

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 531.132-3:621.313.13

На правах рукописи

КУЗНЕЦОВ
Виталий Владимирович

**АЛГОРИТМЫ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ И
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ
МНОГОКООРДИНАТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКИ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра

по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии
(профилизация «Компьютерные технологии проектирования
электронных систем»)

Минск 2021

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **КАРПОВИЧ Святослав Евгеньевич**,
доктор технических наук, профессор кафедры
высшей математики Учреждения образования
«Белорусский государственный университет ин-
форматики и радиоэлектроники»

Рецензент: **УРБАНОВИЧ Павел Павлович**,
доктор технических наук, профессор кафедры ин-
формационных систем и технологий Учреждения
образования «Белорусский государственный тех-
нологический университет»

Защита диссертации состоится «27» апреля 2021 г. года в 9⁰⁰ часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, E-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для дальнейшей интенсификации производства, повышения его эффективности и обеспечения выпуска конкурентноспособной продукции необходимо осуществить существенный рост производительности технологического оборудования и наиболее полной его автоматизации. Для приборостроения и микроэлектроники, в областях которых белорусскими учёными: Н.П. Еругиным, С.М. Аваковым, В.Ф. Алексеевым, В.В. Жарским и российскими: Ю.Ф. Голубевым, М.Б. Игнатьевым отмечено, что актуальной является проблема повышения точности, связанная с развитием мехатроники, микромеханики и особенно с высокими темпами уменьшения топологической нормы при производстве изделий электронной техники. Эффективным средством реализации этих целей является широкое внедрение и применение гибкого автоматизированного оборудования, построенного на системах перемещений параллельной кинематики с гибридным приводом прямого действия. Для таких систем С.Е. Карповичем предложена концепция управляемого движения в трехмерном пространстве на базе многокоординатного привода прямого действия и реконфигурируемых механизмов параллельной кинематики.

В настоящей работе в развитие этой концепции представлены новые результаты, полученные в рамках настоящей работы по разработке новой системы многокоординатных координатных перемещений, математических моделей и алгоритмов для компьютерного имитационного моделирования. Предложенная новая мехатронная система перемещений с шестью степенями свободы построенная на гибридном приводе прямого действия, komponуемого из трёх линейных и трёх поворотных программно-управляемых координатных позиционеров кинематически связанных с исполнительным механизмом параллельной кинематики в виде раскрывающегося тетраэдра. Такая компоновка мехатронной системы позволяет реализовать прецизионные движения с шестью степенями свободы по шести независимым координатам в трёхмерном пространстве, включая три линейных и три угловых. В рамках проведенного исследования выполнены теоретические исследования и на их основе разработаны программы в среде MATLAB имитационного моделирования по решению прямой и обратной задач кинематики и динамики.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность работы обусловлена всё более широким применением в машиностроении, приборостроении и других областях техники прецизионных

механизмов на основе манипуляторов параллельной кинематики до шести степеней свободы включительно, что требует математического и компьютерного моделирования как самого механизма, так и его модульных составляющих. Тем более это направление актуально благодаря тому, что принципиально новые системы дискретного электропривода прямого действия, созданного в Республики Беларусь на предприятии «Рух моторс» (г. Минск), позволяют разрабатывать и создавать новые многофункциональные системы многокоординатных перемещений, предназначенные для встраивания в технологическое оборудование микро- и нанoeлектроники. Такие системы, как правило, характеризуются реализацией принципа блочно-модульного построения механической и аппаратной частей, поэтому требуют соответствующего построения и реализации вычислительных алгоритмов решения задач кинематики и динамики в блочно-модульном виде. Комплексы этих алгоритмов позволяют создавать имитационные модели конкретных мехатронных систем. В связи с вышесказанным разработка имитационных моделей для систем параллельной кинематики различной конфигурации со многими степенями свободы, построенных на многокоординатном приводе прямого действия является актуальной задачей, имеющей несомненное научное и практическое значение. В частности, весьма востребованной для различных приложений является мехатронная система параллельной кинематики с шестью степенями свободы на гибридном приводе прямого действия исследованию которой, в части имитационного моделирования, посвящена настоящая диссертация.

Степень разработанности проблемы

Достижения микроэлектроники и связанные с ними успехи микропроцессорной управляющей техники зарубежными учёными: В. Heimann, J. Zentner, D. Shetty, L. Tsai открыли возможность широкого внедрения достаточно совершенных и оперативных методов проектирования и управления на всех уровнях и приблизили технику управления к объекту производства. Это обеспечило создание интегрированных электромеханических устройств – координатных позиционеров для систем перемещений, элементной базой которых являются: электромагнитные модули движения, обеспечивающие без механических трансмиссий линейные, угловые, а также сложные движения в декартовой, цилиндрической и сферической системах координат; электронные модули управления, реализующие при микропроцессорном управлении требуемые движения с глубоким редуцированием и масштабированием.

Таким образом, гибридные многокоординатные исполнительные двигатели и соответствующие цифровые системы управления позволяют обеспечить реализацию сложных многокоординатных и точно согласованных перемещений с широким варьированием параметров движения.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является разработка компьютерных моделей, сегментированных алгоритмов и программ в среде MATLAB, позволяющих проводить углубленное имитационное исследование кинематики и динамики мехатронной системы перемещений на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия, предназначенной для создания перспективного сборочного и оптико-механического оборудования для микро- и наноэлектроники.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Анализ возможных структурно-кинематических решений и обоснование выбора базовой схемы параллельного манипулятора мехатронной системы перемещений на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия.

2. Разработка математических моделей кинематического и динамического исследования исполнительного механизма параллельного манипулятора с шестью степенями свободы, на основе которых провести алгоритмизацию математических моделей и приведение их к модульному сегментированному виду и разработка на их основе программного обеспечения для имитационного моделирования мехатронной системы.

3. Проведение в среде MATLAB компьютерного исследования с верификацией результатов моделирования.

4. Макетирование базовой структуры многокоординатной системы перемещений с шестью степенями свободы на структурную группу Ассур в виде раскрывающегося тетраэдра.

Область исследования

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 80 03-2019 специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии (профилизация «Компьютерные технологии проектирования электронных систем»).

Теоретическая и методологическая основа исследования

В исследуемом направлении по созданию высокоуровневых мехатронных систем перемещений различного применения ведутся работы во многих странах. В последние годы круг разработчиков существенно расширился и включает не только Японию, США и Россию, но и ряд европейских стран (Германия, Франция, Италия и Англия). Мировыми лидерами и основными центрами по разработке и исследованию по данной тематике являются Технический университет Токио (Япония), Калифорнийский университет, Пенсильвания (США), Научный центр мехатроники Нант (Франция), Honda, PAL Robotics, NASA.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в предложенной имитационной модели, позволяющей реализовать решения задач кинематики и динамики в блочно-модульном виде в соответствии с блочно-модульным конструктивным исполнением механо-аппаратной части мехатронной системы параллельной кинематики, отличающейся от известных аналитическим решением в явном виде функций положения скоростей и ускорений подвижных элементов и характерных точек многокоординатной системы перемещений.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Методика синтеза схем механизмов параллельной кинематики на основе метода реконфигурирования структурных групп в зависимости от кинематических возможностей приводов линейного, поворотного, планарного и гибридного исполнения, отличающаяся от известных базовых решений на основе предложенной конфигурации присоединённой группы Ассура в виде раскрывающегося тетраэдра.

2. Математическая модель в виде аналитического решения в явном виде функций положений всех звеньев реконфигурируемых механизмов параллельной кинематики на приводах прямого действия, алгоритмы и программное обеспечение в среде MATLAB/Simulink, позволяющие провести полное компьютерное имитационное моделирование системы перемещений.

3. Динамическая модель реконфигурируемых механизмов в виде модульного описания их механической структуры, позволяющая решать прямую и обратную задачи динамики с интерактивной визуализацией в среде MATLAB/Simulink.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, выполнялись под руководством автора диссертации в рамках НИР Т19М-019 с БРФФИ от 02 мая 2019-го года «Имитационное моделирование мехатронной системы параллельной кинематики на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия» (2019-2021 гг.), хозяйственного договора № 18-

1018 от 01.02.2018 «Разработка имитационных моделей координатных систем перемещений и проведение компьютерного исследования их кинематических и динамических характеристик» (2018-2020 гг.) и НИР Т16М-108 с БРФФИ от 20 мая 2016-го года «Мехатронные системы параллельной кинематики на кольцевом приводе прямого действия» (2016-2018 гг.), а также обсуждались на международной научной конференции «Present Day Trends of Innovations» (Zilina, Slovakia, 2017), международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях - ММТТ-33» (Санкт-Петербург, Россия, 2020), международной научной конференции «Ломоносов 2020» (Москва, Россия, 2019) и др.

Отдельные положения диссертации могут быть использованы при преподавании дисциплин «Аналитическая геометрия и линейная алгебра».

Публикации

По результатам исследований получены 2 патента на полезные модели, опубликована 1 монография, 20 статей в научных журналах и рецензируемых ВАК, 30 статей в материалах научных конференций, 16 тезисов докладов, также результаты работы внедрены на предприятиях «КБТЭМ-ОМО» (г. Минск) и «Рух моторс» (г. Минск).

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, восьми глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и двух приложений.

В первой главе проведен выбор базового схемного решения, который основывался на предложенном нами и развиваемом в настоящей работе структурном синтезе исполнительных механизмов параллельной кинематики для мехатронных систем.

Во второй главе представлена алгоритмизация математической модели для решения прямой и обратной задач кинематики механизма параллельной кинематики на гибридном приводе прямого действия, на основе которой проведено компьютерное моделирование кинематики и динамики разработанной мехатронной системы перемещений среде MATLAB/Simulink.

В третьей главе проведена верификация полученных результатов моделирования о возможности реализации сложного пространственного движения исполнительной платформы, где были разработаны и созданы макеты гибридных привода прямого действия различной конфигурации: линейных, поворотных и кольцевых.

В приложении представлены публикации автора, акт внедрения, отчет

о заимствовании и графическая часть.

Общий объем диссертационной работы составляет 72 страницы. Из них 56 страниц основного текста, 45 иллюстраций на 40 страницах, 2 таблицы на 2 страницах, библиографический список из 44 наименований на 4 страницах, список собственных публикаций соискателя из 69 наименований на 10 страницах, 4 приложения на 4 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении проведён анализ современных возможностей и основных требований к мехатронным системам перемещений на примере сборочного и оптико-механического оборудования производства изделий электронной техники. На основании проведённого анализа отмечена необходимость траекторий и степеней свободы, которыми должна обладать мехатронная координатная система в составе технологического оборудования установлена структура перемещений для всех основных видов технологического оборудования.

В общей характеристике работы показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В первой главе проанализирован структурный синтез механизмов, который понимается как процесс поиска или построения в соответствии с выбранной методологией возможных кинематических структур, которые удовлетворяют требуемым характеристикам подвижности.

Рассмотрен структурный синтез манипуляторов параллельной кинематики из условия обеспечения подвижному объекту до шести степеней свободы включительно. Для этого используя формулу Сомова-Малышева [10] расчета числа степеней свободы пространственных кинематических цепей в виде:

$$W = 6n - \sum_{k=1}^5 kp_k = 6n - 1p_1 - 2p_2 - 3p_3 - 4p_4 - 5p_5,$$

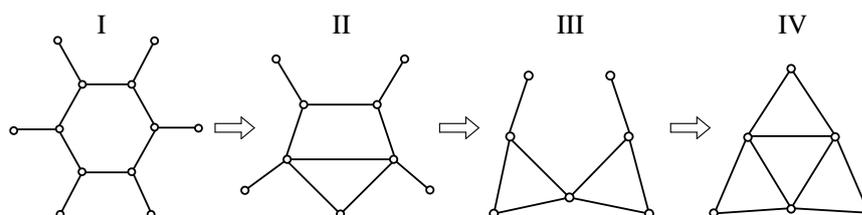


Рисунок 1– Реконфигурирование структурных групп

В результате структурного синтеза выявлена главная реконфигурационная цепочка как структурный последовательный переход из группы с $n=7$ и $p_3=12$ в группу с $n=4$ и $p_3=3, p_5=3$ (рисунок 1).

В результате разработана схема, полученная на основании проведенного анализа и обоснованного выбора представлена на рисунке 2.

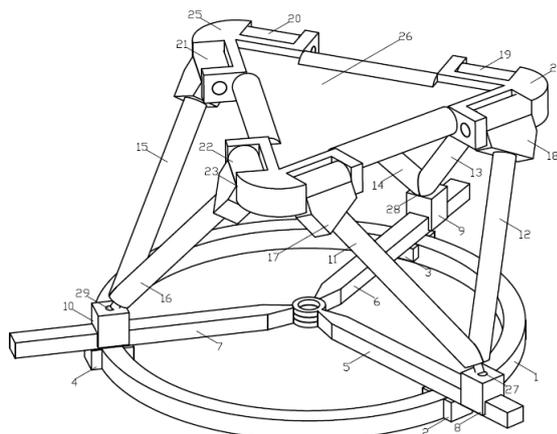


Рисунок 2 – Схема мехатронной системы на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия

Во второй главе проведена алгоритмизация математической модели для решения прямой задачи кинематики, в результате которой получено положение точек в плоскости статора A, B и C , реализуемыми тремя параллельными кинематическими цепями кинематически связаны с рабочей платформой 4 (рисунок 3), которая представляет собой равносторонний треугольник ABC со сторонами равными a .

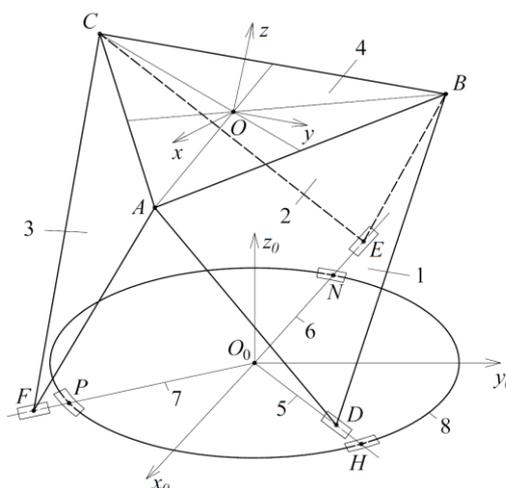


Рисунок 3 – Расчётная схема механизма параллельной кинематики

С учётом этого конечная математическая модель всей системы параллельной кинематики, предложенной в работе, будет выражаться следующей системой из трёх уравнений

$$\begin{cases} (x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2 + (z_A - z_B)^2 = a^2 \\ (x_B - x_C)^2 + (y_B - y_C)^2 + (z_B - z_C)^2 = a^2 \\ (x_C - x_A)^2 + (y_C - y_A)^2 + (z_C - z_A)^2 = a^2, \end{cases}$$

Также представлено решения обратной задачи кинематики, в котором текущее положения точек A , B , и C в пространстве буду выражаться следующими координатными представлениями:

$$R_0^A = M_{01} R_1^A = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} a \cos \varphi \cos \theta - \frac{1}{2\sqrt{3}} a (-\sin \varphi \cos \psi + \cos \varphi \sin \theta \sin \psi) + a_{14} \\ \frac{1}{2} a \sin \varphi \cos \theta - \frac{1}{2\sqrt{3}} a (-\cos \varphi \cos \psi + \sin \varphi \sin \theta \sin \psi) + a_{24} \\ \frac{1}{2} a \sin \theta - \frac{1}{2\sqrt{3}} a + a_{34} \\ 1 \end{bmatrix},$$

На основании проведённой алгоритмизации, разработано программное обеспечение в среде MATLAB/Simulink для имитационного моделирования кинематики системы перемещений. Разработанный интерфейс программы моделирования расчёта рабочей области представлен на рисунке 4.

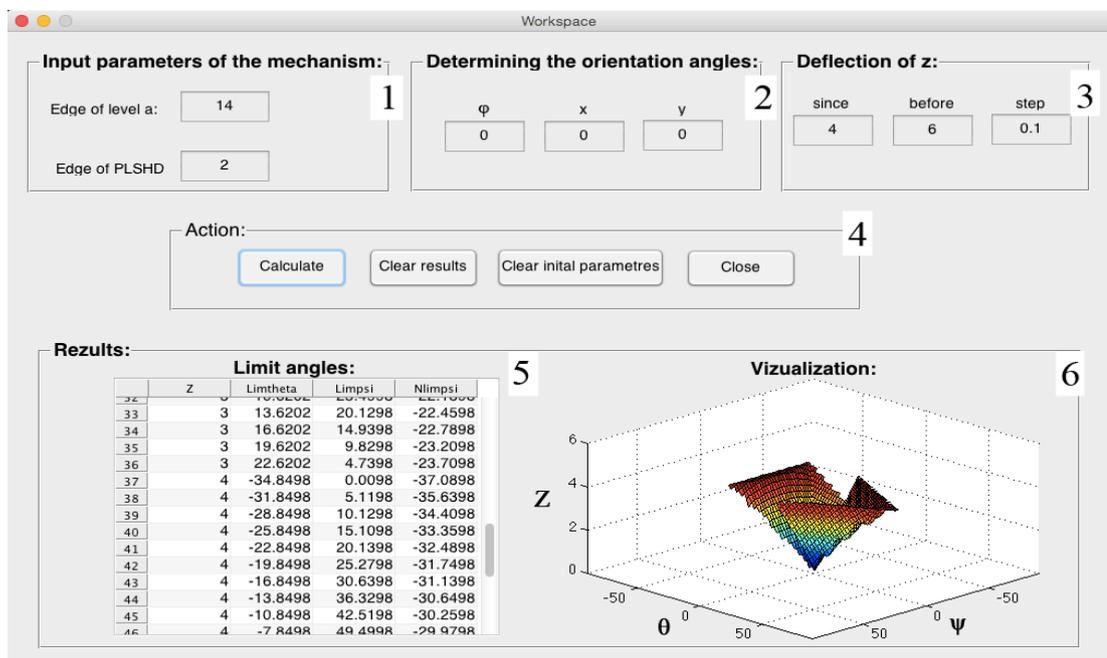


Рисунок 4 – Интерфейс программы расчёта рабочей области механизма

Также разработано программное обеспечение для имитационного моделирования динамики в виде блочно-модульной схемы (рисунок 5).

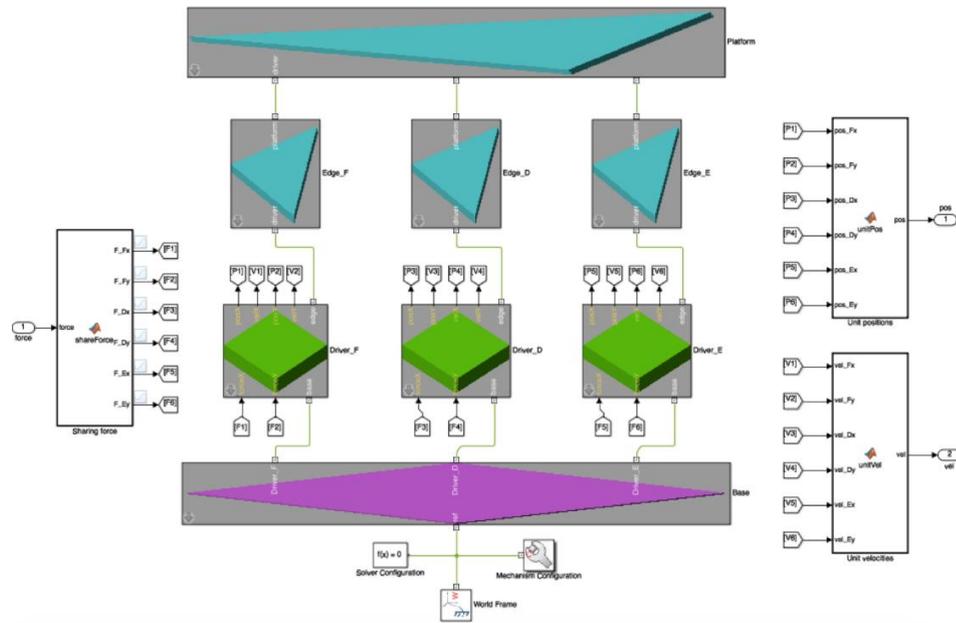


Рисунок 5 – Обобщенная блочно-модульная схема

В третьей главе проведена верификация результатов компьютерного исследования кинематических характеристик разработанной системы перемещений выполнялась путём имитационного моделирования точности исполнения кинематических функций, задаваемых в виде тестовой калибровочной функции гармонического типа. Дискретные координаты x_i , y_i для траектории позиционеров в плоскости статора будут иметь вид

$$x_i = (R_i + \Delta R_i \sin k\varphi_i) \cos \varphi_i, \quad y_i = (R_i + \Delta R_i \sin k\varphi_i) \sin \varphi_i,$$

В результате представлены функции погрешности на сегментах, полученные в результате компьютерного моделирования кинематики в среде MATLAB/Simulink для конструктивного исполнения (рисунок 6).

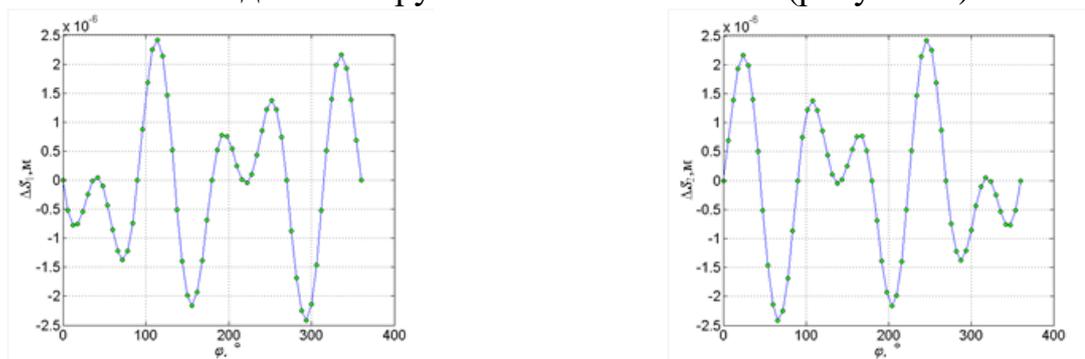


Рисунок 6 – Графики погрешности для $l = 350$ мм на сегментах привода S_1, S_2 ,

Для верификации идеи о возможности реализации сложного пространственного движения исполнительной платформы был разработан и создан макет системы перемещений (рисунок 7).



Рисунок 7 – Макет системы перемещений

Макетирование позволило подтвердить гипотезу об обеспечении предложенным исполнительным механизмам параллельной кинематики шести степеней свободы, а также позволило визуально проанализировать все выходные функции положения платформы, реализуемые по трём линейным и трём угловым координатам, сопоставить их с расчетными функциями положения, полученными путём имитационного моделирования в среде MATLAB.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Предложено в работе базовое схемное решение мехатронной системы параллельной кинематики на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия и механизме параллельной кинематики, которое обосновано даёт возможность реализовывать в рабочей области пространственные перемещения исполнительной платформы по трём линейным и трём угловым независимым координатам, отличающееся от известных повышенной структурной жёсткостью, кинематической мобильностью, расширенным диапазоном перемещений по всем шести координатам, обеспечивающим по $X = 200$ мм., $Y = 200$ мм., $Z = 300$ мм., $\varphi = 360^\circ$, $\theta = 30^\circ$, $\psi = 30^\circ$ при максимальных линейных скоростях до 2 м/с, а ускорениях до 20 м/с².

2. Разработаны математические модели решения в аналитическом виде прямой и обратной задач кинематики, которые позволили провести алгоритмизацию соответствующих вычислительных процедур для последующего имитационного моделирования разработанной системы перемещений по кинематическим и динамическим характеристикам, отличающихся от известных аналитическим решением в явном виде, не требующем использования инструментария MATLAB, основанного на численных методах решения систем алгебраических уравнений.

3. Разработано программное обеспечение в среде MATLAB/Simulink, позволяющее проводить имитационное моделирование кинематики и динамики с верификацией полученных результатов и с интерактивной визуализацией.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Выполненные и разработанные в настоящей работе математические модели и компьютерные имитационные модели систем пространственных перемещений на реконфигурируемых механизмах параллельной кинематики были использованы на предприятиях ОАО «КБТЭМ-ОМО» концерна «Планар» и ООО «Рух моторс» (г. Минск) при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ при разработке и создании опытных образцов перспективного оптико-механического и контрольно-измерительного оборудования с повышенными характеристиками точности и быстродействия.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Механизм параллельной кинематики с тремя степенями свободы : пат. 11671 Республика Беларусь, С2 / С.Е. Карпович, И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, М.М. Фуртан ; заявитель Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – № u 20170203 ; заявл. 06.06.2017 ;опубл. 01.02.2018 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 2(121). – С. 156.

2. Механизм параллельной кинематики с шестью степенями свободы : пат. 11986 Республика Беларусь, С2 / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко, К.В. Чеушев, В.Н. Нестеренко, Д.С. Титко ; заявитель Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники – № u 20180183 ; заявл. 29.06.2018 ;опубл. 01.03.2019 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2019. – № 2(127). – С. 170.

3. Карпович, С.Е. Системы многокоординатных перемещений на механизмах параллельной кинематики : монография / С.Е. Карпович, И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, М.М. Фуртан, Д.С. Титко, В.В. Поляковский, В.В. Жарский, Ю.С. Межинский ; под ред. д-ра техн. наук. проф. С.Е.Карповича. – Минск : Бестпринт, 2017. – 254 с.

4. Карпович, С.Е. Алгоритмизация формирования шаговых траекторий для систем перемещений на шаговых двигателях / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : междуна-

родный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 167–171.

5. Кузнецов, В.В. Формирование шаговых траекторий для реализации тригонометрической функции / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Бел. нац. техн. ун. ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2020. – Вып. 35. – С. 146–149.

6. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация бесколлизийных перемещений трёх планарных позиционеров на одном статоре / В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научн. трудов / Объед. инст. машиностр. Нац. академии наук Беларуси – Минск, 2019. – Вып. 6. – С. 64–67.

7. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация прямой задачи кинематики мехатронной системы на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия / В.В. Кузнецов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 195–200.

8. Карпович, С.Е. Мехатронные системы параллельной кинематики для фотолитографического оборудования / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Теоретическая и прикладная механика [Электронный ресурс] : международный научно-технический сборник / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: А. В. Чигарев (пред. редкол.). – Минск : БНТУ, 2019. – Вып. 34. – С. 17–22.

9. Дайняк, И.В. Управление мехатронными системами перемещений в режиме реального времени / И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский, С.К. Дик // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 33. Минск, 2018. – С. 86–91.

10. Кузнецов, В.В. Имитационное моделирование динамики параллельного манипулятора на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 33. Минск, 2018. – С. 287–294.

11. Kuzniatsou, V. Computer modeling of kinematics and dynamics of parallel manipulator with six degrees of freedom / V. Kuzniatsou // Pres. Day Tr. of Innovations 7. – Zilina, Slovakia : Printing House of Zilina University, 2017. – P. 65–73.

12. Кузнецов, В.В. Интерактивное управление мехатронной системой перемещений на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский, С.К. Дик // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 32. Минск, 2017. – С. 283–292.

13. Кузнецов, В.В. Динамическая модель механизма параллельной кинематики с шестью степенями свободы в среде MATLAB / В.В. Кузнецов, Д.С. Титко, Д.Г. Бегун, Г.Н. Алехнович // Межд. научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 32. Минск, 2017. – С. 170–175.

14. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация и моделирование пространственной системы параллельной кинематики на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия физ.-техн. наук – 2017. – №. 3. – С. 309–318.

15. Карпович, С.Е. Алгоритмизация обратной задачи кинематики параллельного манипулятора на шестикоординатном линейном шаговом двигателе / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, М.М. Форулан, В.Е. Луценко // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научн. трудов / Объед. инст. машиностр. Нац. академии наук Беларуси – Минск, 2016. – Вып. 5. – С. 64–68.

16. Карпович, С.Е. Алгоритмизация и имитационное моделирование системы перемещений с тремя степенями свободы / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, В.В. Жарский // Актуальные вопросы машиноведения : сборник научн. трудов / Объед. инст. машиностр. Нац. академии наук Беларуси – Минск, 2016. – Вып. 5. – С. 69–74.

17. Карпович, С.Е. Алгоритмизация решения задач кинематики системы перемещений на трех планарных позиционерах / С.Е. Карпович, И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Международный научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 31. Минск, 2016. – С. 17–23.

18. Карпович, С.Е. Математическая модель кинематики для системы перемещений на кольцевом приводе прямого действия / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, В.В. Поляковский // Межд. научно-технический журнал «Теоретическая и прикладная механика». Вып. 31. Минск, 2016. – С. 156–161.

19. Karpovich, S. Simulation of control system of the 6-dof spatial parallel mechanism / S. Karpovich, I. Dainiak, V. Kuzniatsou, M. Forutan, L. Goldyn, R. Szczebiot // Present Day Trends of Innovations 6. – Lomza : Printing House of Lomza State University of Applied Sciences, 2016. – P. 83–94.

20. Кузнецов, В.В. Кинематика системы перемещений с шестью степенями свободы / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Научн.-практ. журнал «Аспирант», Ростов-на-Дону. Российская Федерация, 2016. – № 1. – С. 74–78.

21. Карпович, С.Е. Мехатронные системы параллельной кинематики на гибридных приводах прямого действия / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Докл. БГУИР – Минск, 2019. – №. 1. – С. 59–72.

22. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация математических моделей и имитационное исследование мехатронной системы перемещений с шестью степе-

нями свободы / В.В. Кузнецов // Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2018» / редкол. : И. А. Старовойтова (пред.) [и др.]. — Минск : Изд. центр БГУ, 2019. — С. 171–176.

23. Карпович, С.Е. Имитационное моделирование кинематики системы перемещений с интерактивной визуализацией результатов / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Докл. БГУИР – Минск, 2016. – №. 3. – С. 22–28.

24. Карпович, С.Е. Имитационное моделирование динамики мехатронных систем параллельной кинематики / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века : материалы XI Междунар. науч.-метод. конф. (РБ, Минск, 12–13 декабря 2019 года) / редкол. : В. А. Прытков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 169.

25. Карпович, С.Е. Удаленное управление микроконтроллером при дистанционном проведении лабораторных работ по мехатронике / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // Дист. обучение – образ. среда XXI века : материалы XI Междунар. науч.-метод. конф. (РБ, Минск, 12–13 декабря 2019 года) / редкол. : В. А. Прытков [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 140.

26. Кузнецов, В.В. Управление мехатронными системами перемещений с использованием технологии EtherCAT / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // Материалы межд. конф. «Информационные технологии и системы 2019» (ИТС 2019), Минск, Респ. Беларусь, 30 октября 2019 г. – Минск, 2019. – С. 58–59.

27. Кузнецов, В.В. Имитационная динамическая модель управления системой перемещений / В.В. Кузнецов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-32 : сб. трудов 32-ой Междунар. науч. конф., Санкт-Петербург, Российская федерация, 7-9 июня. 2019 г. / Санкт-Петербургский политехн. ун-т. имени П.Великого – Санкт-Петербург, 2019. – С. 22–26.

28. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация и моделирование манипуляторов на кольцевом приводе / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // сборник тезисов 55 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2019. – С. 519.

29. Кузнецов, В.В. Автоматизация запросов к Microsoft Sql server средствами ооп в PowerShell / В.В. Кузнецов // сборник тезисов 55 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2019 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2019. – С. 520.

30. Кузнецов, В.В. Моделирование системы управления гибридным приводом мехатронной системы параллельной кинематики / В.В. Кузнецов // Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXV межд. научно-техн. конф., Воронеж, Россия – Воронеж, 17–19 апреля 2019. – С. 37–45.

31. Кузнецов, В.В. Программный модуль контроля целостности в системах управления реального времени / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, А.Ф. Марко // *BIG DATA and Advanced Analytics = BIG DATA и анализ высокого уровня* : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф. (Республика Беларусь, Минск, 13–14 марта 2019 года). В 2 ч. Ч. 1 / редкол. : В. А. Богуш [и др.]. – Минск : БГУИР, 2019. – С. 221–223.

32. Кузнецов, В.В. Формирование шаговых траекторий при контурном управлении систем многокоординатных перемещений / В.В. Кузнецов // *Math. methods in the technics and techn.* - ММТТ-31: works of the 30d International scienc. conf., Minsk, 8-12 Oktober. 2018 / BSUIR. - Minsk, 2018. – С. 61–64.

33. Кузнецов, В.В. Моделирование в среде matlab динамики системы позиционирования / В.В. Кузнецов // *Радиолокация, навигация, связь: сборник трудов XXIV межд. научно-техн. конф., Воронеж, Россия – Воронеж, 17–19 апреля 2018.* – С. 210–213.

34. Кузнецов, В.В. Программно-аппаратный комплекс для исследования процесса идентификации визуальных стимулов / В.В. Кузнецов // *сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г.* / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018. – С. 302.

35. Карпович, С.Е. Имитационное моделирование параллельного манипулятора / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // *сборник тезисов 54 научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 23–27 апреля 2018 г.* / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; отв. ред. Раднёнок А. Л. – Минск, 2018. – С. 300–301.

36. Кузнецов, В.В. Моделирование обратной задачи динамики системы перемещений с шестью степенями свободы / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко // *Новые мат. методы и комп. технологии в проект., произв. и научн. исследованиях: материалы XXI Респ. научн. конф. студ. и асп., Гомель, Респ. Беларусь – Гомель, 19–21 марта 2018.* – С. 62–63.

37. Кузнецов, В.В. Дистанционное лабораторное исследование системы перемещений на линейных шаговых двигателях / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко, Г.Й. Салманзадех, Д.С. Титко // *Дист. обучение – образовательная среда XXI: материалы X Межд. научно-метод. конф. – 7–8 декабря 2017.* – С. 290–291.

38. Кузнецов, В.В. Особенности удалённого взаимодействия с микроконтроллером локальной системы управления / В.В. Кузнецов, К.В. Чеушев, В.Н. Нестеренко, А.С. Манин // *Дист. обучение – образовательная среда XXI: материалы X Межд. научно-метод. конф. – 7–8 декабря 2017.* – С. 289.

39. Кузнецов, В.В. Моделирование системы пространственных перемещений на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов // *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-30 : сб. трудов 30-ой Междунар.*

науч. конф., Минск, 25–27 нояб. 2017 г. / Белорус. гос. универ. информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2017. – С. 7–12.

40. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация математической модели манипулятора параллельной кинематики на треугольном гибридном приводе / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, М.М. Фуртан, В.Е. Луценко // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-30 : сб. трудов 30-ой Междунар. науч. конф., Минск, 25–27 нояб. 2017 г. / Белорус. гос. универ. информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2017. – С. 79–82.

41. Кузнецов, В.В. Компьютерное исследование динамики манипулятора параллельной кинематики на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов, А.С. Манин // Компьютерные системы и сети : материалы 53-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов (Минск, 2 – 6 мая 2017 г.). – Минск: БГУИР, 2017. – С. 89–90.

42. Кузнецов, В.В. Моделирование параллельного манипулятора в виде раскрывающегося тетраэдра / В.В. Кузнецов, Л.А. Конюх // Новые мат. методы и комп. технологии в проект., произв. и научн. исследованиях: материалы XXI Респ. научн. конф. студ. и асп., Гомель, Респ. Беларусь – Гомель, 19–21 марта 2017. – С. 120–121.

43. Кузнецов, В.В. Моделирование в среде matlab манипулятора параллельной кинематики на планарных позиционерах / В.В. Кузнецов // Современные средства связи : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 20-21 окт. 2016 г. / Белорус. гос. академия связи. – Минск, 2016. – С. 191–193.

44. Карпович, С.Е. Динамическая модель системы перемещений на трёх планарных позиционерах / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Информационные технологии и системы 2016 : материалы Междунар. науч. конф., Минск, Респ. Беларусь, 26 окт. 2016 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2016. – С. 84–85.

45. Карпович, С.Е. Предельные структурно-кинематические возможности пространственной системы перемещений на трёх планарных позиционерах / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Современные средства связи : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 20-21 окт. 2016 г. / Белорус. гос. академия связи. – Минск, 2016. – С. 191–193.

46. Кузнецов, В.В. Интегрированная система перемещений для автоматизированного оборудования / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, М.М. Фуртан // Современные средства связи : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 20-21 окт. 2016 г. / Белорус. гос. академия связи. – Минск, 2016. – С. 220–221.

47. Карпович, С.Е. Алгоритм учёта коллизий планарных позиционеров на одном статоре / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, М.М. Форулан // Компьютерные системы и сети : материалы 52-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. (Минск, 25 - 30 апреля 2016 года). – Минск : БГУИР, 2016. – С. 153–155.

48. Карпович, С.Е. Особенности алгоритмизации бесколлизийных перемещений трёх планарных позиционеров / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Компьютерное проектирование и технология производства электронных систем : сб. материалов 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» (Минск, 25 - 30 апреля 2016 года). - Минск : БГУИР, 2016. – С. 36–38.

49. Карпович, С.Е. Анализ коллизий трёх планарных позиционеров при решении обратной задачи кинематики с шестью степенями свободы / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский // Информационные системы и технологии: управление и безопасность : сб. ст. IV Междунар. заочн. науч.-практ. конф. / Пов. гос. ун-т сервиса. – Тольятти : Изд-во ПВГУС, 2016. – С. 74–80.

50. Карпович, С.Е. Моделирование рабочей области манипулятора параллельной кинематики с шестью степенями свободы / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-28 : сб. трудов 28-ой Междунар. науч. конф., Рязань, Российская федерация, 24-26 нояб. 2015 г. / Рязан. гос. радиотехнический ун-т. – Рязань, 2015. – С. 101–102.

51. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация и компьютерное моделирование обратной задачи кинематики для системы перемещений / В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский, Д.Г. Бегун // Материалы международной конференции «Информационные технологии и системы 2015» (ИТС 2015), Минск, Респ. Беларусь, 28 октября 2015 г. – Минск, 2015. – С. 30–31.

52. Карпович, С.Е. Алгоритм генерации опорных точек на пространственной траектории для линейной и сплайновой интерполяции / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Материалы международной конференции «Информационные технологии и системы 2015» (ИТС 2015), Минск, Респ. Беларусь, 28 октября 2015 г. – Минск, 2015. – С. 54–55.

53. Карпович, С.Е. Формирование аналитических функций обобщенных координат пространственной системы перемещений с шестью степенями свободы / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, В.В. Поляковский // Материалы Юбилейной науч.-практ. конф., посвященной 85-летию Гомельского гос. ун-та им. Ф. Скорины, Гомель, Респ. Беларусь, 17 июня 2015 г. : в 4 ч. / Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель, 2015. – Ч. 4. – С. 118–121.

54. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация задачи позиционирования в пространственной системе перемещений с трёхкоординатным сегментным приводом / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, Т.С. Автушко // 51-я науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов по направлению 4: Компьютер. системы и сети : материалы конф., Минск, Респ. Беларусь, 13–17 апр. 2015 г. – Минск, 2015. – С. 115–116.

55. Кузнецов, В.В. Мехатронная система параллельной кинематики / В.В. Кузнецов // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XVII Белорусско-российской научно – технической конференции, Минск, 11 июня 2019 г. – Минск: БГУИР, 2019. – С. 41.

56. Кузнецов, В.В. Алгоритмизация математических моделей и имитационное моделирование мехатронных систем параллельной кинематики / В.В. Кузнецов // Сборник тезисов XXVI межд. конф. студ., асп. и молодых учёных "Ломоносов". Электронное издание. – Москва: МГУ им. Ломоносова, 2019 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/2672/2672.pdf>.

57. Karpovich, S. Algorithmization of programming motions of a multicoordinate displacement systems / S. Karpovich, V. Kuzniatsou // Erugin readings–2018: materials of intern. Scient. Conf. Of dif. Equations, Gomel, Republic of Belarus – Gomel, 15–18 may 2018. – P. 118–119.

58. Кузнецов, В.В. Двустороннее взаимодействие в клиент-серверных приложениях для обеспечения реального времени с использованием современных фреймворков / В.В. Кузнецов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2018 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/7311/7311.pdf>.

59. Кузнецов, В.В. Расширение системы контроля версий для верифицирования сборок программного обеспечения / В.В. Кузнецов, А.Ф. Марко, К.В. Чеушев // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2018 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/7315/7315.pdf>.

60. Кузнецов, В.В. Концепция построения динамических моделей механизмов параллельной кинематики / В.В. Кузнецов // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIV Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 6 июня 2017 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2017. – С. 91.

61. Dainiak, I. Trajectory planning for mechatronic dives on the base of holonomic automatic systems approach / I. Dainiak, V. Kuzniatsou, R. Szczebiot // XVII Intern. jonf. by diff. eq. (Erugin's works – 2017): thes. of Inter. conf., Minsk, 16 – 20 may 2017 – Part 2. – M.: Inst. of math. NAN of Belarus, 2017. – P. 95.

62. Кузнецов, В.В. Моделирование в среде MATLAB системы перемещений с тремя степенями свободы / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Современные проблемы машиноведения : тезисы докладов XI Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, Респ. Беларусь, 20-21 окт. 2016 г. / Гомельс. гос. технич. универ. им. П.О. Сухого. – Гомель, 2016. – С. 134–135.

63. Кузнецов, В.В. Системы пространственных перемещений на трёх планарных позиционерах / В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов // Современные проблемы машиноведения : тезисы докладов XI Междунар. науч.-техн. конф., Гомель, Респ. Беларусь, 20-21 окт. 2016 г. / Гомельс. гос. технич. универ. им. П.О. Сухого. – Гомель, 2016. – С. 135–136.

64. Кузнецов, В.В. Особенности бесколлизийных программируемых перемещений механизма с шестью степенями свободы на планарных позиционерах / В.В. Кузнецов, М.М. Фуртан // Техн. ср. защиты инф. : тез. докл. XIV Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 25–26 мая 2016 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2016. – С. 73.

65. Кузнецов, В.В. Пространственная система перемещений на многокоординатном синхронном приводе / В.В. Кузнецов, Д.С. Титко // Технические средства защиты информации : тез. докл. XIV Белорус.-рос. науч.-техн. конф., Минск, Респ. Беларусь, 25–26 мая 2016 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2016. – С. 72.

66. Карпович, С.Е. Компьютерное моделирование в среде MATLAB обратной задачи динамики для системы перемещений на трёх планарных позиционерах / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2016 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/5459/5459.pdf>.

67. Дайняк, И.В. Моделирование в среде MATLAB системы перемещений с тремя степенями свободы / И.В. Дайняк, В.В. Кузнецов, А.Ю. Войтов, Г.А. Зубов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2016 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/2672/2672.pdf>.

68. Карпович, С.Е. Математическая модель системы перемещений на трёх планарных позиционерах / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, М.М. Фуртан // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. – СПб: Университет ИТМО, 2016 [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://openbooks.ifmo.ru/ru/file/2679/2679.pdf>.

69. Карпович, С.Е. Математическая модель системы перемещений на трёх планарных позиционерах / С.Е. Карпович, В.В. Кузнецов, М.М. Фуртан // Современные проблемы естественных наук : тез. докладов межд. конф. «Тараповские чтения –2016». – Харьков, 2016. – С. 33.

РЭЗІЮМЭ

Кузняцоў Віталь Уладзіміравіч

Алгарытмы матэматычных мадэляў і імітацыйнага мадэлявання сістэм многакоординатных перасоўванняў паралельнай кінематыкі

Ключавыя словы: мехатронных сістэма паралельнай кінематыкі, гібрыдны прывад прамога дзеяння, кінематыка, дынаміка, імітацыйнае мадэляванне.

Мэта працы: распрацоўка камп'ютэрных мадэляў, сегментаваных алгарытмаў і праграм у асяроддзі MATLAB, якія дазваляюць праводзіць паглыбленае імітацыйнае даследаванне кінематыкі і дынамікі мехатроннай сістэмы перасоўванняў на шестикоординатном гібрыдным прывадзе прамога дзеяння.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: распрацаваны матэматычныя мадэлі з алгарытмізацыі вылічальных працэдур і праграмае забеспячэнне вырашэння задач кінематыкі і дынамікі ў асяроддзі MATLAB для камп'ютэрнага імітацыйнага мадэлявання з інтэрактыўнай візуалізацыяй мехатронных сістэмы перасоўванняў з шасцю ступенямі свабоды на гібрыдным прывадзе прамога дзеяння. Прапанавана імітацыйная мадэль дынамікі распрацаванай мехатронных сістэмы паралельнай кінематыкі ў выглядзе модульнага апісання яе механічнай структуры, якая дазваляе вырашаць прамую і зваротную задачы з інтэрактыўнай візуалізацыяй рэзультате ў асяроддзі MATLAB / Simulink.

Ступень выкарыстання: вынікі працы ўкаранёны на прадпрыемствах «КБТЭМ-ОМА» (г. Мінск) і «Рух мотарс» (г. Мінск).

Вобласць ужывання: канструкцыі і тэхнічныя характарыстыкі робатаў і маніпулятараў, тэорыя механізмаў і машын.

РЕЗЮМЕ

Кузнецов Виталий Владимирович

Алгоритмы математических моделей и имитационного моделирования систем многокоординатных перемещений параллельной кинематики

Ключевые слова: мехатронная система параллельной кинематики, гибридный привод прямого действия, кинематика, динамика, имитационное моделирование.

Цель работы: разработка компьютерных моделей, сегментированных алгоритмов и программ в среде MATLAB, позволяющих проводить углубленное имитационное исследование кинематики и динамики мехатронной системы перемещений на шестикоординатном гибридном приводе прямого действия.

Полученные результаты и их новизна: разработаны математические модели с алгоритмизацией вычислительных процедур и программное обеспечение решения задач кинематики и динамики в среде MATLAB для компьютерного имитационного моделирования с интерактивной визуализацией мехатронной системы перемещений с шестью степенями свободы на гибридном приводе прямого действия. Предложена имитационная модель динамики разработанной мехатронной системы параллельной кинематики в виде модульного описания её механической структуры, позволяющая решать прямую и обратную задачи с интерактивной визуализацией результатов в среде MATLAB/Simulink.

Степень использования: результаты работы внедрены на предприятиях «КБТЭМ-ОМО» (г. Минск) и «Рух моторс» (г. Минск).

Область применения: конструкции и технические характеристики роботов и манипуляторов, теория механизмов и машин.

SUMMARY

Kuzniatsou Vitali Uladzimiravich

Algorithms of mathematical models and simulation modeling of multi-axis displacement systems of parallel kinematics

Keywords: mechatronic parallel kinematics system, direct-action hybrid drive, kinematics, dynamics, simulation.

The object of study: the development of computer models, segmented algorithms, and programs in the MATLAB environment, allowing an in-depth imitation study of the kinematics and dynamics of a mechatronic system of displacement on a six-axis hybrid drive of direct action.

The results and novelty: mathematical models with algorithmic computing procedures and software for solving kinematics and dynamics problems in the MATLAB environment for computer simulation with interactive visualization of a mechatronic displacement system with six degrees of freedom on a direct-action hybrid drive have been developed. A simulation model of the dynamics of the developed mechatronic system of parallel kinematics is proposed in the form of a modular description of its mechanical structure, which allows solving forward and inverse problems with interactive visualization of results in the MATLAB / Simulink environment.

Degree of use: the results of the work were implemented at the enterprises "KBTEM-OMO" (Minsk) and "Rukh motors" (Minsk).

Sphere of application: designs and technical characteristics of robots and manipulators, theory of mechanisms and machines.