

ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ**З.Р. БОГУС, М.Н. НДЖОМОН, М.В. ШИШКИН, В.Г. КОРНИЕНКО**

*Кубанский государственный технологический университет,
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2,
электронная почта: lordikpro@mail.ru*

В настоящее время для машиностроения все более характерно применение высокопроизводительного технологического оборудования. Это сопровождается повышением сложности геометрической формы деталей и требований к точности обрабатываемых поверхностей, применением новых материалов. Одной из основных задач в области машиностроения является достижение высокой производительности при обработке материалов без потери в уровне качества. В последние годы получило развитие технологическое оборудование, использующее принципы мехатроники. Подобное оборудование используется для различных объектов автоматизированной механической обработки и измерений. В его основе находится принцип применения механизмов с параллельной кинематикой, при котором исполнительный инструмент (для механообработки) или измерительный инструмент (для измерительных комплексов) может двигаться по сложной траектории с помощью движения рабочего стола, на котором установлен инструмент. Движение стола происходит с помощью активных поступательных пар – приводов («штанг переменной длины» - винтовых механизмов), шарнирно прикрепленных к столу и основанию. Роботы-станки с параллельной кинематикой позволяют выполнять: окончательную обработку деталей сложной геометрии, высокоскоростную обработку, синхронную пятиосевую обработку, фрезерную обработку твердых материалов с высокой скоростью и точностью и многое другое. Эти станки применяются при производстве различных приспособлений, пресс-форм, лопаток турбин, носовых обтекателей для реактивных двигателей, других изделий сложной геометрии и выполняют обработку с более высоким быстродействием по сравнению с обычным оборудованием.

Ключевые слова: платформа Стюарта, обрабатывающий центр, механизмы параллельной кинематики, система управления, моделирование.

Одной из мировых тенденций развития робототехники является создание пространственных манипуляционных механизмов параллельной структуры. Пространственные механизмы параллельной структуры манипуляторы параллельной структуры имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными механизмами роботов. Эти механизмы обладают повышенными показателями по точности, жесткости и грузоподъемности, а приводы могут быть расположены на основании. В данных механизмах выходное звено соединено с основанием несколькими кинематическими цепями, каждая из которых либо содержит привод, либо налагает некоторое

число связей на движение выходного звена. Многоподвижная замкнутая кинематическая цепь механизма приводит к уменьшению размеров и масс подвижных звеньев[1].

Интерес к этим объектам объясняется не только их функциональными возможностями, но и самой логикой развития теории механизмов. Если в начале объектом исследования были в основном плоские механизмы с замкнутой кинематической цепью и одной степенью свободы, то затем внимание стали привлекать пространственные механизмы. После этого получили развитие характерные для роботов механизмы с незамкнутой цепью, а затем развитие вновь пришло к замкнутым цепям, имеющим большое число степеней свободы.

Необходимо отметить, что у манипуляционных механизмов параллельной структуры существенно уменьшается рабочее пространство манипулятора по сравнению с механизмами последовательной структуры.

Еще одной особенностью механизмов параллельной структуры является наличие особых (сингулярных) положений, в которых возможна потеря степени свободы либо управляемости выходного звена. Взаимовлияние степеней свободы усложняет задачу управления такими механизмами.

Исторически первой публикацией в этой области стала известная статья Д. Стюарта, в которой описывался механизм тренажера для подготовки летчиков (Рисунок 1). Однако более ранним устройством была платформа В. Гофа, использовавшаяся для испытаний колесно-ступичного узла автомобилей. Этот механизм был подробно исследован в работах и трудах других авторов. Большое количество изобретений, связанных с использованием двигательных и измерительных устройств параллельной структуры было предложено А.Ш. Колискором с соавторами.

Существуют парадоксальные механизмы с избыточными связями, описанные в работах Д. Беннета. На основе соотношений между длинами звеньев и углами разработаны пятизвенные и шестизвенные механизмы (комбинации механизмов Беннета).

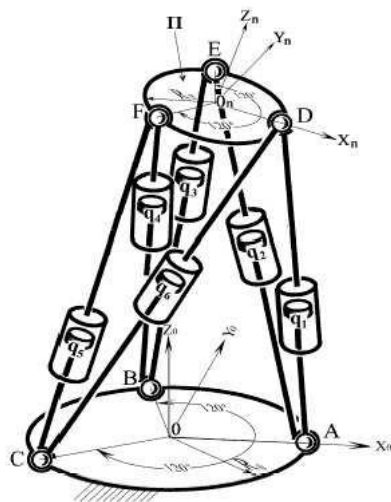


Рисунок 1– Платформа Гауфа-Стюарта

Наибольшее применение имеют механизмы, обладающие меньшей степенью свободы, пятью, четырьмя, тремя.

Одним из самых известных механизмов, обладающих упомянутым свойством сохранения постоянной ориентации, является робот Delta (Рисунок 2), предложенный Р. Клавелем. Данный тип манипулятора имеет три одинаковых цепи, состоящих из трех вращательных кинематических пар, оси которых параллельны, и шарнирного параллелограмма, оси вращательных пар которого перпендикулярны оси приводной вращательной пары. Такая конфигурация параллелограмма эквивалентна поступательной кинематической паре. В этом механизме возможно введение дополнительного вращения выходного звена за счет еще одного вращательного двигателя, движение которого передается четвертой кинематической цепью, выполненной наподобие карданного вала[2].

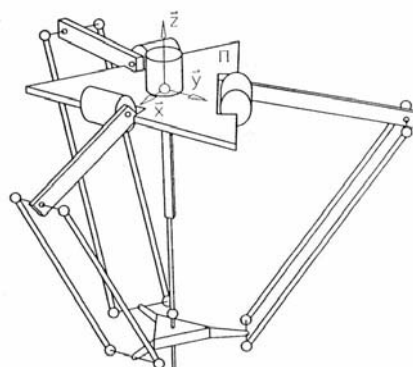


Рисунок 2 – Манипулятор Delta

Еще один механизм параллельной структуры с тремя поступательными степенями свободы, названный Orthoglide, в котором приводы выполнены в виде линейных двигателей (Рисунок 3)

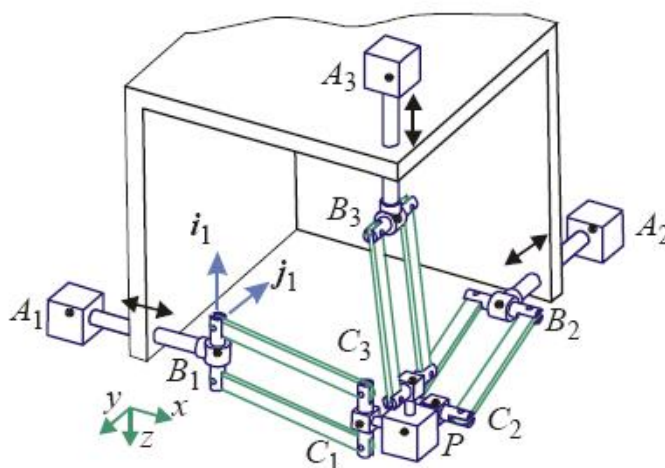


Рисунок 3 – Манипулятор Orthoglide

В данном механизме призматические пары являются входными, а движение на конечно звено передается через параллелограммы, включающие вращательные звенья. Это упрощает управление механизмом и положительно влияет на точность позиционирования[3].

Наличие параллелограммов в механизмах Delta и Orthoglide в конструкции кинематических цепей является общим свойством. Наличие

параллелограммов ограничивает нежелательные степени свободы, однако дополнительное число кинематических пар усложняет конструкцию[4].

К. Конгом и К. Госленом предложены манипуляторы, в которых достигнута «изоморфность», т.е. каждый линейный двигатель перемещает выходное звено лишь по одной декартовой координате с передаточным соотношением, равным единице (Рисунок 4).

Механизмы, представленные на рисунках (Рисунок 5), имеют свойство изоморфности. Они разработаны М. Чарригато и В. Паренти-Кастелли.

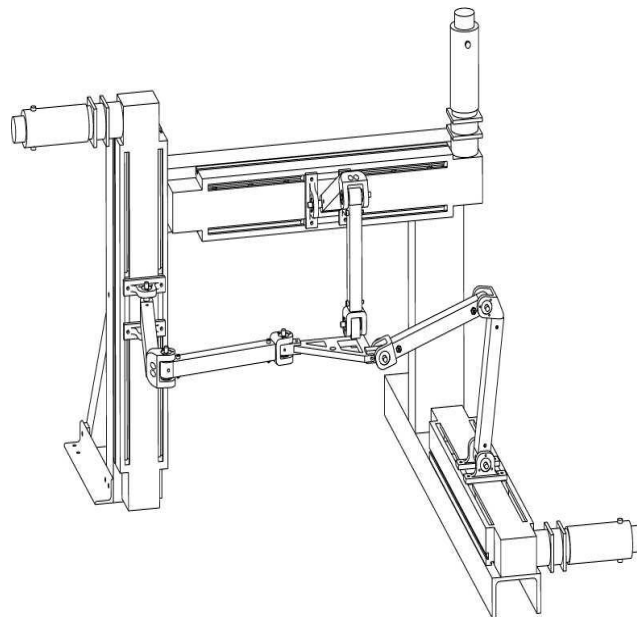


Рисунок 4 – Манипуляторы Конга и Гослена

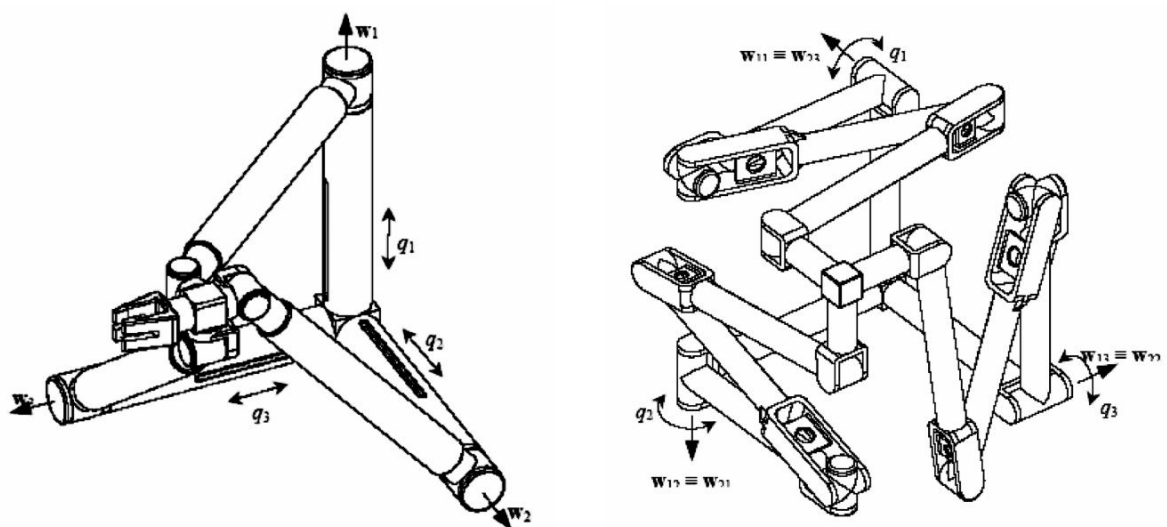


Рисунок 5 – Поступательно-направляющие механизмы

Постоянство ориентации выходного звена можно достичь за счет того, что в каждой из трех кинематических цепей установлены два карданных шарнира. Таким образом, три кинематические цепи «отбирают» три возможных вращения[5]. В сферических механизмах передача движения осуществляется между взаимопересекающимися осями.

Выходное звено представляет собой вращающуюся вокруг трех осей платформу (рисунок 6).

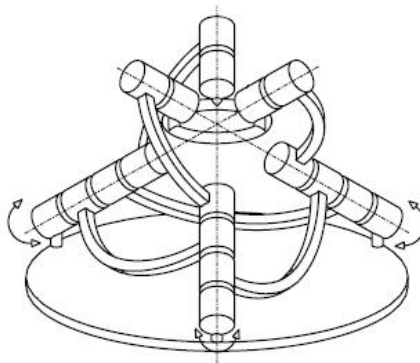


Рисунок 6 – Сферический механизм

Он состоит из основания, выходного звена, трех кинематических цепей с совпадающими осями приводных и неприводных пар различных кинематических цепей, что упрощает решение задач о положениях, но усложняет конструкцию[6].

Также сферический механизм (рисунок 7) может содержать по три вращательные пары, оси которых пересекаются в одной точке, причем оси неприводных пар лежат на несовпадающих осях.

Указанные манипуляторы применяются в устройствах для ориентирования антенн, телескопов, в испытательных стендах, для обработки сферических поверхностей, в смесителях.

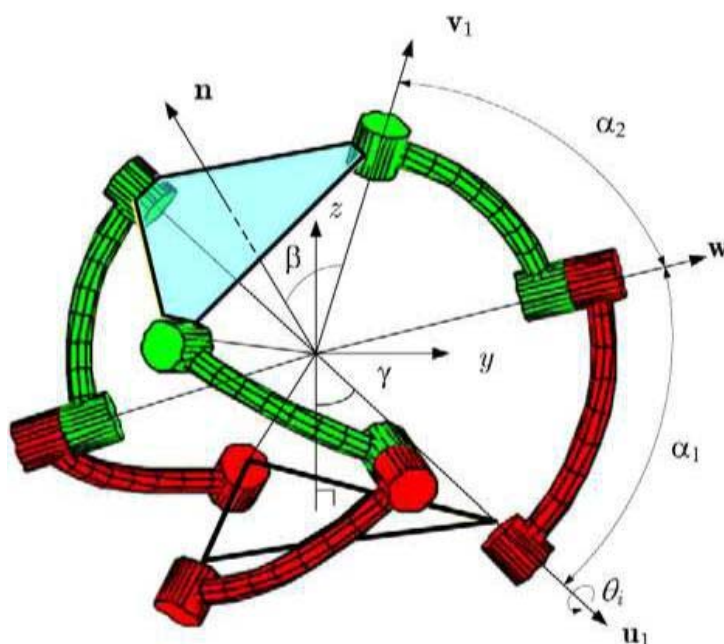


Рисунок 7 – Схема сферического механизма

Особенностью пространственных механизмов параллельной структуры может являться частичная или полная кинематическая развязка, что позволяет исследовать механизмы с большим число степеней свободы.

Интерес представляют механизмы с четырьмя степенями свободы, у которых выходное звено совершает поступательные движения, а также вращения вокруг параллельных осей, например, расположенных вертикально. Такие движения иногда называют движениями Шенфлиса. Причем такой механизм обладает свойством частичной кинематической развязки, что позволяет исследовать свойства механизма не с четырьмя, а тремя степенями свободы.

При синтезе механизмов с шестью степенями свободы проблема развязки приобретает особое значение. К. Миановски использовал подход, когда вращательные и поступательные двигатели установлены на основании с совмещением их осей (Рисунок 8). Таким образом, получены две схемы механизмов с тремя степенями свободы в каждом. Другим решением является манипулятор, предложенный И. Минг Ченом с соавторами. В нем поступательные и вращательные приводы с совмещенными осями также

размещены на основании (Рисунок 9). В данном решении использованы поступательные неприводные пары.

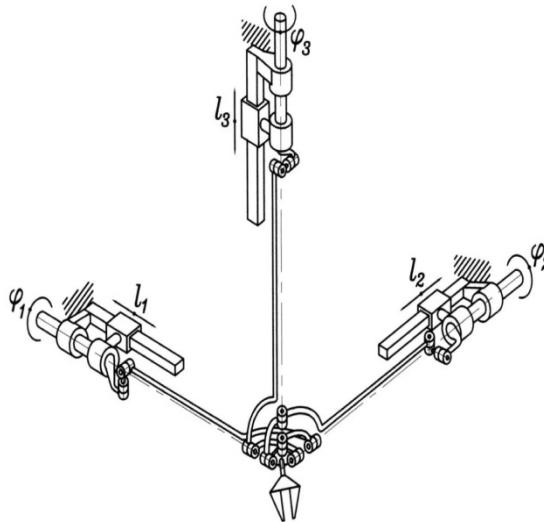


Рисунок 8 – Манипулятор Миановского с развязкой движений

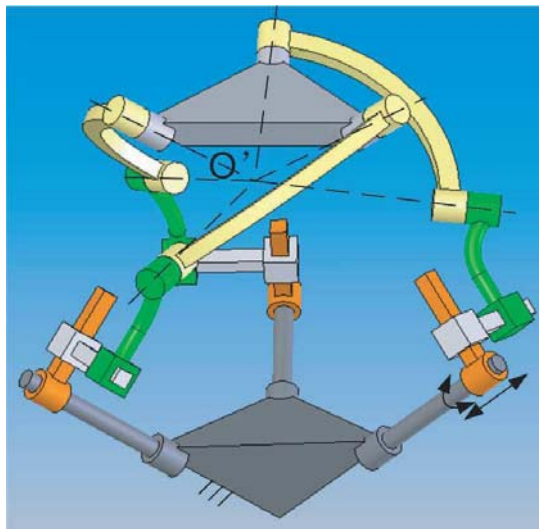


Рисунок 9 – Манипулятор И. Минг Чена с развязкой движений

В механизме (Рисунок 10) с четырьмя степенями свободы также можно провести развязку движений, при которой вертикальные перемещения независимы от плоских движений. Используя ту же конструкцию манипулятора и вводя поступательные пары в две цепи, получаем механизмы с пятью и с шестью степенями свободы. В механизме, предложенном В.А. Глазуновым с соавторами, вращательные движения развязаны относительно поступательных движений

Механизмы параллельной структуры в силу взаимного положения соединительных кинематических цепей могут иметь нелинейные динамические характеристики. Методы решения соответствующих задач представлены в работе Р.Ф. Ганиева и В.О. Кононенко.

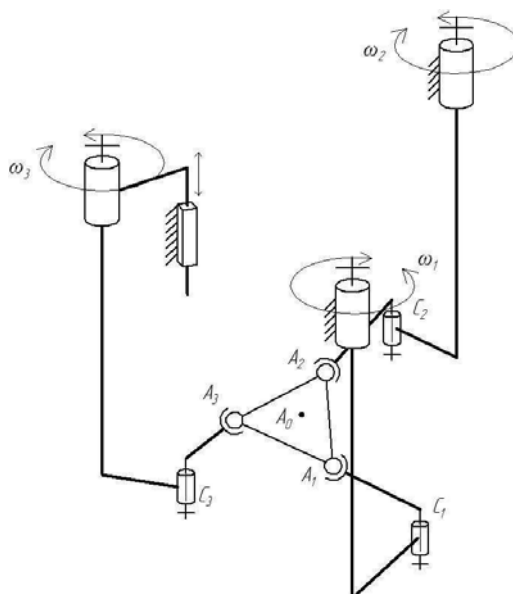


Рисунок 10 – Схема механизма с четырьмя степенями свободы с частичной развязкой

С развитием инфраструктуры nanoиндустрии возникает необходимость создания механизмов, устройств и приборов, обеспечивающих перемещение выходного звена в микро и нанометровом диапазоне. Например, конструктивным узлом измерительного оборудования является двух-трех координатный столик, дающий возможность менять положение образца при исследовании. Обеспечить высокую точность перемещения стола позволяют манипуляторы параллельной структуры, примером которых может служить поступательный механизм (Рисунок 11, а).

Данный манипулятор имеет три замкнутые кинематические цепи, обладает тремя степенями свободы: перемещения вдоль осей x , y , z . Каждая кинематическая цепь содержит одну поступательную и две вращательных кинематических пары. Все кинематические пары являются изгибными, т.е. изготовлены с применением пластичных материалов, и имеют специфическую геометрическую форму (Рисунок 11 б).

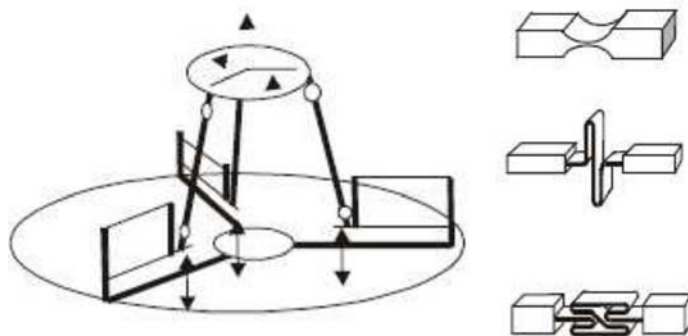


Рисунок 11 – Манипулятор с тремя степенями свободы

(а – кинематическая схема; б - изгибные кинематические пары)

Точность обеспечивается применением кинематической цепи параллельной структуры с использованием изгибных кинематических пар наряду с жесткими звеньями. Кинематические пары выполнены в виде изгибных упругих элементов, чтобы исключить возможные люфты и адгезию в агрессивных средах.

Механизмы параллельной структуры в силу высоких показателей по грузоподъемности и точности нашли достаточно широкое применение в устройствах для относительного манипулирования инструментом и обрабатываемым изделием (Рисунок 12).

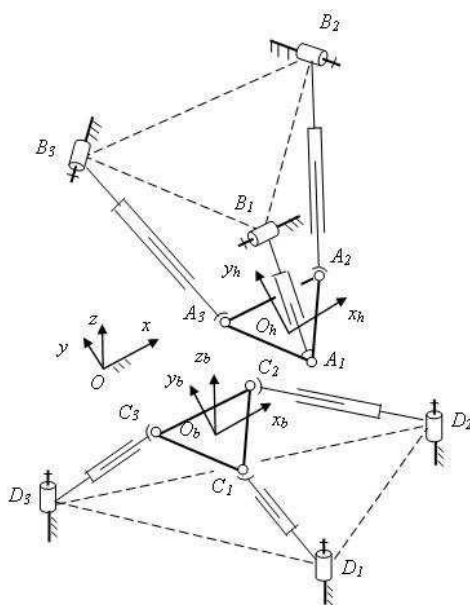


Рисунок 12 – Механизм относительного манипулирования

Таким образом, в данной статье были рассмотрены механизмы с параллельной кинематикой, их основные примеры, достоинства и недостатки, а также история их создания и становления в мире современной промышленности и станкостроения. В заключение можно сделать вывод, что такие структуры образуют обширный класс механизмов с уникальными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аракелян В. Исследование особых положений манипулятора с параллельной структурой "Паминса". В. Аракелян, С. Брио, В.А. Глазунов Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2006. – №1. – С. 80-88.
2. Белянин П.Н. Робототехнические системы для машиностроения. П.Н. Белянин.– М.:Машиностроение, 1986. – 250 с.
3. Бессекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования. В.А. Бессекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
4. Бессонов А.П. Основы динамики механизмов с переменной массой. А.П. Бессонов –М.: Наука, 1967. –279 с.
5. Глазунов В.А. Управление механизмами параллельной структуры при переходе через особые положения. В.А. Глазунов, М.Г. Есина, Р.Э. Быков Проблемы машиностроения и надежности машин. –2004. –№ 2. – С.78-84.
6. Глазунов В.А. Манипулятор параллельной структуры с четырьмя степенями свободы В.А. Глазунов, С.В. Хейло, М.А. Ширинкин, П.А. Ларюшкин, А.В. Ковальчук. Вестник нижегородского универ. им. Н.И. Лобачевского. – 2011. Часть 2, №4. – С. 92-94.

REFERENCES

1. Arakelyan V. Issledovanie osobykh polozheniy manipulyatora s parallelnoy strukturoy "Paminsa". V. Arakelyan, S. Brio, V.A. Glazunov Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. – 2006. – №1. – S. 80-88.
2. Belyanin P.N. Robototekhnicheskie sistemy dlya mashinostroeniya. P.N. Belyanin.– M.:Mashinostroenie, 1986. – 250 s.

3. Bessekerskiy V.A. Teoriya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya. V.A. Bessekerskiy, E.P. Popov. – M.: Nauka, 1975. – 768 s.
4. Bessonov A.P. Osnovy dinamiki mekhanizmov s peremennoy massoy. A.P. Bessonov –M.: Nauka, 1967. –279 s.
5. Glazunov V.A. Upravlenie mekhanizmami parallelnoy struktury pri perekhode cherez osobyе polozeniya. V.A. Glazunov, M.G. Esina, R.E. Bykov Problemy mashinostroeniya i nadezhnosti mashin. –2004. –№ 2. – S.78-84.
6. Glazunov V.A. Manipulyator parallelnoy struktury s chetyrmya stepenyami svobody V.A. Glazunov, S.V. Kheylo, M.A. Shirinkin, P.A. Laryushkin, A.V. Kovalchuk. Vestnik nizhegorodskogo univer. im. N.I. Lobachevskogo. – 2011. Chast 2, №4. – S. 92-94.

THE REVIEW MECHANISM PARALLEL KINEMATICS

Z.R. BOGUS, M.N. NDZHOMON, M.V. SHISHKIN, V.G. KORNIENKO

*Kuban State Technological University,
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072.
e-mail: lordikpro@mail.ru*

Currently, for mechanical engineering increasingly characterized by the use of high-technology equipment. This is accompanied by an increased complexity of the geometric shape of parts and the accuracy requirements of the processed surfaces, the use of new materials. One of the main tasks in the field of engineering is to achieve high performance in the processing of materials without any loss in quality. In recent years, technology has developed equipment that uses the principles of mechatronics. Such equipment is used for various objects automated machining and measurement. At its heart is the principle of the use of mechanisms with parallel kinematics, in which the executive tool (for machining) or measuring tool (for measuring systems) can move on a difficult path with the help of desktop motion, on which the tool is installed. Table movement occurs via active translational pairs - actuators ("variable-length rods" - screw mechanisms) pivotally attached to the table and the base. Robotic machines with parallel kinematics allow you to perform: final processing of parts with complex geometry, high-speed machining, five-axis synchronous processing, milling of solid materials with high speed and precision, and much more. These machines are used in the production of various devices, molds, turbine blades, nose cones for jet engines and other items of complex geometry and processing is performed with higher speed compared to conventional equipment.

Key words: of Stuart platform, machining center, the mechanisms of parallel kinematics, control system, simulation.