

УДК 62-851.1

СИЛЬФОННЫЕ ПРИВОДНЫЕ МЕХАНИЗМЫ С КОМБИНИРОВАННЫМ МЕТОДОМ УПРАВЛЕНИЯ КРИВОЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Сысоев С.Н.

*ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
Владимир, e-mail: sysoev50@yandex.ru*

Повышение эффективности работы современных гидравлических и пневматических приводов является актуальной задачей, решение которой зависит от применяемого способа управления и конструктивного исполнения привода. Анализируются методы управления и устройства криволинейного перемещения, имеющие герметичную сильфонную камеру с ограничением осевого удлинения. Ограничения функциональных возможностей, области применения механизмов, использующих упругие свойства оболочки, связаны с отсутствием универсального метода управления траекторией криволинейного перемещения, позволяющего использовать комбинацию известных современных методов управления. Предложен метод комбинированного автоматизированного управления перемещения рабочего органа, использующий силовое воздействие от давления в камере, направленное по оси и в плоскости, перпендикулярной ей, с одновременным регулированием устойчивого положения сильфона для перемещения как в радиальном, так и в осевом направлении путем смещения ограничителя осевого удлинения сильфона в данных направлениях. Для использования комбинированного метода управления разработано новое устройство, в котором по оси сильфона в крышке со стороны корпуса установлен шток управления приводом, соединенный с тягой. Шток управления выполнен с возможностью осевого и радиального перемещения тяги, а крышка представляет собой торообразную гибкую нерастяжимую герметичную оболочку, соединенную одним концом с торцевой поверхностью сильфона, а другим с тягой. Применение торообразной оболочки устраняет необходимость герметизации подвижных соединений и разгружает механизм управления от силового воздействия на него со стороны ограничителя, улучшая технические характеристики механизма. Работоспособность и эффективность предложенного комбинированного метода управления и устройства для его реализации подтверждена макетированием, натурными исследованиями. В плоскости, перпендикулярной оси сильфона, приводной механизм регулируется в диапазоне от 0 до 360°. Максимальный угол наклона рабочего органа относительно оси исследованного сильфона составляет $\pm 90^\circ$. Кроме этого, выявлено существенное расширение рабочей зоны криволинейного перемещения приводного механизма, что позволяет значительно расширить его функциональные возможности.

Ключевые слова: шток управления, комбинированный метод управления, криволинейное перемещение, сильфон

BELLOWS ACTUATION MECHANISMS WITH A HYBRID CURVILINEAR CONTROL METHOD

Sysoev S.N.

A.G. and N.G. Stoletov Vladimir State University, Vladimir, e-mail: sysoev50@yandex.ru

Improving the efficiency of modern hydraulic and pneumatic actuators is an urgent task, the solution of which depends on the control method used and the design of the actuator. Control methods and curvilinear movement devices with a sealed bellows chamber with limited axial elongation are analyzed. Limitations of functionality, application area of mechanisms using the elastic properties of the shell are associated with the lack of a universal control method of the curvilinear movement trajectory, which allows the use a combination of known up-to-date control methods. A method of hybrid automated control of the end-effector displacement is proposed. It is used a pressure power action in the chamber, axial and in a plain surface perpendicular to it, with simultaneous regulation of the stable position of the bellows for movement both in the radial and axial directions by shifting the constraint of the axial elongation of the bellows in these directions. A new device, where a traverse actuator steering rod is installed along the axis of the bellows in the cover from the side of the body, connected to the rod, has been developed for using the hybrid control method. The steering rod is created with the possibility of axial and radial movement of the rod, and the cover is a toroid-shape flexible inextensible sealed shell connected at one end to the end surface of the bellows, and at the other end to the rod. The use of a toroid-shape shell eliminates the need for sealing movable joints and unloads the control mechanism from the force impact on it from the constraint, improving the technical characteristics of the mechanism. The operating capacity and efficiency of the proposed hybrid control method and device for its implementation is confirmed by physical simulation and full-scale studies. In a plain surface perpendicular to the axis of the bellows, the actuation mechanism is adjustable from 0 to 360 degrees. The maximum angle of inclination of the end-effector to the axis of the tested bellows is ± 90 degrees. In addition, a significant extends of the operating area of the actuation mechanism curvilinear movement was revealed, which makes it possible to significantly develop its functionality.

Keywords: steering rod, hybrid control method, curvilinear movement, bellows.

В настоящее время во многих отраслях промышленности, особенно в медицинской технике, широко используются приводные механизмы криволинейного перемещения камерного типа, принцип действия которых основан на изменении геометрии камеры.

В механизмах, камеры которых выполнены в виде плоской искривленной трубки Бурдона [1] или гофрированной трубки [2], направление радиального криволинейного перемещения механизма задается, например, применением сильфона с разной бо-

ковой величиной гофр [3]. В этом случае перемещение рабочего органа по сформированной траектории осуществляется изменением величины давления рабочей среды в камере. Отсутствие возможности управления криволинейного перемещения в процессе работы ограничивает функциональные возможности устройств.

В механизмах, имеющих гибкую трубчатую структуру [4] с тягой, закрепленной со смещением относительно оси, способной согнуть трубчатую конструкцию, укоротив требуемую сторону, реализовано управление боковым направлением перемещения изгибной части. Требуемое радиальное направление перемещения рабочего органа в плоскости, перпендикулярной оси сильфона, задается смещением крепления тяги от оси в сильфонном приводном механизме (рис. 1, а). Рабочий орган от давления p_1 среды питания сильфона перемещается в данном направлении на величину $+X_1, -Y_1, Z_1$ (рис. 1, б). Это позволяет расширить функциональные возможности устройств. В данном случае траектория изменения положения рабочего органа в направлении оси Z не управляется, что ограничивает функциональные возможности механизма.

Управление величиной осевого перемещения рабочего органа, например, в катетере осуществляют изменением длины тягового элемента. В этом устройстве тяговый элемент выполнен в виде плоской металли-

ческой проволоки. Трубчатая конструкция представляет собой ряд колец, соединенных с одной стороны с тяговым элементом, а с другой она оснащена распорками [5]. Недостатком данного механизма является то, что он обладает незначительными силовыми характеристиками.

Существенно расширяются возможности работы механизмов криволинейного перемещения [6], в которых имеется возможность управления траекторией в направлении осевого перемещения, используя для этого длину тяги и величину давления рабочей среды в камере сильфона (рис. 1, в). Даже при условии неизменной величины давления p_1 в камере сильфона, изменение длины тяги l_1 на l_2 приводит к перемещению рабочего органа из координаты Z_1 в Z_2 .

Данный метод работы реализован сильфонным приводным механизмом (рис. 2).

Регулировку траектории в осевом направлении выполняют изменением длины тяги.

Однако в перечисленных выше сильфонных приводных механизмах автоматизированное управление криволинейным перемещением осуществляют либо в радиальном, либо в осевом направлении, что снижает эффективность их работы.

Цель работы – расширение эффективности работы приводов криволинейного перемещения за счет использования комбинированного метода управления и устройства для его реализации.

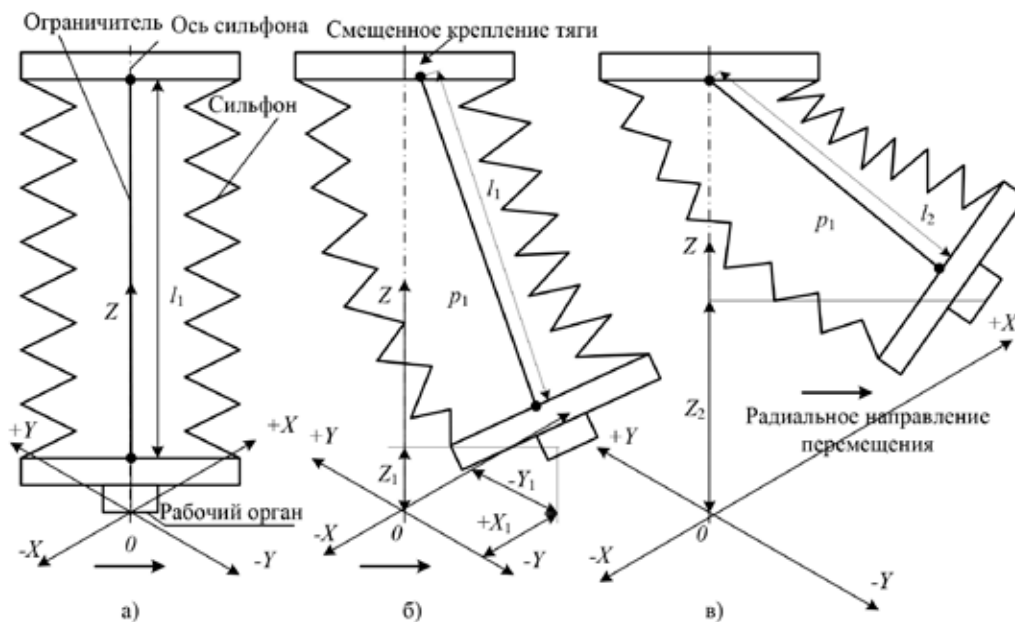


Рис. 1. Схема вариантов работы сильфонного приводного механизма: а) исходное положение; б), в) управление соответственно методами смещения крепления и длины тяги

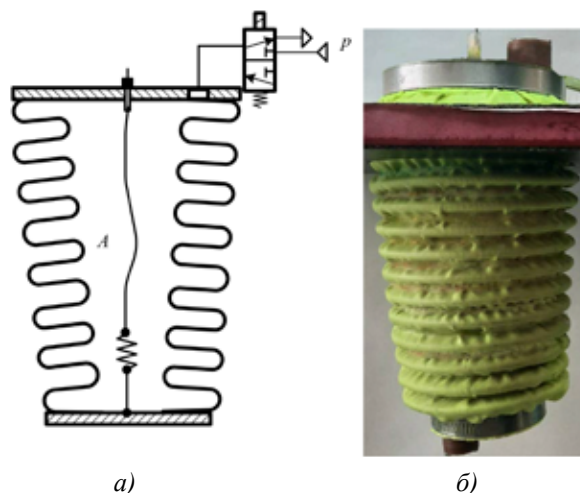


Рис. 2. Сильфонный приводной механизм с регулируемым осевым ограничителем:
а) схема; б) общий вид

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является функционирование пневматических приводов.

Предмет исследования – управление приводами криволинейного перемещения, имеющими камеру, выполненную с возможностью соединения с избыточным давлением рабочей среды с установленным в ней ограничителем осевого её удлинения.

Для решения поставленной задачи предложена идея комбинированного автоматизированного управления с одновременным регулированием криволинейного перемещения как в радиальном, так и в осевом направлении.

Данные идея и метод управления реализованы в новом приводе криволинейного перемещения, где по оси сильфона в крышке со стороны корпуса установлен штотк управления приводом, соединенный с тягой и выполненный с возможностью осевого и радиального перемещения тяги, а крышка выполнена в виде торообразной гибкой нерастяжимой герметичной оболочки, соединенной одним концом с торцевой поверхностью сильфона, а другим с тягой.

В данном механизме (рис. 3, а) на корпусе 1 установлен сильфон 2, торцевые поверхности которого закрыты двумя крышками, образуя герметичную полость А.

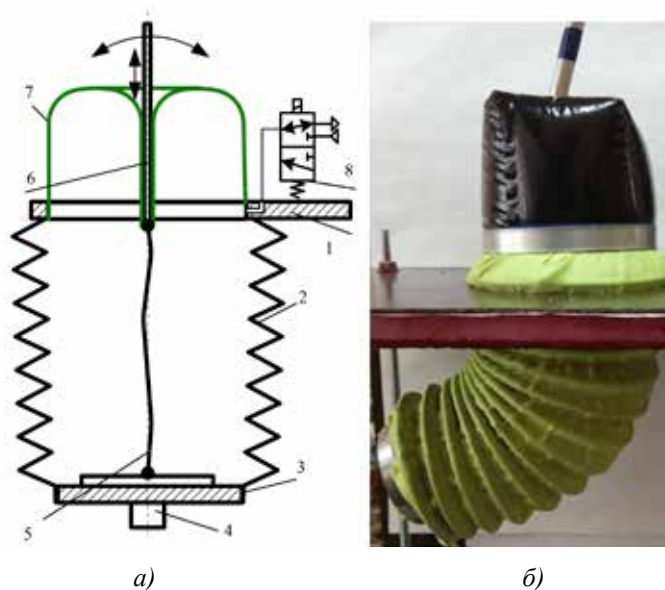


Рис. 3. Сильфонный приводной механизм с комбинированным методом управления:
а) схема; б) общий вид

На крышке 3 закреплен рабочий орган 4. В полости сиффона установлена гибкая нерастяжимая тяга 5, одним концом соединенная по оси с крышкой 3, а другим – со штоком управления 6, который охватывает герметичная гибкая нерастяжимая торообразная оболочка 7. Один конец оболочки закреплен на тяге 5, а другой – на торцевой поверхности сиффона и реализует функцию крышки, закрывающей торцевую поверхность сиффона со стороны корпуса. Герметичная камера *A* выполнена с возможностью соединения через распределитель 8 с давлением питания рабочей среды.

Применение торообразной оболочки устраняет необходимость герметизации подвижных соединений и разгружает механизм управления от силового воздействия на него со стороны ограничителя, улучшая технические характеристики механизма.

В исходном положении полость *A* соединена через распределитель 8 с атмосферой. Тяга 5 не оказывает силового воздействия на камеру сиффона. За счет упругости гофра он занимает симметричное относительно оси положение.

Перед началом работы задают требуемые направления радиального перемещения рабочего органа и его траекторию. Например, для перемещения рабочего органа против часовой стрелки, поворачивают шток управления, смещая в радиальном направлении тягу 5 вправо. Включением распределителя 8 соединяют линию питания воздуха с полостью *A*, создавая давление p_1 , величина которого не приводит к изменению радиального направления криволинейного перемещения рабочего органа.

Управляют траекторией по оси перемещения рабочего органа путем уменьшения осевой длины сиффона. При необходимости управления радиальным направлением криволинейного перемещения рабочего органа изменяют радиальное смещение тяги в соответствии с требуемым направлением, что приводит к повороту рабочего органа и устранению рассогласования его положения относительно заданного направления радиального смещения тяги.

Возможность дополнительно регулировать величину давления в камере расширяет возможности управления и существенно увеличивает разнообразие траекторий криволинейного перемещения. Кроме этого, данное устройство открывает возможность создания нового типа безнасосных сиффонных приводов криволинейного перемещения. Для подтверждения работоспособности и эффективности приводного механизма с комбинированным методом управления выполнено макетирование предлагаемых приводов.

Результаты исследования и их обсуждение

При макетировании и исследованиях применен конусный сиффон (пыльник амортизатора переднего М-2141). На рис. 4 показаны результаты натурных исследований работы сиффонного приводного механизма с комбинированным методом управления криволинейным перемещением.

Нулевая координата представляет собой осевую координату положения рабочего органа с сиффоном, в камере которого отсутствует давление питания рабочей среды, а также силовое воздействие на него тяги 5 (рис. 3, а).

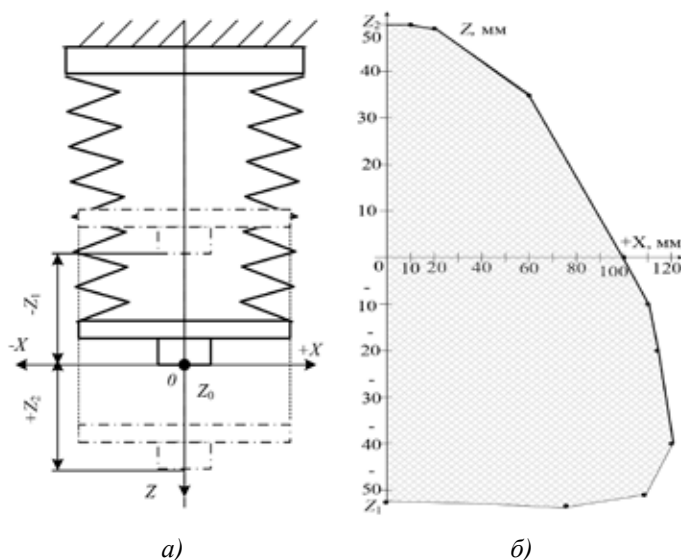


Рис. 4. Рабочая зона сиффонного приводного механизма криволинейного перемещения: а) расчетная схема; б) график пространства, в котором может находиться рабочий орган механизма

Крайнее верхнее положение $-Z_1$ рабочий орган занимает при сжатом тягой положении сильфона, а координату $+Z_2$ – в растянутом положении воздействием давления питания рабочей среды.

На рисунке показано перемещение рабочего органа только в направлении $+X$. При криволинейном перемещении в направлении $-X$ зона возможных положений рабочего органа симметрична показанной на рис. 4, б.

Максимальное давление питания в рабочей камере составляет 0,1 атм. В плоскости, перпендикулярной оси сильфона, приводной механизм регулируется в диапазоне от 0 до 360° . Максимальный угол наклона рабочего органа относительно оси исследования сильфона достигает $\pm 90^\circ$.

График показывает, что комплексное управление криволинейным перемещением в осевом направлении и в плоскости, перпендикулярной ему, позволяет перемещать рабочий орган на расстояние по X на ± 120 мм, а по Z – на ± 50 мм.

Заключение

Проведенный анализ современных методов управления приводными механизмами криволинейного перемещения позволил выявить отдельные недостатки, связанные с возможностями управления, которые ограничивают функциональные возможности механизмов. Метод комбинированного управления криволинейным перемещением позволяет устранить данные недостатки путем одновременного управления перемещением в радиальном и осевом направлении.

Описанный выше метод реализован новым устройством, в котором камера сильфона закрыта крышкой, выполненной в виде торообразной герметичной нерастяжимой оболочки, соединенной с механизмом управления траекторией криволинейного перемещения. Теоретические и экспериментальные исследования нового привода с комбинированным методом управления подтверждают его работоспособность и эффективность за счет существенного расширения рабочей зоны.

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. Баклушина И.В., Щеглеев И.А. Об опыте применения сильфонных компенсаторов // Строительство: новые технологии – новое оборудование. 2017. № 2. С. 48–51.
3. Васин В.А. Привод криволинейного перемещения с кольцевым сильфоном // Патент РФ № 23492. Патентообладатель Васин В.А. 2002. Бюл. № 17.
4. Endoscope – Google Patents U.S. Pat. No. 5, 203,380. [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/US5520222?q=%D0%BF%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%82+US+5203380> (дата обращения: 23.05.2022).
5. Flexible tubular guide – Google Patents FR Patent 2713492A1/en [Электронный ресурс]. URL: <https://patents.google.com/patent/FR2713492A1/en> (дата обращения: 23.05.2022).
6. Сысоев С.Н., Сурков А.В. Способ работы сильфонного привода криволинейного перемещения // Патент РФ № 2765865. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (RU) 2022. Бюл. № 4.