

Челпанов Игорь Борисович
Chelpanov Igor Borisovich
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
St.-Petersburg state polytechnical university
профессор
Professor

Кочетков Андрей Викторович
Kochetkov Andrey Viktorovich
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm national research polytechnical university
профессор
professor

05.02.08 – Технология машиностроения

**Испытательные многостепенные стенды-роботы с механизмами
последовательной и параллельной структуры**

Test многостепенные stands-robots with the mechanisms of serial and parallel
structure

Аннотация. Вопросы совершенствования метрологического обеспечения испытаний испытательных многостепенных стендов-роботов с учетом вопросов их стандартизации могут быть реализованы на базе новых метрологических подходов, средств измерения и современных информационных систем.

Ключевые слова: метрология, испытания, роботы, схемы измерения, точность, качество.

The Abstract: Questions of perfection of metrological maintenance of tests of test multi-phase stands-robots taking into account questions of their standardization can be realized on the basis of new metrological approaches, gages and modern information systems.

Keywords: metrology, tests, robots, measurement schemes, accuracy, quality.

Введение.

В последнее десятилетие получили распространение многокомпонентные, многостепенные испытательные установки, имеющие программно управляемые механизмы с большим числом степеней подвижности (чаще всего с шестью), способные воспроизводить теоретически любые (в определенных диапазонах), синусоидальные или псевдослучайные и комбинированные законы изменения линейных и угловых перемещений и ускорений. Если имеются

возможности перепрограммирования движений, то такие установки следует относить в самостоятельную категорию испытательных роботов.

Постановка задачи. Методы решения.

Кинематические схемы подобных испытательных роботов следует классифицировать примерно по тем же признакам, что и схемы манипуляторов промышленных роботов [1], а именно, по виду и числу степеней подвижности механизмов, расположению осей кинематических пар, типу приводов, способам автоматического управления и т.д. При проектировании испытательных роботов, как обычно, важнейшим является выбор типов кинематических схем. У роботов наиболее распространенными были кинематические схемы последовательной структуры, когда основу их механизмов составляли разомкнутые кинематические цепи, в которых звенья соединялись друг за другом [2]. Испытательные роботы могут не иметь переносных степеней подвижности вовсе, как например, многоколенные вращательные стенды, выполняемые по схеме карданова шарнира и предназначенные для испытаний приборов на двухосную или трехосную качку.

Исторически первой из установок, построенных на основе шестистепенных механизмов параллельной структуры типа платформы Стюарта, был стенд Е.Го, построенный в 1954 г и предназначенный для испытания на жесткость по различным направлениям шасси самолета с колесом. Из новейших разработок следует упомянуть стенды германской фирмы *MICOS* (*Mechanische Instrumente Optische Systeme GmbH*), предназначенные для испытания прецизионных оптических элементов и приборов. В России по такой же схеме в течение ряда лет выпускались установки «Лапик» в двух модификациях: как технологические (станки для механообработки) и как координатно-измерительные машины.

В тех случаях, когда объект при испытаниях требуется перемещать по пространственным траекториям, которые могут задаваться произвольно, на большие расстояния (порядка нескольких метров) и одновременно не требуется высокая точность, представляется, что могут найти широкое применение испытательные стенды, трехстепенные механизмы которых выполняются по схемам роботов, работающих в ангулярной системе координат (рис.1). Могут быть добавлены также ориентирующие степени свободы. Практическая реализация подобных стендов упрощается тем, что механизм имеет только вращательные кинематические пары. Очевидный недостаток стендов с последовательной структурой механизмов заключается в пониженной жесткости незамкнутых кинематических цепей. При больших линейных размерах и при больших воспроизводимых линейных ускорениях повышение точности и надежности обычно требует ужесточения конструкций, увеличения размеров сечений и, следовательно, утяжеления конструкций.

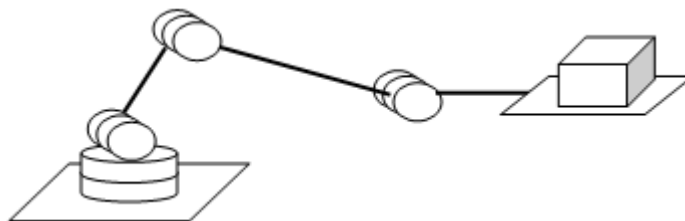


Рис. 1.

В испытательной технике, предназначенной для воспроизведения сложных движений, определенное распространение получили многокомпонентные стенды, механизмы которых имеют параллельную структуру, отличающуюся тем, что приводные звенья, которые пред-

ставляются в виде стержней переменной длины, через шарниры соединяют выходное звено, в данном случае плоскую платформу (или объемную конструкцию) с неподвижным основанием. В этом классе механизмов наибольшее распространение получили механизмы, выполненные по схеме так называемой платформы Стюарта (рис.2); в зарубежной литературе для подобных механизмов часто используется термин *hexapod* («шестиног»).

Принципиальной особенностью классического варианта такого шестистепенного механизма является то, что подвижная платформа (на рис.2 она треугольная) соединяется с неподвижным основанием только с помощью шести одинаковых приводных звеньев переменной, управляемой длины. В теории их длины принято называть l -координатами. Эти приводные звенья имеют встроенные датчики линейных перемещений (длин l_i этих звеньев).

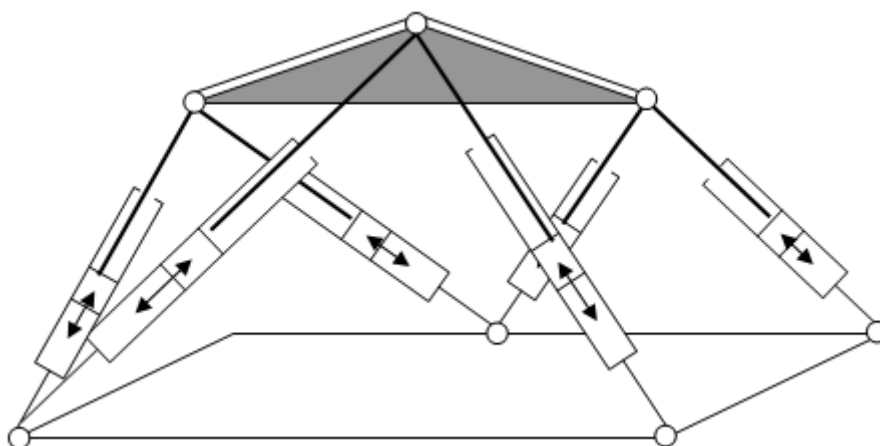


Рис. 2.

Наличие именно шести звеньев обязательно, только при этом, с одной стороны, можно независимо задавать в пространстве в определенных пределах три линейных перемещения и три угла поворота вокруг трех осей, а с другой стороны, система является статически определенной. Поскольку выполняются условия статической определенности, в определенных пределах можно задавать любые удлинения длинам приводных звеньев, и это не будет приводить к возникновению больших усилий, когда приводы нагружают друг друга. Каждое приводное звено на одном конце имеет двухподвижную вращательную кинематическую пару, а на другом конце – трехподвижную (например, сферический шарнир, но не обязательно). Изображенные сферические шарниры могут быть заменены двух- и трехстепенными кардановыми шарнирами.

Попарное совмещение шарниров, как на рис.2, на платформе и на основании возможно, но необязательно. Приводные звенья могут представлять собой гидроцилиндры или же они могут быть построены на передачах винт-гайка с вращательными электродвигателями. По схеме платформы Стюарта несколькими фирмами выпускаются шестикомпонентные испытательные стенды с гидроприводом и микропроцессорной системой автоматического программного управления; предусмотрено программирование и воспроизведение любых непериодических или периодических законов движения по всем линейным и угловым координатам.

Очень часто нет необходимости задавать определенные законы изменения всех трех линейных координат и всех трех углов, и было бы вполне достаточно использовать механизмы с меньшим числом свободы. При использовании шестистепенной платформы рассматриваемого типа для воспроизведения даже самых простых движений, например, поступательного по одной из заданных осей необходима синхронная одновременная работа всех приводов,

что представляется нерациональным. Схему можно рассматривать, как универсальную, представляющую определенные преимущества. Например, при одной установке объекта на стенде можно задавать линейные колебания по любой оси или угловые колебания вокруг любой оси.

Очевидным преимуществом схем параллельной структуры является возможность получения высокой жесткости конструкции в целом. Это определяется тем, что приводные звенья работают только на растяжение-сжатие, но не на изгиб. Расплатой за это является сложность решения прямой и обратной задачи геометрии и кинематики, т.е. преобразования требуемых программ линейных и угловых перемещений испытуемого объекта, задаваемых как правило в неподвижной ортогональной системе координат, в законы изменения длин l_i приводных звеньев. В качестве универсального математического аппарата для программирования может рассматриваться метод l -координат [3], который однако, является громоздким в реализации. Несмотря на высокие показатели современных систем компьютерного управления, точное решение этих задач в реальном времени в общем случае требует значительных вычислительных ресурсов. Самой сложной является ситуация, когда испытуемый объект представляет собой точный прибор или измерительную систему, предназначенную для непрерывного измерения в динамике параметров движения подвижного основания (в данном случае – подвижной платформы). В этих случаях должна быть обеспечена высокая точность воспроизведения программных законов, поскольку именно с ними должны сравниваться при испытаниях выходные сигналы испытуемого прибора или системы.

При практическом использовании стендов, выполненных по схеме платформы Стюарта, необходимо знать диапазоны возможных изменений линейных перемещений и углов поворота в зависимости от диапазонов изменения длин приводных звеньев (ходов двигателей). Пределы допустимых изменений указанных параметров существенно взаимосвязаны, правильное решение этих задач требует построения шестимерной области возможных положений и ее сечений.

Характеристики зависят от геометрии механизма, расположения шарниров (не обязательно попарно совмещенных) на неподвижном основании и на платформе (которая не обязательно должна быть плоской). Значительные преимущества во всех отношениях имеет так называемая ортогонализированная схема, представленная на рис.3а. Здесь плоская платформа заменена прямоугольным трехмерным (в данном случае кубическим) блоком; в исходном, номинальном положении пары приводных звеньев взаимно ортогональны. При этом значительно упрощается задача управления простыми движениями: для задания линейных перемещений по каждой из осей с невысокой точностью достаточно синхронно на одинаковые величины и в одну сторону изменять длины соответствующих пар приводных звеньев. Аналогичное положение имеет место и по отношению к углам поворота, но в парах приводных звеньев их длины должны изменяться в противоположные стороны.

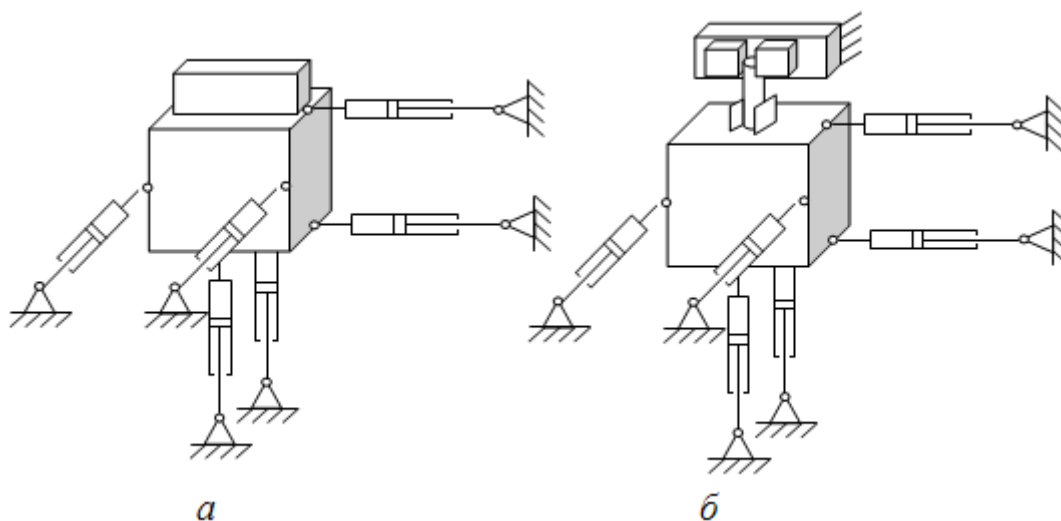


Рис. 3.

Шестистепенные механизмы параллельной структуры могут быть использованы также в качестве средств задания произвольных статических и динамических сил и моментов при сложном силовом нагружении испытуемого объекта. Такой стенд должен создавать силовые воздействия, а контролироваться должны такие показатели, как прочность или деформируемость объекта. В этом случае объект, зажатый одним концом в неподвижном зажимном устройстве, нагружается с другого конца схватом, закрепленным на подвижной платформе шестистепенного стенда (рис.3б). При этом можно задавать произвольно и независимо три составляющие силы и три составляющие момента.

При построении испытательного стенда по схеме классической неортогональной платформы Стюарта неявно принят принцип независимости по отношению к решаемым задачам, в основу выбора базовой конфигурации по существу принимается принцип симметрии относительно центральной вертикальной оси. Основание и подвижная платформа в плане представляют собой равносторонние треугольники, шарниры являются попарно совмещенными. Указанные особенности не вытекают ни из каких-либо определенных требований.

Обсуждение результатов.

Существует концепция предметно-ориентированного или объектно-ориентированного проектирования испытательных многокомпонентных (многостепенных) стендов, которые строятся по схемам параллельной структуры, и осуществляется их оптимизации на основе принципов модульного построения. При этом учитывается также специфика требований к перемещениям и движениям по различным степеням подвижности.

Представляется, что изменения пропорций стенда целесообразны при воспроизведении движений удлиненных объектов, например, при имитации трехмерной качки судна при движении волны под любым углом к его продольной оси. Известно, что такое колебательное движение складывается из поступательного, так называемого орбитального, вместе с центром масс, и вращательного, по углу рысканья, углам килевой и бортовой качки. Всегда наибольшие амплитуды имеет бортовая качка, это нужно учитывать при выборе расстановки шарниров приводных звеньев на подвижной платформе.

В рамках концепции модульного построения в качестве альтернативы возможно исключение подвижной платформы из конструкции. В этом случае выходные звенья линейных

приводов должны шарнирно крепиться или непосредственно к испытываемому объекту, который в этом случае может рассматриваться, как замена подвижной платформы, или к вспомогательным переходным конструкциям. Возможность такой организации процесса испытаний с закреплением захватных устройств непосредственно на объекте не может представляться исключительной, поскольку реальные конструкции подобных объектов всегда предусматривают выполнение такелажных работ.

При реализации идеи крепления шарниров приводных звеньев к самому объекту при отказе от самостоятельной подвижной платформы получается, что в зависимости от испытываемого объекта механизм испытательного робота будет иметь различные параметры, что должно быть учтено при программировании движений.

Из приемов, которые могут быть использованы при распределении приводных элементов, наиболее перспективными являются следующие:

- при сохранении расположения шарниров соответственно на нижнем горизонтальном уровне (основания) и верхнем (платформы) задается их существенно неравномерное распределение по периметру;

- приводные звенья группируются в одной и той же конструкции по-разному: по три, по два или не группируются совсем, между ними может осуществляться определенное распределение функций;

- внешние шарниры приводных звеньев устанавливаются на разных уровнях при различной ориентации их осей, это позволяет желаемым образом изменять геометрические характеристики движений.

Цели, которые преследуются при использовании перечисленных приемов, могут быть следующими:

- изменение соотношений между диапазонами по линейным перемещениям и углам поворота;

- развязывание движений с тем, чтобы определенные типовые движения осуществлялись по возможности перемещениями отдельных приводных звеньев или по крайней мере пар звеньев;

- освобождение определенных зон или окон для размещения рабочих органов, блоков аппаратуры и пр.

На основе шестистепенных платформ строятся специальные тренажеры для тренировки персонала наземных транспортных средств, приспособленных, например, для перемещения по сильно пересеченной местности, для пилотов и экипажей вертолетов и самолетов. В демонстрационных испытаниях шестистепенная платформа может использоваться, как подвижный подиум, который позволяет демонстрировать громоздкие изделия, например, автомобили, наклоняя и поворачивая их с разных сторон.

Заключение.

Вопросы совершенствования метрологического обеспечения испытаний испытательных многостепенных станков-роботов с учетом вопросов их стандартизации могут быть реализованы на базе новых метрологических подходов, средств измерения и современных информационных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпашников С.Н., Тимофеев А.В., Челпанов И.Б. Стандартизация промышленных роботов. - М. : Изд. Стандартов, 1990.
2. Челпанов И.Б. Испытания технических средств: Учебное пособие. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2008.
3. Челпанов И.Б. Устройство промышленных роботов. 2-ое изд. СПб: Политехника, 2001.