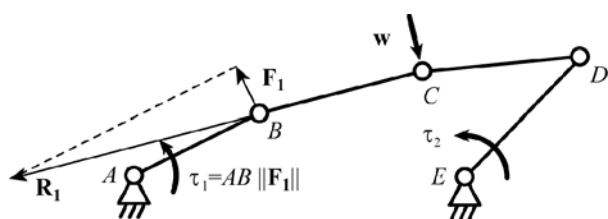


Рис. 1. Пятизвенный механизм вблизи особого положения

$R$  – вращательная<sup>1</sup>,  $P$  – поступательная, а приводные (активные) пары обозначим как  $\underline{R}$  и  $\underline{P}$ . Каждая цепь передает на выходное звено (платформу) силовой винт – вектор  $R_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), который можно привести к точке  $B_i$ . Если цепь присоединена к платформе посредством вращательной пары  $R$ , то точка  $B_i$  фиксирована относительно платформы. Если цепь присоединена к платформе посредством поступательной пары  $P$ , то точка  $B_i$  подвижна относительно платформы и сопряжена с вращательной парой  $R$  (рис. 2).

Силы  $R_i$  можно соотнести с внешним силовым винтом  $w^T = [f^T, m]$  ( $f$  – внешняя сила,  $m$  – скалярная величина, соответствующая внешнему моменту), приводя все величины к произвольной точке  $Q$ :

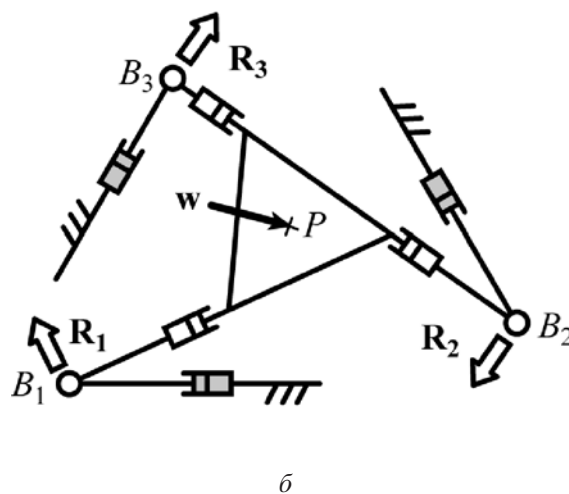
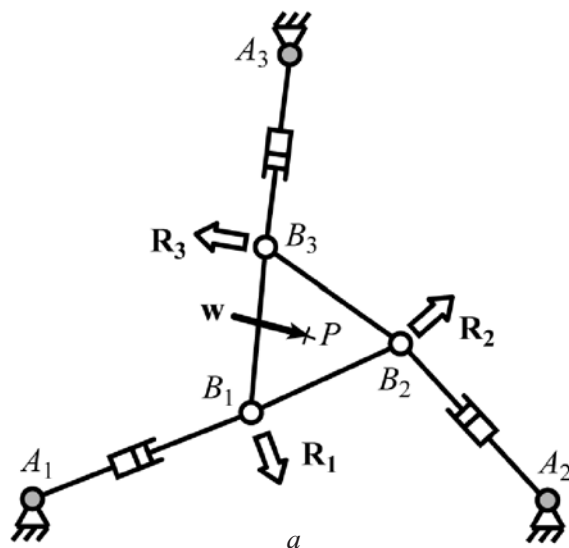


Рис. 2. Манипуляторы 3- $\underline{RPR}$  (а) и 3- $\underline{PRP}$  (б)

<sup>1</sup> Обозначения  $R$  (без индексов) используются для вращательных кинематических пар, обозначения  $R_i$  (с индексами) используются для реакций.