



(19) KG (11) 2065 (13) C1  
(51) B25J 18/04 (2018.01)

## ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ И ИНОВАЦИЙ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

### (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ к патенту Кыргызской Республики под ответственность заявителя (владельца)

(21) 20170048.1

(22) 27.04.2017

(46) 29.06.2018, Бюл. № 6

(71) Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова (KG)

(72) Даровских В. Д. (KG)

(73) Кыргызский государственный технический университет имени И. Раззакова (KG)

(56) Патент RU № 2400351, С2, кл. B25J 17/02, 2010

#### (54) Полярный манипулятор

(57) Изобретение относится к манипуляторам роботов, воспроизводящим кинематические функции локального, регионального, глобального движения их ведомых звеньев в траекторных задачах автоматизации процессов.

Задачей изобретения является расширение параметров кинематических возможностей устройства и достижение управления их диапазонами относительно единого кинематического центра полярной системы координат.

Задача решается тем, что у полярного манипулятора, выполненного в виде кинематической цепи, связанной одним своим концом с платформой, а другим концом с приводом, расположенным на опоре симметрично в одной плоскости и ориентированного в одном направлении, при этом звенья кинематических цепей расположены на опорах в виде ортогональных траверс, несущих как и их звенья трехподвижные вращательные кинематические пары, между которыми наклонно к продольной оси каждого звена закреплены линейные приводы в трех плоскостях, проходящих через звенья и траверсы, и смещенных друг относительно друга симметрично на 120° относительно продольной оси кинематической цепи, траверса исходного звена которой связана с конечным звеном декартовой кинематической цепи, связанной своим исходным звеном со стационарной опорой, каждый привод выполнен в виде немагнитного бесштокового силового цилиндра с магнитными поршнем внутри и втулкой снаружи, с возможностью их возвратно-поступательного продольного перемещения между его упорами на перифериях, причем силовой цилиндр и втулка оснащены ортогональными профильными тягами, каждая из которых параллельна оси силового цилиндра и его втулки, и установлена на их радиальной периферии за габариты силового цилиндра, при этом длина каждой из тяг равна длине силового цилиндра, а их свободные концы размещены соосно силовому цилинду и связаны с трехподвижными вращательными кинематическими парами звеньев и их траверс.

1 н. п. ф., 5 фиг.

Изобретение относится к манипуляционным устройствам роботов, воспроизводящим кинематические функции локального, регионального, глобального пространственного движения их ведомых звеньев в траекторных задачах систем автоматизации процессов и производств.

Известен универсальный трансформирующийся модульный робот, содержащий унифицированные модули, оснащенные разъемными сцепными устройствами для соединения их между собой, двигательными устройствами и электронной схемой управления упомянутыми сцепными и двигателевыми устройствами, причем сцепные устройства модулей выполнены с возможностью их соединения и разъединения для обеспечения перестройки структуры робота непосредственно в процессе работы, электронная схема управления снабжена компьютером, а двигательные устройства смонтированы внутри модулей или в предусмотренных отдельных блоках, соединяющих модули, каждый из которых выполнен в виде телескопической трубы с механизмом изменения ее длины, а разъемные сцепные устройства, имеющие три степени свободы, смонтированы на концах трубок или каждый модуль может быть выполнен в виде плоских или объемных элементов со сцепными устройствами, имеющими от одной до трех степеней свободы, или модули могут быть выполнены в виде профилированных стержней постоянной длины, а соединяющие модули отдельные

блоки с двигательными устройствами имеют возможность перемещаться вдоль упомянутых стержней в трех взаимно перпендикулярных направлениях, кроме того плоские элементы размещены в одной плоскости, а сцепные устройства выполнены в виде гибких шарниров (Патент RU № 2166427, С2, кл. B25J 9/08, 2001).

Недостаток универсального трансформирующегося модульного робота состоит в значительном абстрагировании конструкции устройства, недоказанности работоспособности и надежности его функционирования, а также универсальности. Если работоспособность робота в общем случае обеспечивается целевым заданием относительных свобод его подвижным звеньям, несмотря на их взаимосвязь посредством кинематических пар, то манипуляционный механизм становится способным создавать на выходе вполне конкретное перемещение (поступательное, вращательное) от известного входного воздействия. Данная специфика функционирования робота не достигнута. При этом требуемой полноты количества модулей не названо, а предложена, приводящая к неопределенности, их паразитная избыточность, при которой исключена возможность соединения модулей друг с другом сцепными устройствами заданных габаритов, связанными, в свою очередь, с редукторами и их двигателями, хотя эти связи полностью не разработаны, что должно привести к объемной параметрической диспропорции. То есть, в одной координате монтажа модулей друг с другом должны контактировать два и более трех подвижных звена без указания способа организации этого контакта и без указания той системы координат, в которой эти способы реализуются. Не указаны связи выходных звеньев редукторов, превращающих свои выходные функции в управляемые вращения кинематических пар модулей, а также способы размещения этих редукторов, обеспечивающих соосности конструкциям. Указанные осевые монтажные схемы модулей неисполнимы, что не позволяет достичь поставленную цель. Кроме этого, манипуляционные действия робота не могут быть ориентированы относительно единого центра системы координат.

Известен также высокоскоростной робот параллельной кинематики с четырьмя степенями подвижности, содержащий четыре кинематические цепи, связанные одними своими концами с подвижной платформой, несущей инструмент, а другими концами - через шарнир с соответствующими приводами, закрепленными на опорной плите, при этом подвижная платформа состоит из четырех элементов, связанных между собой посредством шарнирных соединений, причем приводы расположены на опорной плите симметрично, а элементы, образующие подвижную платформу, связаны между собой на концах так, что, по меньшей мере, два из этих элементов параллельны друг другу, образуя шарнирно соединенную подвижную платформу с одной степенью подвижности в плоскости этой подвижной платформы, а одна из степеней подвижности подвижной платформы представляет собой поворот относительно вертикальной оси в диапазоне от  $-45^\circ$  до  $+45^\circ$ , при этом приводы расположены на опорной плите под углами  $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$  и  $315^\circ$ , и содержат линейные двигатели, расположенные в одной плоскости и ориентированные в одном и том же направлении, причем каждая из кинематических цепей состоит из четырех попарно параллельных стержней, которые связаны между собой посредством шаровых шарниров и соединены с подвижной платформой и с приводами так, что стержень имеет ту же самую ориентацию, что и соответствующий привод, а некоторые или все его кинематические цепи образованы посредством единственного стержня с двумя карданными или универсальными шарнирами на его концах, связанного с подвижной платформой и приводами, причем подвижная платформа содержит усиливающий механизм для поворота рабочего инструмента и усиливающий механизм состоит из двух шкивов, один из которых установлен на одном из четырех элементов подвижной платформы, а другой шкив связан с одним из других элементов подвижной платформы, и ремня, расположенного между обоими шкивами, причем рабочий инструмент смонтирован на валу шкива, а усиливающий механизм состоит из секции с зубчатым венцом, выполненной на одном из элементов подвижной платформы, и зубчатого колеса, расположенного на одном из других элементов подвижной платформы, причем рабочий инструмент связан с зубчатым колесом, а подвижная платформа дополнительно содержит промежуточный элемент, установленный между двумя элементами подвижной платформы посредством шарнирных соединений, причем рабочий инструмент смонтирован на промежуточном элементе, и элементы, образующие подвижную платформу, расположены попарно параллельно, а промежуточный элемент расположен параллельно одной из пар звеньев, составляющих подвижную платформу, и связан с двумя элементами в их центральной части. Робот содержит усиливающий механизм для поворота рабочего инструмента, а усиливающий механизм состоит из двух шкивов, один из которых смонтирован на одном из четырех элементов подвижной платформы, а другой шкив связан с промежуточным элементом, и ремня, расположенного между обоими шкивами, причем рабочий инструмент смонтирован на валу шкива, а усиливающий механизм может состоять из сектора с зубчатым венцом, расположенного на одном из элементов подвижной платформы, и зубчатого колеса, расположенного на промежуточном элементе, причем рабочий инструмент связан с зубчатым колесом, при этом подвижная платформа дополнительно содержит два промежуточных элемента, связанных с подвижной платформой посредством шарнирных соединений, и элементы, образующие подвижную платформу расположены так, что один из промежуточных элементов смонтирован параллельно одной из пар звеньев, образующих подвижную платформу, и связан с другими двумя элементами в их центральной части, а второй промежуточный элемент смонтирован параллельно второй паре звеньев подвижной платформы и связан с другими двумя элементами в их центральной части, причем два промежуточных элемента связаны между собой в точке, где установлен рабочий инструмент, кроме этого подвижная платформа содержит

усиливающий элемент для поворота инструмента который содержит зубчатую передачу, расположенную в точке пересечения промежуточных элементов (Патент RU № 2400351, С2, кл. B25J 17/02, 2010).

Недостаток высокоскоростного робота параллельной кинематики с четырьмя степенями подвижности в отсутствии привязки его конструкции к конкретной (или декартовой, или полярной, или сложной полярной) системе координат из-за чего не разработаны относительные угловые и линейные кинематические перемещения ведомых звеньев приводов, одновременно соединенных с платформой. Утверждать о создании робота с четырьмя свободами из-за этого невозможно. Платформа станет подвижной в названном угловом диапазоне при условии согласованных действий одновременно всех приводов. То есть, в каждом технологическом режиме один или одновременно два, три или четыре управляемых привода тянут одновременно три, два или один неуправляемый привод. Налагаемые кинематические ограничения не обеспечивают названный диапазон угла поворота платформы, а ограничение кинематических возможностей из-за соответственно реализации конструкцией единого радиуса поворота ведомого звена не позволяет воспроизводить иные, кроме конструктивно установленного радиуса, дуги окружностей, дополняет потери в диапазоне угла поворота платформы. Кроме того, гарантия достижения повышенных жесткости, точности конструкции и однородных рабочих характеристик в рабочем пространстве за счет симметричного расположения приводов робота, использования шарнирных соединений в подвижной платформе недостижима, так как здесь необходима жесткость непосредственно каждого привода, а не их симметричное расположение, качество изготовления шарниров, а не их применение и синхронизация управления приводами. Образование шарнирно соединенной подвижной платформы, именуемой плоским параллелограммом, не приводит к жесткости устройства, а напротив, снижает ее. При этом не констатируемое, а предполагаемое применение дополнительного механизма, включающего ремень и шкивы или зубчатые колеса, приведет к потере точности робота и не только из-за погрешности дополнительного механизма с его люфтами и эластичностью, а также из-за его инерционности, дополняемой излишней металлоемкостью кинематики, а функция объединения рабочего инструмента с любой из дополнительных механических частей сама по себе становится паразитной, что легко устраниется возвращением к мобильности рабочего инструмента, необходимой в том числе и для увеличения диапазона его поворота. Таким образом, задачи создания робота, имеющего высокие жесткость и точность, однородные рабочие характеристики в рабочем пространстве, хорошие динамические характеристики и очень высокие скорости и ускорения в любом направлении названы субъективно и окончательно не решены.

Высокоскоростной робот параллельной кинематики с четырьмя степенями подвижности выбран за прототип.

Технической задачей изобретения является расширение параметров кинематических возможностей устройства и достижение управления их диапазонами относительно единого кинематического центра полярной системы координат.

Задача решается тем, что у полярного манипулятора, выполненного в виде кинематической цепи, связанной одним своим концом с платформой, а другими концами через кинематические пары с приводами, расположенными на опорах симметрично в одной плоскости и ориентированных в одном направлении, звенья кинематических цепей расположены на опорах в виде ортогональных траверс, несущих как и их звенья трехподвижные вращательные кинематические пары, между которыми наклонно к продольной оси каждого звена закреплены линейные приводы в трех плоскостях, проходящих через звенья и траверсы, и смещенных друг относительно друга симметрично на  $120^\circ$  относительно продольной оси кинематической цепи, траверса исходного звена которой связана с конечным звеном декартовой пространственной кинематической цепи, жестко связанный своим исходным звеном со стационарной опорой, при этом каждый привод кинематической цепи выполнен в виде немагнитного бесштокового силового цилиндра с магнитным поршнем внутри и магнитной втулкой снаружи силового цилиндра, с возможностью их возвратно-поступательного перемещения вдоль продольной оси силового цилиндра между его упорами на перифериях, причем силовой цилиндр и втулка оснащены ортогональными профильными тягами, каждая из которых параллельна единой оси силового цилиндра и его втулки, и установлена на их радиальной периферии в разнонаправленные стороны за габариты силового цилиндра, при этом длина каждой из тяг равна длине силового цилиндра, а их свободные концы размещены соосно силовому цилинду и связаны с трехподвижными вращательными кинематическими парами звеньев и их траверс, причем соосность звеньев в их исходном положении обеспечена расположением силового цилиндра и его втулки каждого привода в едином геометрическом центре.

Конструкция выполнена как система последовательно соединенных пространственных полярной и декартовой кинематических цепей, причем первая задает девять свобод ведомой платформе, а вторая оснащает подвижность кинематического центра полярной кинематической цепи и соответственно платформы дополнительно тремя свободами, что гарантирует манипулятору возможности управляемой смены видов и параметров воспроизводимых его ведомыми звеньями линейных и криволинейных функциональных профилей внутри их предварительно и программно установленных диапазонов при достижения необходимого и достаточного условия пространственного центрирования этих функциональных профилей относительно кинематического центра полярной системы координат.

Отмеченное есть доказательство решения поставленной задачи.

Кинематическая схема полярного манипулятора показана на фиг. 1, а на фиг. 2 приведен повернутый на  $120^\circ$  вид кинематической схемы на фиг. 1, виды по стрелкам А и Б к которым даны на фиг. 3 и 4, и на фиг. 5 показан внутренний профиль каждого из приводов манипулятора.

Полярный манипулятор образован кинематической цепью из последовательно связанных подвижных звеньев 1, 2 и 3, длины которых соответственно равны  $\ell$ ,  $\ell/2$  и  $\ell/4$ . Звенья 1, 2 и 2, 3 при этом последовательно взаимосвязаны через трехподвижные вращательные кинематические пары 4 и 5. Свободный конец звена 3 оснащен платформой 6, несущей инструмент (на фигурах не показан), а свободный конец звена 1 через трехподвижную вращательную кинематическую пару 7 ортогонально связан с траверсой 8, которая жестко связана со звеном 9, образующим со звеном 10 поступательную кинематическую пару. Причем кинематическая цепь из звеньев 1, 2 и 3 выполнена с возможностью возвратно-поступательного перемещения относительно звена 10. Звено 10 при этом соединено со звеном 11, кинематически с возможностью относительного возвратно-поступательного перемещения связанного со звеном 12. Звено 12 закреплено на подвижном звене 13, образующим поступательную кинематическую пару со звеном 14, которое в свою очередь жестко смонтировано на стационарной опоре 15.

Звенья 1 и 2 расположены на опорах в виде ортогональных траверс 16 и 17. Между звеньями 1, 2, 3 и их траверсами 8, 16, 17 в трех плоскостях, проходящих через них и смещенных друг относительно друга симметрично на  $120^\circ$ , относительно продольной оси кинематической цепи установлены трехподвижные вращательные кинематические пары 18 и 19 в количестве по девять штук соответственно, между которыми наклонно к оси кинематической цепи из последовательно связанных подвижных звеньев 1, 2 и 3 закреплены линейные приводы 20, количество которых также девять.

Каждый привод 20 полярного манипулятора, расположенный в подобной плоскости и ориентированый в одном направлении, выполнен в виде немагнитного бесштокового силового цилиндра 21 с магнитным поршнем 22 внутри и магнитной втулкой 23 снаружи силового цилиндра 21, с возможностью их возвратно-поступательного перемещения вдоль продольной оси силового цилиндра 21 между его упорами 24 и 25 на перифериях. Поршень 22 и втулка 23 имеют единую относительную осевую поперечную ориентацию и противоположную полярность магнитно-сопрягаемых поверхностей, что гарантирует их взаимное притяжение друг к другу.

Силовой цилиндр 21 и втулка 23 оснащены ортогональными профильными тягами 26 и 27 соответственно, таким образом, что каждая из тяг 26 и 27 параллельна единой оси силового цилиндра 21 и его втулки 23 и установлена на их радиальной периферии в разнонаправленные стороны за габариты силового цилиндра 21. Длина каждой из тяг 26 и 27 при этом равна длине силового цилиндра 21, а их свободные концы размещены соосно силовому цилинду 21 и связаны с трехподвижными вращательными кинематическими парами 18 и 19 звеньев 1, 2 и 3, и их траверс 8, 16 и 17. Причем соосность звеньев 1, 2, 3 в их исходном положении обеспечена расположением силового цилиндра 21 и его втулки 23 каждого привода 20 в едином геометрическом центре.

Работа конструкции протекает следующим образом.

В исходном положении полярной кинематической цепи, закрепленной на траверсе 8 трехподвижной кинематической парой 7, подвижные звенья 1, 2 и 3, последовательно связанные трехподвижными кинематическими парами 4 и 5, длины которых соответственно равны  $6$ ,  $1/2$  и  $6/4$ , ориентированы соосно относительно геометрических центров кинематической пары 7 и платформы 6.

Геометрические центры 7, 4 и 5 полярной кинематической цепи перемещаются в рабочем пространстве декартовой пространственной кинематической цепи посредством ее последовательно связанных поступательных кинематических пар из звеньев 9 и 10, 11 и 12, 13 и 14, приводы которых на фигурах не показаны, относительно стационарной опоры 15.

Приводы 20 способны поворачивать каждое последующее звено 1, 2, 3 полярной кинематической цепи относительно предыдущего 8, 1, 2 соответственно, для чего звенья 1, 2, 3 оснащены ортогональными траверсами 8, 16 и 17, а между звеньями 1, 2, 3 и их траверсами 8, 16, 17 в трех плоскостях, проходящих через них и смещенных друг относительно друга под углами в  $120^\circ$ , относительно продольной оси кинематической цепи установлены трехподвижные вращательные кинематические пары 18 и 19 в количестве по девять штук соответственно, между которыми наклонно к оси кинематической цепи из последовательно связанных подвижных звеньев 1, 2 и 3, закреплены приводы 20, количество которых также девять. При этом возникают семь следующих возможных сочетаний одно-, двух- или трехкомпонентных групп одновременно вращаемых звеньев - 1 или 2, или 3; 1 и 2, или 1 и 3, или 2 и 3; 1, 2, 3. Эти сочетания организуют в конструкции до 63-х относительных вращений платформы 6.

Поскольку каждый привод 20 имеет немагнитный бесштоковый силовой цилиндр 21 с магнитными поршнем 22 внутри и втулкой 23 снаружи цилиндра 21, а поршень 22 и втулка 23 при этом имеют единую относительную осевую поперечную и продольную ориентации и противоположную полярность магнитно-сопрягаемых поверхностей, и гарантируется их взаимное притяжение друг к другу из-за сил магнитного сцепления, то втулка 23 движется возвратно поступательно между упорами 24 и 25 на перифериях силового цилиндра 20 из-за управляемой и реверсируемой подачи рабочего тела в поршневые полости силового цилиндра 20.

Причем соосность звеньев 1, 2, 3 в их исходном положении обеспечена расположением силового цилиндра 21 и втулки 23 каждого привода 20 в едином геометрическом центре, поскольку силовой цилиндр 21 и втулка 23 оснащены ортогональными профильными тягами 26 и 27 соответственно параллельными единой оси силового цилиндра 21 и его втулки 23 и установленными на их радиальной периферии в разнонаправленные стороны за габариты силового цилиндра 21. Длина каждой из тяг 26 и 27 при этом равна длине силового цилиндра 21, а их свободные концы размечены соосно силовому цилинду 21 и связаны с трех подвижными вращательными кинематическими парами 18 и 19 соответственно.

Далее согласно последовательной схеме функционирования конструкции приводы 20 поворачивают звенья 1, 2, 3 или их отмеченные сочетания на программно установленные положительные или отрицательные углы относительно исходного соосного их положения.

При этом звенья 9, 11, 13 пространственной декартовой кинематические цепи переводят по их опорным звеньям 10, 12 и 14 в исходный центр конструкции, прежде занятый вращательной кинематической парой 7, геометрические центры вращательных кинематических пар 4 и 5.

В завершении полного цикла функционирования конструкции исполняются соответствующий перевод в исходное положение вращательной кинематической пары 7.

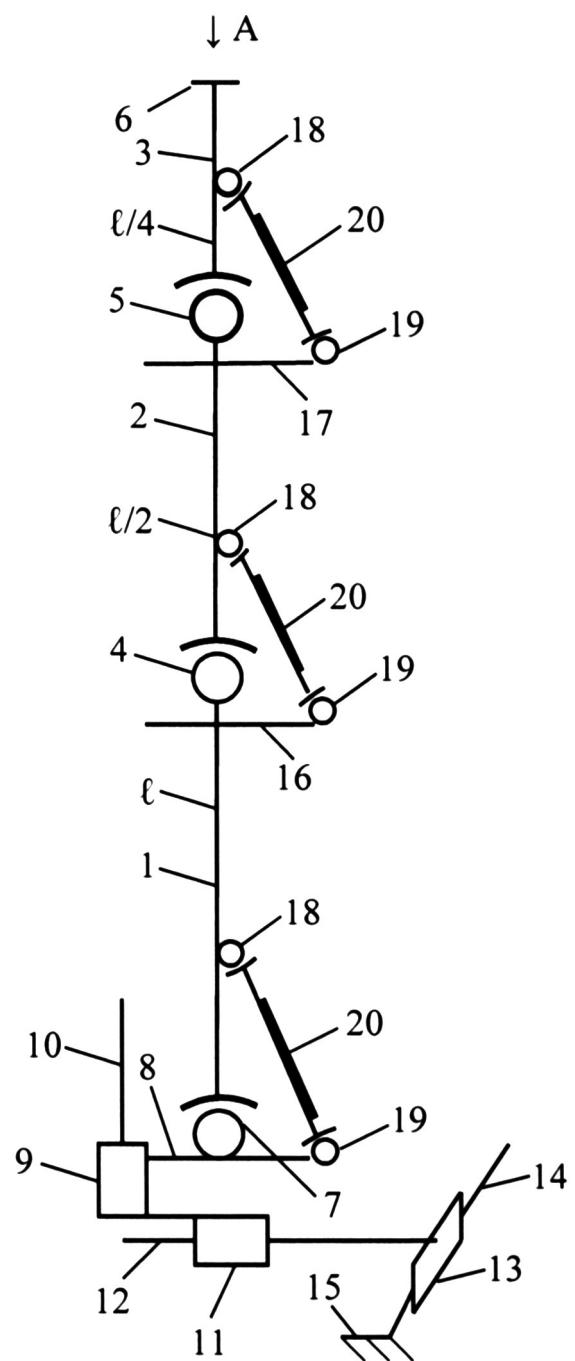
В итоге цикл может быть продолжен по прежней или иной технологической схеме.

Преимущества полярного манипулятора в сравнении с конструкцией прототипа состоят в реализации кинематической возможности управляемой смены видов и параметров воспроизводимых ведомыми звеньями полярного манипулятора линейных и криволинейных функциональных профилей внутри их предварительно и программно установленных диапазонов при достижения необходимого и достаточного условия пространственного центрирования этих функциональных профилей относительно кинематического центра полярной системы координат.

### **Формула изобретения**

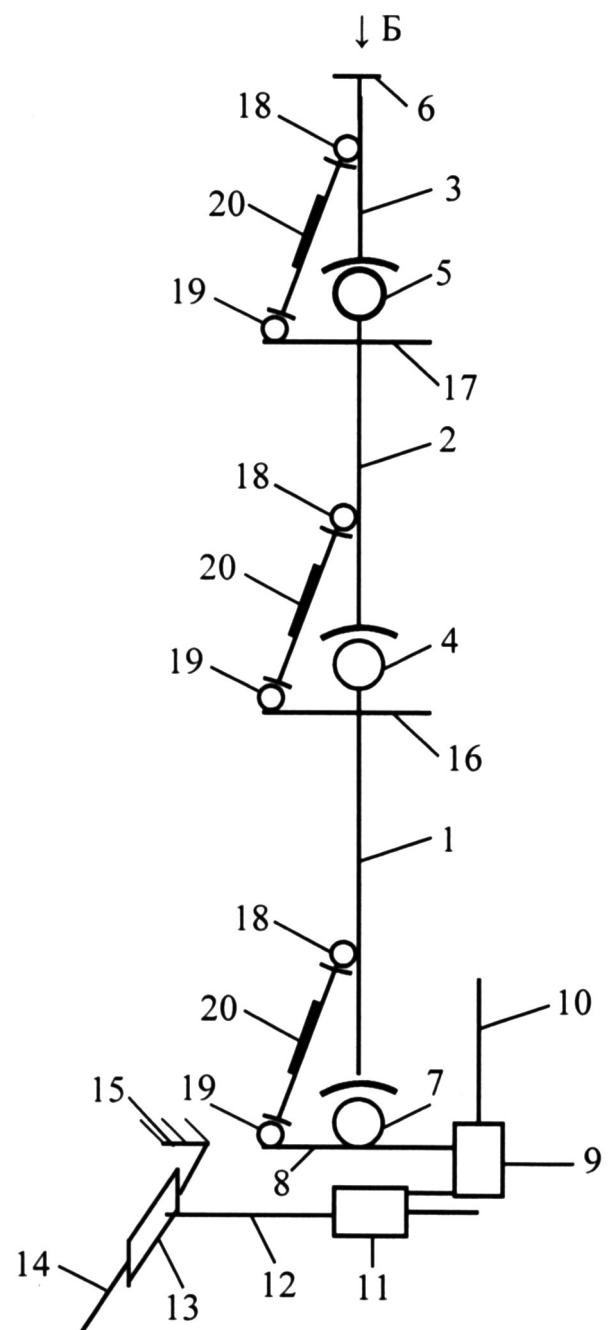
Полярный манипулятор, выполненный в виде кинематической цепи, связанной одним концом с платформой, а другими концами через кинематические пары с приводами, расположеными на опорах симметрично в одной плоскости и ориентированных в одном направлении, отличаю щийся тем, что звенья кинематических цепей расположены на опорах в виде ортогональных траверс, несущих как и их звенья трехподвижные вращательные кинематические пары, между которыми наклонно к продольной оси каждого звена закреплены линейные приводы в трех плоскостях, проходящих через звенья и траверсы, и смещенных друг относительно друга симметрично на  $120^\circ$  относительно продольной оси кинематической цепи, траверса исходного звена которой связана с конечным звеном декартовой пространственной кинематической цепи, жестко связанной своим исходным звеном со стационарной опорой, при этом каждый привод кинематической цепи выполнен в виде немагнитного бесштокового силового цилиндра с магнитным поршнем внутри и магнитной втулкой снаружи силового цилиндра, с возможностью их возвратно-поступательного перемещения вдоль продольной оси силового цилиндра между его упорами на перифериях, причем силовой цилиндр и втулка оснащены ортогональными профильными тягами, каждая из которых параллельна единой оси силового цилиндра и его втулки, и установлена на их радиальной периферии в разнонаправленные стороны за габариты силового цилиндра, при этом длина каждой из тяг равна длине силового цилиндра, а их свободные концы размечены соосно силовому цилинду и связаны с трехподвижными вращательными кинематическими парами звеньев и их траверс, причем соосность звеньев в их исходном положении обеспечена расположением силового цилиндра и его втулки каждого привода в едином геометрическом центре.

Полярный манипулятор



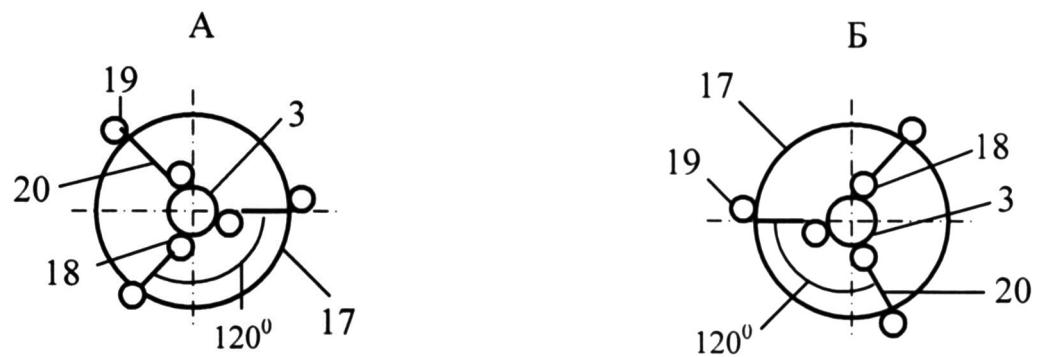
Фиг. 1

Полярный манипулятор



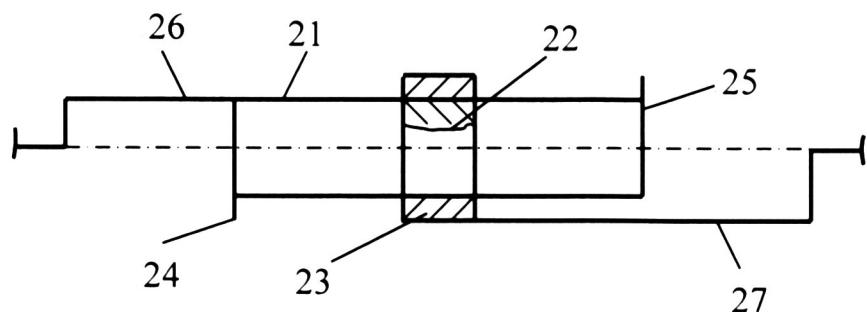
Фиг. 2

Полярный манипулятор



Фиг. 3

Фиг. 4



Фиг. 5

Выпущено отделом подготовки материалов

Государственная служба интеллектуальной собственности и инноваций при Правительстве Кыргызской Республики,  
720021, г. Бишкек, ул. Московская, 62, тел.: (312) 68 08 19, 68 16 41; факс: (312) 68 17 03