

*На правах рукописи*

**Лысогорский Александр Евгеньевич**

**Разработка манипуляционного механизма параллельной структуры для поступательных и вращательных движений в системе технологического транспорта текстильного предприятия**

Специальность 05.02.13

«Машины, агрегаты и процессы (легкая промышленность)»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2015

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО Московском государственном университете  
дизайна и технологии на кафедре «Прикладная механика»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
кафедры прикладной механики  
ФГБОУ ВПО «МГУДТ»  
**Глазунов Виктор Аркадьевич**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент  
нач. отдела технологической оснастки  
текстильного оборудования  
ОАО «ЦНИИМашдеталь»  
**Кулемкин Юрий Васильевич**

кандидат технических наук,  
зав. отделом аэрокосмического центра  
«Физический институт им. Лебедева»  
Российской академии наук, г. Москва  
**Артеменко Юрий Николаевич**

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Костромской государственный технологический университет»

Защита состоится «03» апреля 2015 г. в 11.00 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.144.03 в Московском государственном  
университете дизайна и технологии по адресу:  
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ  
ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии»,  
<http://www.mgudt.ru/>

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2015 г.

Учёный секретарь  
диссертационного совета Д 212.144.03  
кандидат технических наук, профессор

Андреенков Е.В.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Текущий момент характеризуется тем, что существует необходимость всесторонней автоматизации производства, в частности текстильной промышленности. Существенным фактором, в данном случае, является необходимость импортозамещения, сформулированная руководством нашей страны. Особую роль в решении данной задачи могут сыграть манипуляционные механизмы параллельной структуры в силу того, что они обладают относительно простой конструкцией, но повышенными показателями по грузоподъемности и производительности. Эти устройства отличает наличие нескольких кинематических цепей, каждая из которых либо содержит двигатель, либо налагает некоторое число связей на движения рабочего органа. Проведенные исследования показали, что одними из самых наиболее востребованных операций, является перемещение рабочего органа с постоянной ориентацией либо вращательные движения, при которых сохраняется положение некоторой точки выходного звена. Возникает проблема – нельзя ли в одном устройстве совместить эти операции так, чтобы манипулятор имел бы только три степени свободы, а изменение положений его элементов позволяли бы обеспечить указанные движения. В частности, подобные технические задачи могут встретиться при разработке систем технологического транспорта текстильного предприятия, а также устройств, связанных с лазерной абляцией, когда некоторая часть материала удаляется от заготовки для того, чтобы получить требуемое изделие. Данная работа посвящена разработке и исследованию механизмов параллельной структуры подобного рода. В силу указанных обстоятельств, тема данной диссертации представляется актуальной.

**Целью диссертации** является создание новых манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия. Для достижения поставленной цели должны быть решены задачи, в ходе которых необходимо:

- Проведение структурного синтеза манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.;
- Проведение кинематического манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.;

- Проведение динамического анализа манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия;
- Проведение численного и натурального моделирования манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.

#### **Методы исследования.**

Для исследования объектов и решения поставленных в работе задач использовались методы компьютерного моделирования, аналитической геометрии, теории механизмов и машин, матричного исчисления.

#### **Научная новизна работы** заключается в следующем:

Разработаны алгоритмы структурного синтеза манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.

Разработаны алгоритмы кинематического анализа манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.

Разработаны алгоритмы динамического анализа манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.

Разработаны численные и натурные модели манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта.

#### **Практическая значимость** работы включает:

Разработанные механизмы могут быть эффективно использованы в системах технологического транспорта текстильных предприятий, в аддитивных технологиях, а также в лазерной абляции. Итоговые результаты позволят повысить эффективность, точность и технические способности манипуляционных систем на предприятиях текстильной и легкой промышленности. Об этом можно судить на основании созданных структурных схем, алгоритмов, программ, предназначенных для решения задач о положениях, скоростях и особых конфигурациях, а также о динамических свойствах данных механизмов.

**Достоверность** определяется тем, что в диссертации были приняты допущения, апробированные ранее, все расчеты, математические выкладки и

операции выполнены с достаточной строгостью, результаты частично проверены с помощью численного и натурного эксперимента.

**Апробация и реализация результатов работы.** Основные идеи и предложения по теме диссертации рассмотрены на заседаниях кафедры прикладной механики МГУДТ. Результаты работы доложены на Международной научно-технической конференции «дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ-2014); на международной научно-технической конференции «Инновационные технологии развития текстильной и легкой промышленности»; на VI Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Москва, МИРЭА, (29-30 ноября 2012 г.); на XXIII, XXIV Международных Инновационно-ориентированных конференциях молодых ученых и студентов по современным проблемам машиноведения - МИКМУС-2011, МИКМУС-2012 (г. Москва – 2011 г., 2012 г.);

**Публикации.** По результатам диссертации опубликовано 18 работ, в том числе 3 научных статьи в журналах из списка ВАК, 4 патента РФ на полезную модель.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, включающего 105 библиографических источников. Работа изложена на 121 странице машинного текста, содержит 61 рисунок.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, поставлена цель исследования и определены задачи, подлежащие решению, отражены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** рассмотрены вопросы применения робототехники на предприятиях текстильной и легкой промышленности, анализу уже используемого оборудования, возможности применения манипуляторов параллельной структуры, а также задачам и методам их разработки.

Анализ результатов выполненного обзора научно-технической и справочной литературы по теме диссертации показал, что автоматизация и роботизация производств текстильной и легкой промышленности осуществляется в основном с применением манипуляционных механизмов традиционной последовательной структуры. При этом в последние три десятилетия происходит активная разработка и внедрение манипуляционных механизмов параллельной структуры в различных отраслях мировой и отечественной промышленности.

Большинство транспортных и технологических операций с полуфабрикатами и изделиями текстильной и лёгкой промышленности

соответствует поступательным и сферическим движениям, поэтому очень важно, чтобы в одном и том же механизме можно было совмещать эти движения. При этом целесообразно, чтобы число степеней свободы основных двигателей было бы не больше трёх, что обеспечивает достаточные функциональные характеристики при минимуме цены.

Значительный вклад в теорию и практику применения данных манипуляторов внесли такие ученые как Ж.-П. Мерле, К. Хант, Д. Анджелес, К. Госслен. Из российских ученых можно отметить А.Ш. Колискора, А.Ф. Крайнева, В. А. Глазунова.

Следует заметить, что в последние годы появились работы, связанные с применением механизмов параллельной структуры в текстильной и легкой промышленности – это работы С.В. Хейло, М.А. Ширинкина, П.А. Ларюшкина.

**Во второй главе** рассмотрены вопросы структурного синтеза механизмов параллельной структуры, которые могли бы совершать поступательные, либо сферические движения. Данная задача может быть решена на основе наличия двигателей, изменяющих взаимные положения начальных и конечных кинематических пар.

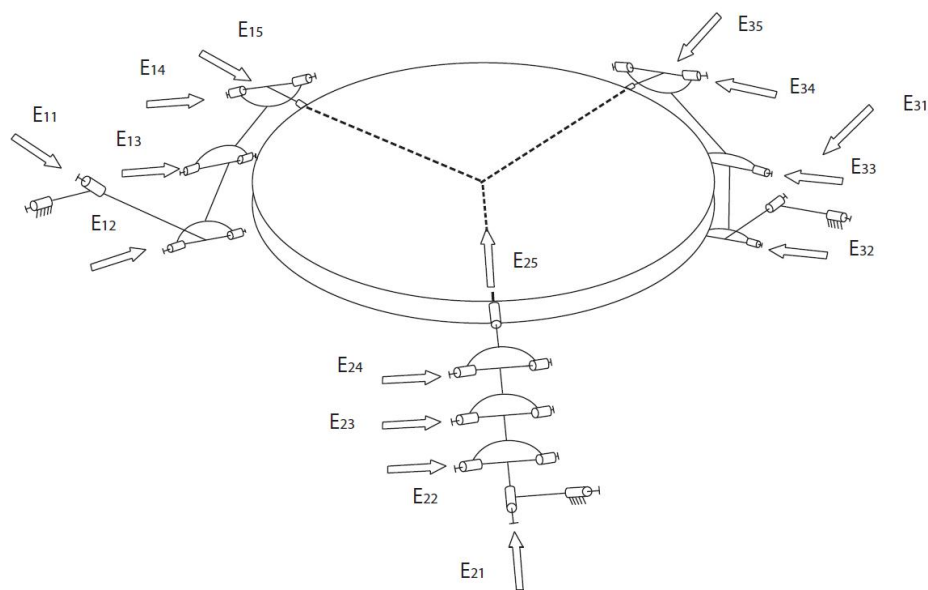


Рис.1.

Особенностью синтезируемых механизмов является наличие в каждой кинематической цепи трёх кинематических пар, которые могут быть либо

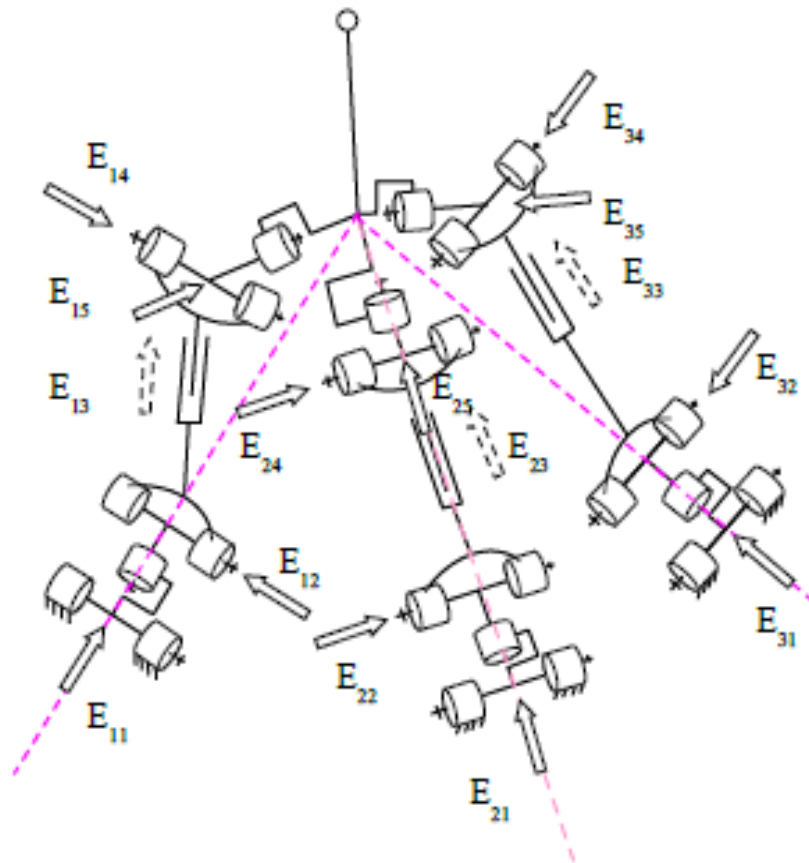


Рис.2.

тремя вращательными кинематическими парами (Рис. 1), имеющими параллельные оси, либо двумя вращательными кинематическими парами с параллельными осями и одной поступательной кинематической парой (Рис. 2), ось которой перпендикулярна осям двух упомянутых вращательных пар. Наличие такого элемента в каждой кинематической цепи обеспечивает возможность создания вращения вокруг любой оси, параллельной указанным вращательным кинематическим парам. (Рис. 2.)

Для того, чтобы обеспечить в одном и том же механизме либо вращательные, либо поступательные движения, в каждой кинематической цепи имеется дополнительный двигатель, установленный на основании, который включается предварительно перед работой механизма и обеспечивает взаимное положение начальной и конечной кинематических пар.

Для определения общего числа степеней свободы может быть использована структурная формула Сомова-Малышева, в частности для механизмов по Рис. 1, 2 результат будет таков:

$$W=6(17-1)-5 \times 18=6,$$

при этом три степени свободы приходятся на дополнительные приводы, которые меняют структуру механизма.

Для обоснования того, что выходное звено совершает поступательные (Рис. 1.), либо вращательные (Рис. 2) движения, используется математический аппарат винтового исчисления. Каждой кинематической паре ставится в соответствие единичный винт (Рис. 1, 2). В частности, для второго механизма единичные винты, характеризующие положения осей кинематических пар, имеют координаты:  $\mathbf{E}_{11} (e_{11x}, e_{11y}, e_{11z}, 0, 0, 0)$ ,  $\mathbf{E}_{12} (e_{12x}, e_{12y}, e_{12z}, e^o_{12x}, e^o_{12y}, e^o_{12z})$ , причем, скалярное произведение  $e_{11x} e_{12x} + e_{11y} e_{12y} + e_{11z} e_{12z} = 0$ ,  $\mathbf{E}_{13} (0, 0, 0, e^o_{13x}, e^o_{13y}, e^o_{13z})$ , причем, скалярное произведение  $e_{12x} e^o_{13x} + e_{12y} e^o_{13y} + e_{12z} e^o_{13z} = 0$ ,  $\mathbf{E}_{14} (e_{14x}, e_{14y}, e_{14z}, e^o_{14x}, e^o_{14y}, e^o_{14z})$ ,  $\mathbf{E}_{15} (e_{15x}, e_{15y}, e_{15z}, 0, 0, 0)$  причем, скалярное произведение  $e_{14x} e_{15x} + e_{14y} e_{15y} + e_{14z} e_{15z} = 0$ . Для других цепей выражения аналогичны. Силовые винты связей, налагаемых кинематическими цепями, в данном случае будут векторами, пересекающимися центр выходного звена. Отсюда следует, что оно в данном случае может совершать лишь вращательные движения.

**В третьей главе** рассмотрены вопросы кинематического анализа данных механизмов. Кинематический анализ основан на на подходе, разработанном Д. Анжелесом и К. Госсленом, который связан с дифференцированием уравнений связей. Рассмотрим данный подход на примере сферического манипулятора (Рис. 3). Точки  $A_{13} (0,1; 0; 0)$ ,  $A_{23} (0; 0,1; 0)$ ,  $A_{33} (0; 0; 0,1)$  расположены на выходном звене вдоль осей подвижной системы координат  $x' y' z'$ .

Чтобы получить координаты этих точек в неподвижной системе координат, нужно использовать матрицы, отражающие повороты вокруг координатных осей:

$$A\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{pmatrix} \quad A\beta = \begin{pmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\beta) & 0 & \cos(\beta) \end{pmatrix} \quad A\gamma = \begin{pmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

В результате указанного перемножения имеем координаты, выраженные в одной системе.



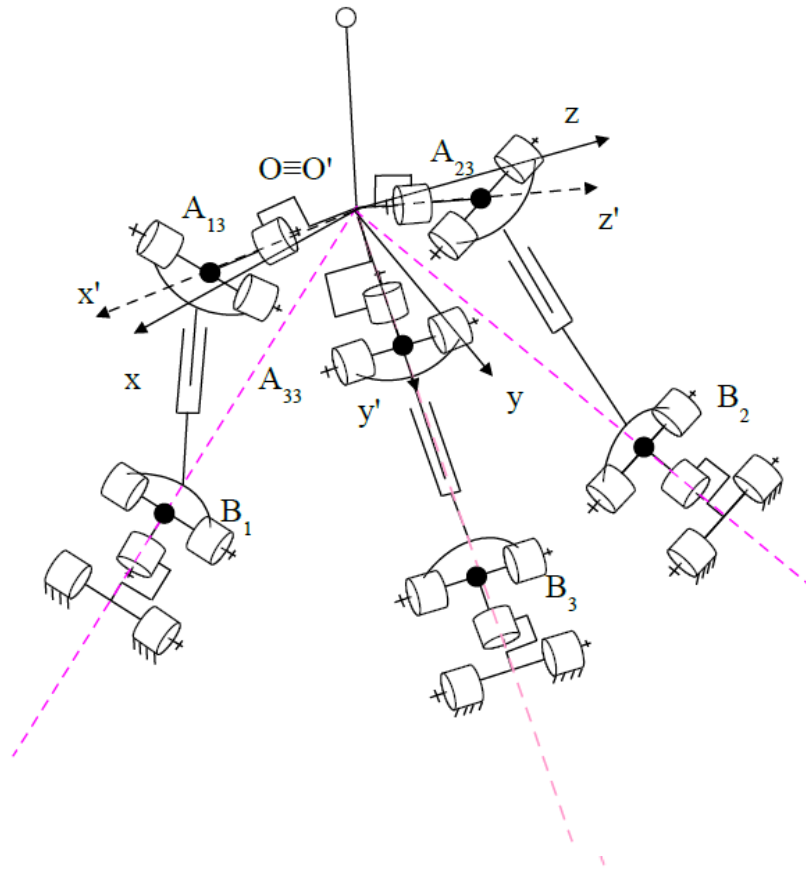


Рис. 3.

Точки  $B_1(0,15; 0; 0)$ ,  $B_2(0; 0,15; 0)$ ,  $B_3(0; 0; 0,15)$  расположены на неподвижном звене вдоль осей неподвижной системы координат  $x' y' z'$ . Для данного случая решение обратной задачи о положениях – это расстояние между точками  $A_1-B_1$ ,  $A_2-B_2$ ,  $A_3-B_3$ . В частности, первая обобщенная координата равна

$$L_1 = \sqrt{(0,1 \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) - 0,15)^2 + 0,01 \cdot \sin(\beta)^2 + 0,01 \cdot \cos(\beta)^2 \cdot \sin(\gamma)^2},$$

При  $\alpha = \pi/6$ ;  $\beta = 0$ ;  $\gamma = 0$   $L_1 = A_1B_1 = 0,05$  м;  $L_2 = A_2B_2 = 0,081$  м;  $L_3 = A_3B_3 = 0,081$  м.

Теперь рассмотрим задачу о скоростях, используя метод Анжелеса-Госслена. Он заключается в том, что решение задачи о положениях представляется в виде неявных функций, а затем они дифференцируются. Приведем некоторые частные производные.

$$\frac{dF_1}{d\beta} = -0,02 \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\beta) + 0,2 \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta) \cdot (0,1 \cdot \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) - 0,15) +$$

$$+ 0,02 \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)^2$$

$$\begin{aligned} \frac{dF_3}{d\alpha} = & 0.2 \cdot \cos(\beta) \cdot \sin(\alpha) \cdot (0.1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) - 0.15) - \\ & - 2 \cdot (0.1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\gamma) - 0.1 \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)) \cdot (0.1 \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\gamma) + \\ & + 0.1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\beta)) - 2 \cdot (-0.1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\gamma) - \\ & - 0.1 \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)) \cdot (-0.1 \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\alpha) + 0.1 \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \cdot \sin(\gamma)) \end{aligned}$$

Нужно найти полный дифференциал каждой из этих функций, в частности

$$dF_1 = \frac{\partial F_1}{\partial \alpha} \cdot d\alpha + \frac{\partial F_1}{\partial \beta} \cdot d\beta + \frac{\partial F_1}{\partial \gamma} \cdot d\gamma + \frac{\partial F_1}{\partial L_1} \cdot dL_1 = 0,$$

а затем получить матрицы:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial \alpha} & \frac{\partial F_1}{\partial \beta} & \frac{\partial F_1}{\partial \gamma} \\ \frac{\partial F_2}{\partial \alpha} & \frac{\partial F_2}{\partial \beta} & \frac{\partial F_2}{\partial \gamma} \\ \frac{\partial F_3}{\partial \alpha} & \frac{\partial F_3}{\partial \beta} & \frac{\partial F_3}{\partial \gamma} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial L_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial F_2}{\partial L_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial F_3}{\partial L_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{L}_1 \\ \dot{L}_2 \\ \dot{L}_3 \end{pmatrix}$$

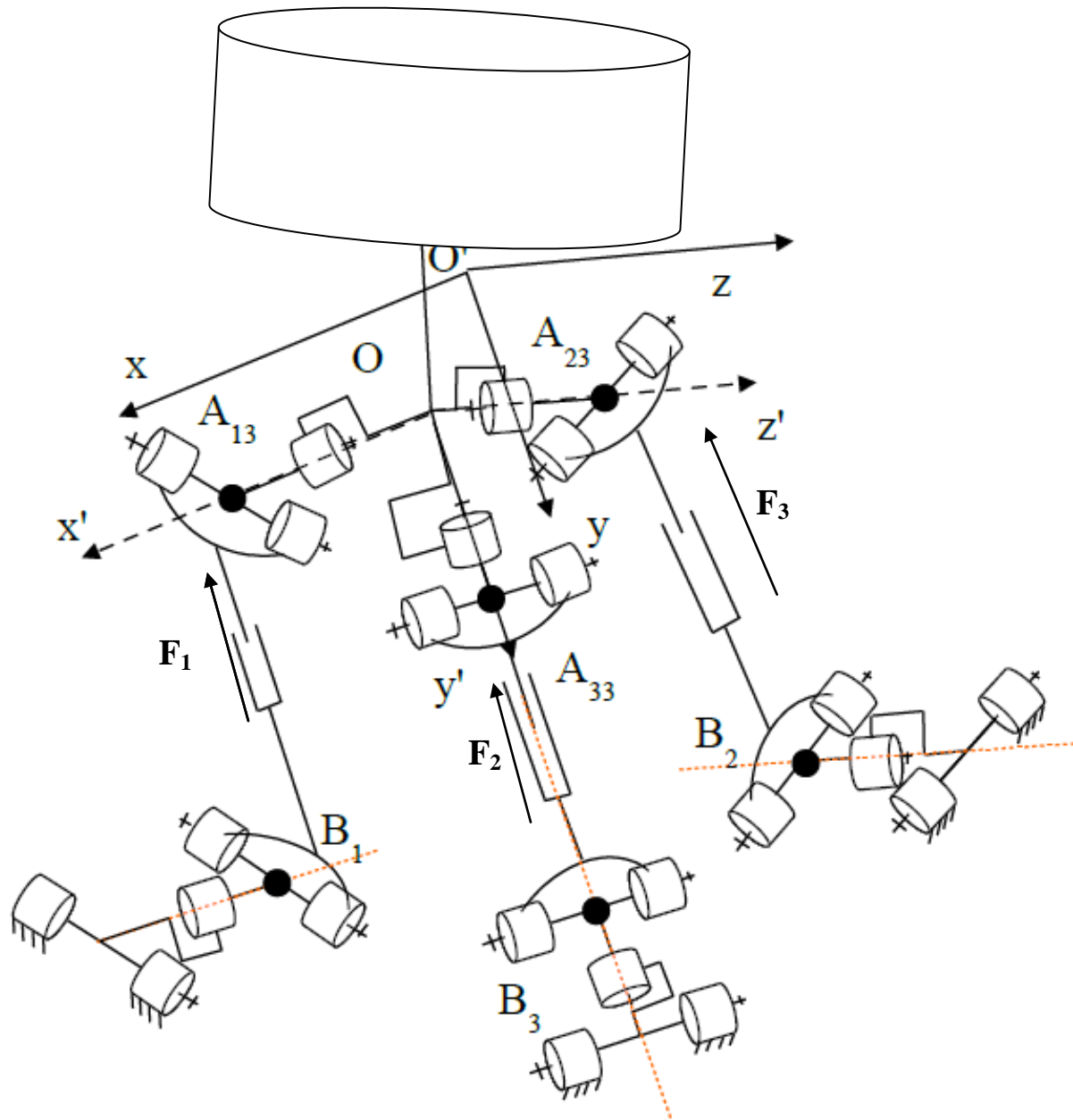
При  $\dot{\alpha}=15\text{м/с}$   $\dot{\beta}=15\text{м/с}$   $\dot{\gamma}=15\text{м/с}$  имеем

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -0.15 & 0 & 0 \\ -0.15 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{\alpha} \\ \dot{\beta} \\ \dot{\gamma} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0.61 & 0 \\ 0 & 0 & 0.61 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{L}_1 \\ \dot{L}_2 \\ \dot{L}_3 \end{pmatrix}$$

Таким образом задача о положениях и скоростях решена.

**В четвертой главе** рассмотрен динамический анализ разрабатываемых механизмов. Особое внимание уделено поступательному механизму, т.к. он совершает движения с большой амплитудой, следовательно, динамические нагрузки в данном случае могут быть выше. Рассмотрен случай, когда имеют место линейные двигатели. В рассмотрение принимается масса выходного звена (Рис. 4), на которое действуют силы приводов  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$ .

Были рассмотрены различные режимы функционирования манипуляционного механизма – это свободные и вынужденные колебания, а также вибрация основания. В последнем случае уравнения движения имеют вид:



$$\frac{dV_x}{dt} = -\left[\sqrt{[x - x_{B1} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2} - l_1\right] \times$$

$$\times \frac{[x - x_{B1} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2}{\sqrt{[x - x_{B1} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2}}] c_1 / m -$$

.....

.....

$$\begin{aligned}
& - [(\sqrt{[x - x_{B3} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2} - l_3) \times \\
& \times \frac{[x - x_{B3} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2}{\sqrt{[x - x_{B3} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2}}] c_3 / m \\
& \dots\dots\dots \\
\frac{dV_z}{dt} = & - [(\sqrt{[x - x_{B1} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2} - l_1) \times \\
& \times \frac{(z - z_{B1})}{\sqrt{[x - x_{B1} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2}}] c_1 / m - \\
& \dots\dots\dots \\
& - [(\sqrt{[x - x_{B3} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2} - l_3) \times \\
& \times \frac{(z - z_{B3})}{\sqrt{[x - x_{B3} + A_x \sin(\omega_1 t)]^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2}}] c_3 / m
\end{aligned}$$

Здесь  $A_x \sin(\omega_1 t)$ , – закон колебаний по оси  $x$ ,  $m$  – масса выходного звена,  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  – жесткости приводов,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  – обобщенные координаты в равновесном состоянии,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – координаты центра выходного звена,  $x_{B1}$ , ....  $z_{B3}$  – координаты неподвижных точек  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ .

Принято, что параметры равны:  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $c_1 = c_2 = c_3 = 100 \text{ Н/м}$ ,  $l_1 = l_2 = l_3 = 1 \text{ м}$ ,  $x_{B1} = -1 \text{ м}$ ,  $y_{B1} = 0$ ,  $z_{B1} = 0$ ,  $x_{B2} = 0$ ,  $y_{B2} = -1 \text{ м}$ ,  $z_{B2} = 0$ ,  $x_{B3} = 0$ ,  $y_{B3} = 0$ ,  $z_{B3} = -1 \text{ м}$ , начальные условия:  $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 0$ ,  $z_0 = 0$ ,  $V_{x0} = V_{y0} = V_{z0} = 0$ , конечное время расчета  $20 \text{ с}$ . Закон колебаний основания  $A_x \sin(\omega_1 t) = 0,3 \sin(10t)$ .

В результате численного решения выяснилось, что колебательный процесс представляет собой пульсирующую зависимость по оси  $x$  (Рис. 5), поскольку происходит перекачка энергии по остальным осям.

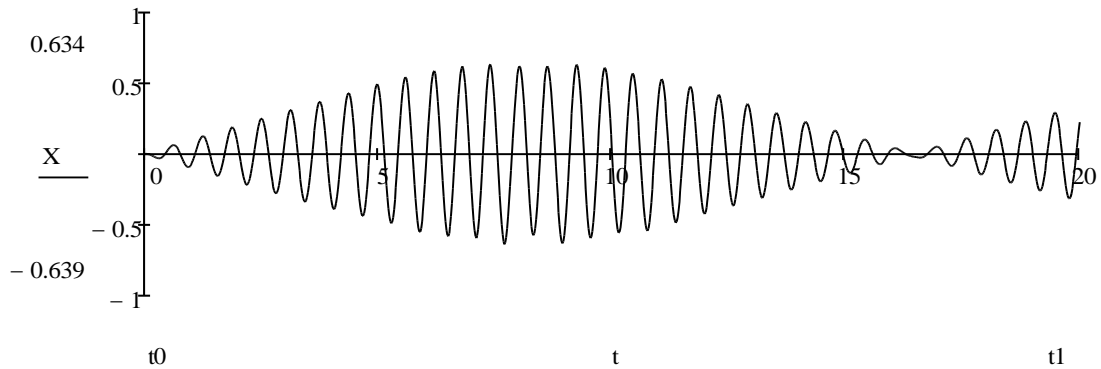


Рис. 5.

Были получены фазовые траектории (Рис. 6). Из них видно, что процесс имеет сложный характер в силу взаимодействия между степенями свободы.

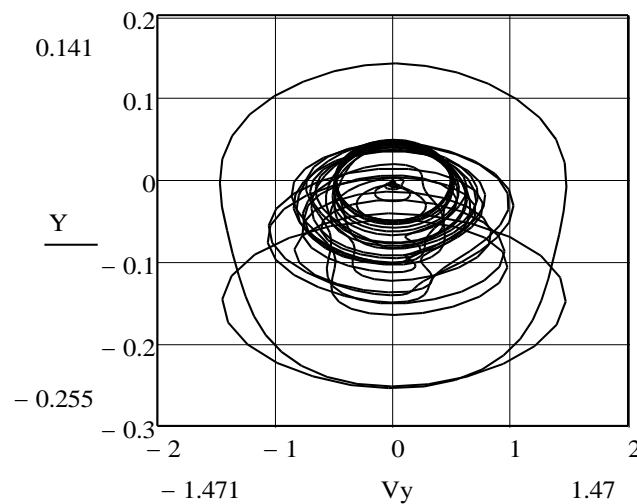


Рис. 6.

На основании изложенного, можно утверждать, что механизмы параллельной структуры рассматриваемого вида имеют взаимное влияние между приводами, что целом повышает устойчивость системы.

**В пятой главе** рассмотрены алгоритмы управления механизмом параллельной структуры, выполняющим поступательные движения. Кроме того, представлен натурный образец разрабатываемого манипулятора. В качестве приводов используются двигатели постоянного тока, уравнение для которого имеют вид:  $U = i_{я} R + L di/dt + C_{\omega} \omega$ , где  $U$  – напряжение,  $i_{я}$  – ток,  $R$  – сопротивление,  $L$  – индуктивность,  $C_{\omega}$  – коэффициент противо-ЭДС,  $\omega$  – скорость вращения. Момент двигателя связан с электрическим током:  $M = K_M i_{я}$ , где  $K_M$  – это коэффициент пропорциональности.

Был рассмотрен алгоритм управления, использующий обратную связь по положению. Уравнения, описывающие движение механизма, имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{dV_x}{dt} = & -\left[ \sqrt{(x_d - x_{B1})^2 + (y_d - y_{B1})^2 + (z_d - z_{B1})^2} - \right. \\ & \left. \sqrt{(x - x_{B1})^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2} \right] \times \\ & \times \frac{(x - x_{B1})}{\sqrt{(x - x_{B1})^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2}} \Big] K_{\phi 1} / m - \\ & \dots \dots \dots \\ & - \frac{\left[ \frac{dx}{dt} (x - x_{B1}) + \frac{dy}{dt} (y - y_{B1}) + \frac{dz}{dt} (z - z_{B1}) \right] (x - x_{B3})}{\sqrt{(x - x_{B3})^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2}} K_{\omega 3} / m \\ & \dots \dots \dots \\ \frac{dV_z}{dt} = & -\left[ \sqrt{(x_d - x_{B1})^2 + (y_d - y_{B1})^2 + (z_d - z_{B1})^2} - \right. \\ & \left. \sqrt{(x - x_{B1})^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2} \right] \times \\ & \times \frac{(z - z_{B1})}{\sqrt{(x - x_{B1})^2 + (y - y_{B1})^2 + (z - z_{B1})^2}} \Big] K_{\phi 1} / m - \\ & \dots \dots \dots \\ & - \frac{\left[ \frac{dx}{dt} (x - x_{B1}) + \frac{dy}{dt} (y - y_{B1}) + \frac{dz}{dt} (z - z_{B1}) \right] (z - z_{B3})}{\sqrt{(x - x_{B3})^2 + (y - y_{B3})^2 + (z - z_{B3})^2}} K_{\omega 3} / m - g \end{aligned}$$

Здесь  $m$  – масса выходного звена,  $g$  – ускорение свободного падения,  $K_{\phi 1}$ ,  $K_{\phi 2}$ ,  $K_{\phi 3}$  – коэффициенты обратных связей по положению,  $K_{\omega 1}$ ,  $K_{\omega 2}$ ,  $K_{\omega 3}$  – коэффициенты противо-ЭДС,  $x$ ,  $y$ ,  $z$  – координаты центра выходного звена,  $x_d$ ,  $y_d$ ,  $z_d$  – требуемые координаты,  $x_{B1}$ , ...,  $z_{B3}$  – координаты неподвижных точек. Пусть  $m = 1 \text{ кг}$ ,  $K_{\phi 1}$ ,  $K_{\phi 2}$ ,  $K_{\phi 3}$  – равны 1000,  $K_{\omega 1}$ ,  $K_{\omega 2}$ ,  $K_{\omega 3}$  – равны 100, требуемый закон движения  $x_d = A [1 - \cos(\omega t)]$ . Движение должно происходить по одной координате, однако имеются и другие движения. Получены геометрические и фазовые траектории (Рис. 7.).

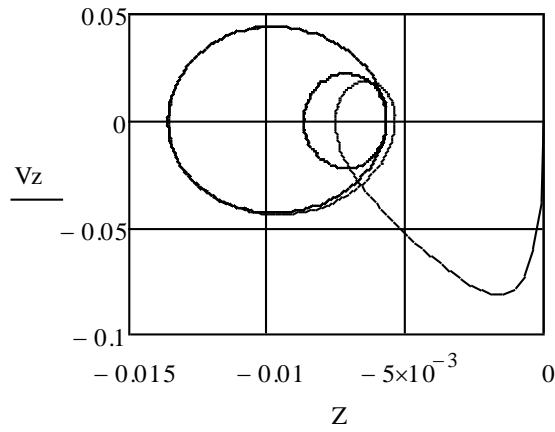


Рис. 7.

Если вдвое увеличить коэффициент обратной связи по положению, то точность отработки требуемого закона существенно увеличится (Рис. 8).

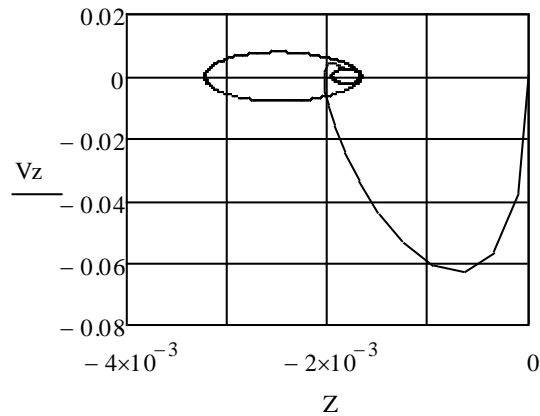


Рис. 8.

Далее в главе представлен натуральный образец механизма (Рис. 9). При изготовлении модели использовалась сталь и применялась сварка. Кроме того, для корректировки геометрических параметров в модели предусмотрены регулировочные винты. На основании размещены вращательные кинематические пары, обеспечивающие изменение структуры.



Рис. 9

Исследование движений в модели показало, что изменение взаимного положения первой и последней вращательных кинематических пар, может обеспечить выполнение либо вращательных, либо поступательных движений.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **В работе получены результаты:**

1. Проведен структурный синтез манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.
2. Проведен кинематический анализ манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.
3. Проведен динамический анализ манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия.
4. Проведено численное и натурное моделирование манипуляционных механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений предназначенных для системы технологического транспорта.

### **По работе можно сделать выводы**

1. При структурном синтезе механизмов параллельной структуры для поступательных либо вращательных движений могут быть использованы дополнительные двигатели, меняющие взаимные положения начальной и конечной кинематических пар каждой кинематической цепи. При этом, оси промежуточных вращательных кинематических пар не должны быть компланарны.
2. При кинематическом анализе механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия, эффективным средством является подход Анжелеса-Госслена с использованием матриц Денавита-Хартенберга.
3. При динамическом анализе механизмов параллельной структуры для поступательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия, установлено, что степени свободы обладают динамическим взаимовлиянием, что обуславливает ограничение амплитуды при отсутствии демпфирования.



4. При численном и натурном моделировании механизмов параллельной структуры для поступательных и вращательных движений, предназначенных для системы технологического транспорта текстильного предприятия, установлено, что дополнительные приводы обеспечивают изменения вида движений выходного звена, а наличие обратных связей по положению и по скорости обеспечивают предписанные движения рабочего органа.

#### **ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:*

1. Календарев А.В., Лысогорский А.Е., Глазунов В.А./ Структурный анализ механизмов параллельной структуры с четырьмя и пятью степенями свободы // Известия высших учебных заведений. Машиностроение, 2013, № 3. – с. 7-10.
2. Календарев А.В., Лысогорский А.Е., Демидов С.М., Глазунов В.А. / Механизмы параллельной структуры для поступательных и вращательных движений выходного звена // Справочник. Инженерный журнал, 2013, № 4. – с. 34-38.
3. Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. Механизмы параллельной структуры с вращательными приводами для поступательных и вращательных движений // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 11. С. 38-43

*В других изданиях*

1. Лысогорский А.Е., Календарев А.В., Ву Ван Чыонг, Ву Ван Куи Новые механизмы параллельной структуры. // XXIII Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2011). Материалы конференции. М.: ИМАШ РАН. 2011. С. 116.
2. Календарев А.В., Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. Пространственный механизм с четырьмя степенями свободы. // XXIV Международная Инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС-2012). Материалы конференции. М.: ИМАШ РАН. 2012. С. 46.
3. Календарев А.В., Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. / Пространственный механизм с четырьмя степенями свободы // XXIV Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2012): труды конференции (Москва, 24-26 октября 2012 г.). / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2012 – 78 с.

4. Ласточкин А.Б., Лысогорский А.Е., Календарёв А.В., Козырев А.В. / Механизмы по схеме трипод и ротопод как основа для тренажеров экипажей транспортных средств // XXIV Международная инновационно-ориентированная конференция молодых ученых и студентов (МИКМУС - 2012): труды конференции (Москва, 24-26 октября 2012 г.). / М: Изд-во ИМАШ РАН, 2012 – 97-100 с
5. Календарёв А.В., Лысогорский А.Е., Комисарук Л.В., Хейло С.В. / Поступательно-направляющий манипулятор параллельной структуры // Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс - 2012) [Текст]: сборник материалов международной научно-технической конференции. Часть 2. – Иваново: Текстильный институт ИВГПУ, 2012. – 28-29 с.
6. Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. Описание конструкции модели механизма параллельной структуры. // Сборник научных трудов аспирантов. Вып. 18. М.: ФГБОУ «МГТУ им. А.Н. Косыгина». 2012. С. 60 – 65.
7. Календарев А.В., Лысогорский А.Е., Комисарук Л.В., Глазунов В.А. Параллельный манипулятор с четырьмя степенями свободы. // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации. Материалы VI Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Москва, МИРЭА, 29-30 ноября 2012 г. Под ред. Д.И. Дубровского и Е.А. Никитиной - М.: «Радио и Связь», 2012, Часть I, с. 141-142.
8. Демидов С.М., Лысогорский А.Е., Комисарук Л.В., Глазунов В.А., Календарев А.В. Кинематический анализ механизмов параллельной структуры, выполняющих поступательные и вращательные движения. // Искусственный интеллект: философия, методология, инновации. Материалы VI Всероссийской конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. г. Москва, МИРЭА, 29-30 ноября 2012 г. Под ред. Д.И. Дубровского и Е.А. Никитиной - М.: «Радио и Связь», 2012, Часть I, с. 156-159.
9. Патент РФ на полезную модель № 122939. Пространственный механизм с четырьмя степенями свободы. // Календарев А.В., Глазунов В.А., Лысогорский А.Е., Палочкин С.В., Хейло С.В., Комисарук Л.В. В25J1/00, Заявка 2012127591/02, 03.07.2012. Оп. 20.12.2012. Бюл. № 35.
10. Патент РФ на полезную модель № 125118. Пространственный механизм. // Глазунов В.А., Левин С.В., Лысогорский А.Е., Календарев А.В., Шалюхин К.А. В25J1/00, Заявка 2012137084/02, 31.08.2012. Оп. 27.02.2013. Бюл. № 6.
11. Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. Разработка механизма параллельно-переменной структуры для поступательных или вращательных движений // Сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции

«Дизайн, технологии и инновации в текстильной и лёгкой промышленности» (12-13 ноября 2013 года) - М.: МГУДТ, 2013. – с.212-213.

12. Пространственный механизм: МПК В25J 1/00 / А.В. Календарёв, В.А. Глазунов, А.Е. Лысогорский, С.В. Палочкин, С.В. Хейло, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» (RU). – заявка № 2013119212/02(028385) на получение патента на изобретение от 25.04.13 (получено положительное решение о выдаче патента от 09.06.2014).

13. Пространственный механизм: МПК В25J 1/00 / А.Е. Лысогорский, В.А. Глазунов, А.В. Календарёв, С.В. Палочкин, С.В. Хейло, заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Московский государственный университет дизайна и технологии» (RU). – заявка № 2013119211/02(028384) на получение патента на изобретение от 25.04.13 (получено положительное решение о выдаче патента от 01.08.2014).

14. Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. К решению задачи о положениях. Кинематический анализ поступательно направляющего механизма параллельной структуры// Сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и лёгкой промышленности»(Инновации-2014) (18-19 ноября 2014 года) - М.: МГУДТ, 2014. – С. 154-156

15. Лысогорский А.Е., Глазунов В.А. Кинематический анализ поступательно направляющего механизма // Сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии развития текстильной и легкой промышленности» (21-22 октября 2014 года) - М.: МГУТУ имени К.Г.Разумовского, 2014.

**Лысогорский Александр Евгеньевич**

**РАЗРАБОТКА МАНИПУЛЯЦИОННОГО МЕХАНИЗМА  
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ПОСТУПАТЕЛЬНЫХ И  
ВРАЩАТЕЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ В СИСТЕМЕ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА ТЕКСТИЛЬНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Усл.-печ. 1,0 п.л. Тираж 80 экз. Заказ № \_\_\_\_\_  
Информационно-издательский центр МГУДТ  
117997, г. Москва, ул. Садовническая, 33, стр. 1  
Тел/факс (495) 506 72 71  
e-mail: [rfrost@yandex.ru](mailto:rfrost@yandex.ru)