УДК 62-851.1

СИЛЬФОННЫЕ ПРИВОДЫ КРИВОЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ НОГИ ШАГАЮЩЕГО АППАРАТА

Сысоев С.Н., Никифоров И.Е., Мосалев А.А.

*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: nikiforov10@bk.ru*

Настоящая статья посвящена совершенствованию приводов мобильных шагающих аппаратов с использованием пневмомеханических преобразователей, содержащих герметичную упругую сильфонную камеру, выполненную с возможностью соединения с пневмолинией давления энергопитания. Проведенный анализ функционирования используемых камерных сильфонных приводов позволил выявить ограничения их применения в качестве приводов ног шагающего аппарата, которые связаны с конструктивным исполнением, не позволяющим повысить силовые технические характеристики. В современных приводах данного типа, осуществляющих криволинейные перемещения в требуемом направлении, используется для подъема ноги избыточное давление энергоносителя, а для выпрямления – давление разрежения воздуха. Исследованы силовые характеристики конусного сильфонного привода с центральной тягой криволинейного перемещения ноги шагающего аппарата. Выявлены его преимущества и недостатки по сравнению с аналогичным цилиндрическим сильфонным приводом. Показано, что максимальный угол поворота изгиба конусного сильфона более чем в полтора раза превышает угол изгиба цилиндрического сильфона. Сильфонные приводные механизмы криволинейного перемещения с нерастяжимой центральной тягой обладают низкими силовыми характеристиками, что не позволяет применять их в качестве приводов ноги шагающего аппарата. Предложены идея и новое устройство для ее реализации. Новый приводной механизм состоит из кольцевого сильфона, по оси которого на торцах закреплены две заглушки, образующие герметичную полость, выполненную с возможностью соединения со средством давления. На заглушках по оси сильфона закреплена гибкая подпружиненная тяга, а по периметру сильфона закреплена нерастяжимая гибкая оболочка, ограничивающая осевое растяжение сильфона. Увеличение избыточного давления воздуха в рабочей камере из-за неустойчивого симметричного расположения сильфона искривляет его (подъем рабочего органа). Дальнейшее увеличение давления приводит к осевому растяжению сильфона, силовому взаимодействию с ним нерастяжимой оболочки и выпрямлению сильфона. Применяемый при макетировании конусный сильфон – пыльник амортизатора переднего М-2141. Материал нерастяжимой оболочки – полиэстер.

Ключевые слова: приводы, нога шагающего аппарата, гибкая тяга, сильфон, оболочка

BELLOWS DRIVES OF CURVILINEAR MOTION OF WALKING MACHINE LEG

Sysoev S.N., Nikiforov I.E., Mosalev A.A.

*Alexander Grigorievych and Nikolay Grigorievich Stoletov Vladimir State University,
Vladimir, e-mail: nikiforov10@bk.ru*

This article focuses on the improvement of the drives of mobile walking devices using pneumatic-mechanical converters containing a sealed elastic bellows chamber enabled to be connected to the pneumatic line of power supply pressure. Functioning analysis of chamber bellows drives revealed the limitations of their use as leg drives of the walking device, which are associated with the design that limits performance capability. Modern drives of curved movement in the desired direction use excess pressure of energy carrier for lifting the leg and expansion pressure for its straightening. Power characteristics of a cone bellows drive with a center track rod of curvilinear movement of a walking device are studied. Its advantages and disadvantages in comparison with cylindrical bellows drive are revealed. It is shown that the maximum bending angle of the cone bellows is more than one and a half times greater than the bending angle of the cylindrical bellows. Bellows drives of a curvilinear movement with an inextensible center track rod have low power characteristics, which does not allow them to be used as leg drives of a walking device. The idea and a new device for its implementation are proposed. New drive consists of an annular bellows, along the axis of which two plugs are fixed at the ends, forming a sealed cavity that can be connected to the pressure device. A flexible spring-load rod is fixed on the plugs along the bellows axis and an inextensible flexible shell is fixed along the bellows perimeter, which restricts the bellows axial tension. Excess pressure buildup in the working chamber bends the bellows due its unstable symmetrical arrangement (lifting of the working tool). Further pressure buildup leads to bellows axial stretching, force interaction with the inextensible shell and straightening of the bellows. Simulation cone bellows: dust guard of front shock absorber M-2141. Inextensible shell material: polyester.

Keywords: drives, walking device leg, flexible rod, bellows, shell

В современном машиностроении и приборостроении для реализации криволинейного перемещения рабочего органа широко применяются камерные гидравлические и пневматические приводы, принцип работы которых заключается в изменении геометрии камеры под воздействием давления рабочей среды.

Для их функционирования используются различные приводные механизмы, в которых увеличение давления рабочей среды в камере, например «трубки Бурдона» [1; 2], приводит к выпрямлению изогнутой упругой трубки, а в сильфонных механизмах [3; 4] с несимметричной упругой деформацией гофра – к его изгибу. При

этом криволинейные перемещения осуществляются только по одному радиальному направлению, задаваемому упругими характеристиками и геометрией оболочки используемой камеры, что ограничивает область их применения.

В мобильных шагающих аппаратах [5] применяют приводы с расширенной областью использования, где направление криволинейного перемещения задается в процессе их функционирования. В таких приводах наибольшими силовыми характеристиками изгиба камеры обладают сильфонные приводы [6], криволинейное перемещение рабочего органа в которых осуществляется силовым воздействием избыточного давления рабочей среды. Повышенные силовые характеристики изгиба сильфона достигаются путем установки центральной гибкой нерастяжимой тяги, ограничивающей линейное растяжение сильфона и создающей неустойчивость его симметричного расположения. Возможность осуществления криволинейного перемещения в требуемом радиальном направлении позволяет использовать его в шагающих мобильных роботах.

Однако данный привод в условиях специфики функционирования ноги шагающего аппарата обладает недостатками, ограничивающими эффективность его работы:

- низкие величины силовых характеристик выпрямления сильфона, которые должны быть существенно выше характеристик его изгиба;
- необходимость применения в качестве энергопитания давления разрежения воздуха ограничивает возможность повышения силовых характеристик привода;
- необходимость использования в качестве энергопитания избыточного давления и давления разрежения воздуха усложняет конструкцию и управление.

Цель исследования: повышение эффективности работы приводов криволинейного перемещения ноги шагающего аппарата путем разработки и исследования нового сильфонного пневмомеханического преобразователя.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются пневматические приводы шагающих мобильных аппаратов. В качестве предмета исследования приняты сильфонные приводы криволинейного перемещения с центральной тягой.

Для реализации поставленной цели проведем анализ возможности устранения указанных выше недостатков.

Рассмотрим полный цикл работы сильфонного кольцеобразного конусного приво-

да бедра ноги шагающего аппарата (рис. 1), в котором в качестве энергоносителя для изгиба сильфона используется избыточное давление воздуха, а для выпрямления – давление разрежения.

В исходном положении (рис. 1, а) в камере сильфона атмосферное давление и он занимает симметричное относительно оси положение. Направление требуемого перемещения задают (рис. 1, б) наклоном корпуса в нужном направлении на угол α , изменяя геометрию камеры сильфона. Для выполнения функции подъема ноги, криволинейного перемещения рабочего органа рабочую полость сильфона соединяют с избыточным давлением воздуха (рис. 1, в). После выполнения данной функции соединяют рабочую камеру сильфона с атмосферой (рис. 1, г). Уменьшение усилия воздействия избыточного давления приводит к частичному выпрямлению сильфона и силовому взаимодействию рабочего органа с опорной поверхностью, величина которого незначительна и определяется упругой характеристикой сильфона. Соединение рабочей камеры с пневмопитанием давления разрежения воздуха (рис. 1, д) приводит к осевому сжатию сильфона, увеличению силового воздействия на опорную поверхность и перемещению корпуса в заданном направлении.

Результаты исследования и их обсуждение

При макетировании и исследованиях применен конусный сильфон (пыльник амортизатора переднего М-2141). На рис. 2 показаны результаты натурных исследований влияния увеличения давления p воздуха в камере на положение стержня по осям горизонтальной x и вертикальной z при различных полезных нагрузках N .

Графики показывают эффективность схемного решения ограничения осевого растяжения сильфона гибкой нерастяжимой тягой для выполнения функции «подъем ноги шагающего аппарата» не только в цилиндрическом, но и в коническом сильфоне.

На этапах работы привода (рис. 1, в, г) одним из важных параметров криволинейного перемещения является угол поворота β рабочего органа, а на этапе выпрямления сильфона (рис. 1, д) – силовая характеристика привода (рис. 3).

Графики (рис. 3, а) показывают возможность получения большего угла поворота рабочего органа, и, кроме этого, наблюдается гистерезис зависимости угла поворота в процессе увеличения давления p в рабочей камере привода и возврата в исходное положение.

Рис. 1. Схемы этапов работы привода бедра шагающего аппарата: а) исходного положения; б) задание направления перемещения; в) криволинейное перемещение подъема рабочего органа; г) опускание рабочего органа на опорную поверхность; д) перемещение корпуса аппарата

Рис. 2. Графики зависимости перемещения рабочего органа конусного привода от величины давления в рабочей камере

Результаты исследования этапа (рис. 1, д) перемещения корпуса аппарата выпрямлением сиффона (рис. 3, б) показывают, что силовые характеристики привода выполнения функции перемещения корпуса шагающего аппарата незначительно превышают характеристики искривления сиффона. Кроме этого, использование в качестве энергоносителя давления разрежения ограничивает возможность их существенно увеличения.

В связи с этим предложена идея использовать для выполнения функции выпрямления сиффона в качестве энергоносителя избыточное давление воздуха. Данная идея реализована в новом сиффоном приво-

де криволинейного перемещения (рис. 4), в котором по оси вместо нерастяжимой тяги установлена подпружиненная тяга, а по периметру закреплен ограничитель осевого перемещения, выполненный в виде нерастяжимой оболочки.

Устройство состоит из корпуса 1, на котором закреплен сиффон 2 с верхней и нижней крышками, образующими герметичную камеру, где закреплена центральная гибкая подпружиненная тяга 3, соединяющая корпус и рабочий орган 4, установленный на опорной поверхности 5. По периметру сиффона установлена нерастяжимая оболочка 6, ограничивающая осевое перемещение сиффона.

а)

б)

в)

г)

Рис. 3. Конусный сильфонный привод криволинейного перемещения: а) график зависимости угла поворота рабочего органа от величины избыточного давления в рабочей камере; б) график зависимости силовой характеристики привода от давления разрежения воздуха; в) и г) общий вид

Рис. 4. Схемы этапов работы привода бедра шагающего аппарата с подпружиненной центральной тягой и ограничительной оболочкой: а) исходное положение; б) задание направления перемещения; в) криволинейное перемещение подъема рабочего органа; г) опускание рабочего органа на опорную поверхность; д) перемещение корпуса аппарата

Этапы исходного положения и задания направления перемещения выполняются аналогично работе сифонного привода с центральной гибкой нерастяжимой тягой (рис. 1, а, б). На этапе криволинейного перемещения подъема рабочего органа при повышении давления воздуха в камере сиффона до p_1 возникает неустойчивость его симметричного расположения, приводящая к криволинейному перемещению и его искривлению в заданном направлении (рис. 4, в). Дальнейшее повышение давления воздуха до величины p_2 приводит к растяжению осевой тяги и сиффона. Натягивается оболочка, ограничивая его продольное перемещение и выпрямляя сиффон (рис. 4, г). Выполняется этап опускания рабочего органа на опорную поверхность. Повышение величины давления воздуха в рабочей камере до давления p_3 приводит к дальнейшему осевому растяжению

сиффона и его выпрямлению под силовым воздействием нерастяжимой оболочки. Выполняется функция перемещения корпуса аппарата (рис. 4, д).

Результаты натурных исследований показаны на рис. 5. При макетировании применена нерастяжимая оболочка из полиэстера.

Графики (рис. 5, а) показывают, что при повышении давления до 5 kPa выполняется перемещение рабочего органа на 130 мм по горизонтальной оси в направлении требуемого перемещения корпуса аппарата, а затем при увеличении давления в рабочей камере происходит выпрямление сиффона и перемещение рабочего органа в обратном направлении. Силовое взаимодействие рабочего органа с опорной поверхностью начинается при превышении давления в рабочей камере 10 kPa и достигает 50 Н, что в 1,5 раза превышает характеристику аналогичного привода.

Рис. 5. Сифонный привод криволинейного перемещения: а), б) графики зависимости соответственно положения рабочего органа и силовой характеристики F от величины давления в рабочей камере конусного сиффона; в – ж) общий вид приводов соответственно с конусным и цилиндрическим сиффоном

Заключение

Проведенные исследования конусных сильфонных приводов с жесткой центральной тягой по сравнению с цилиндрическими показали возможность получения большего угла поворота рабочего органа. Кроме этого, процесс поворота и возврата сильфона в исходное положение без воздействия полезной нагрузки на привод сопровождается гистерезисом зависимости угла поворота от давления.

Исследованиями полного цикла работы данных приводов установлено, что они обладают ограничениями по применению в качестве приводов ног шагающего аппарата, связанными с конструктивным исполнением, не позволяющим повысить их силовые технические характеристики. Использование вакуумного источника энергоносителя для выпрямления сильфона ограничивает тяговые усилия мобильного аппарата.

Предложен и исследован новый привод криволинейного перемещения, где по периметру сильфона дополнительно установлена нерастяжимая оболочка, ограничивающая осевое перемещение сильфона. Это позволяет для осуществления этапа выпрямления сильфона при выполнении функции перемещения корпуса шагающего

аппарата использовать избыточное давление питания рабочей среды, что существенно увеличивает силовые характеристики привода при сохранении его массогабаритных параметров и упрощает систему управления приводом.

Список литературы

1. Пирогов С.П., Чуба А.Ю. Применение манометрических трубчатых пружин в сельскохозяйственных машинах // Агропродовольственная политика России. 2017. № 9(69). С. 82–88.
2. Сорокин Ф.Д., Чан Ки АН. О возможности применения сетчатых оболочек с симметрично уложенными нитями в качестве приводов управляемой упругой деформации // Известия высших учебных заведений. 2013. № 10 (643). С. 3–8.
3. Александрова А.Т., Васин В.А. Создание идеологии, полных комплексных систем вакуумного оборудования (основанных на устройствах и элементах исключающих трение движения и предназначенных для работы в области микро и нанoeлектроники и других высоких технологий) // Системотехника. 2009. № 7. С. 9–14.
4. Васин В.А. Бескорпусной затвор с криволинейной траекторией перемещения // Патент РФ № 2215224. Патентообладатель Васин В.А. 2003. Бюл. № 30.
5. Сысоев С.Н., Никифоров И.Е., Маскин А.С. Методика конструирования системы приводов ноги шагающего аппарата // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 2. С. 66–71.
6. Сысоев С.Н., Овчинников В.А., Голубева Т.Н. Сильфонные приводы криволинейного перемещения // Современные наукоемкие технологии. 2020. № 4–2. С. 251–255.