

УДК 62-851.8

**ВАКУУМНЫЕ ПРИВОДЫ КРИВОЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ****Сысоев С.Н., Овчинников В.А., Цаплин Р.О.***ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», Владимир, e-mail: r.tsaplin@gmail.com*

Настоящая статья посвящена разработке приводов криволинейного перемещения, пневмомеханический преобразователь которых содержит герметичную упругую камеру, выполненную с возможностью соединения с пневмолинией питания давления разрежения. Анализом конструкций, принципов, методов и способов работы вакуумных камерных приводов, использующих упругие свойства оболочки для реализации криволинейного перемещения, выявлены недостатки, связанные с их функциональными возможностями. В современных приводах данного типа перемещение осуществляется только в одном, конструктивно заданном радиальном направлении, что ограничивает область их применения. Предложены идея и новые устройства для их реализации, в которых направление криволинейного перемещения задается внешними условиями функционирования привода, например при коррекции положения сопрягаемых осесимметричных деталей. Макетированием, исследованием приводов подтверждена их работоспособность. Материал камеры резина ИРП – 1266; толщина 1 мм; диаметр камеры 80 мм. Предложены варианты конструктивного исполнения оболочки камер с использованием диафрагм, сильфона и их комбинаций. Натурными параметрическими исследованиями выявлено, что наиболее высокими силовыми характеристиками обладает приводной механизм с применением сильфона. Выявлен существенный недостаток данных приводов криволинейного перемещения, который заключается в их высокой чувствительности к боковому силовому воздействию на рабочий орган, что негативно влияет на сохранение заданного направления перемещения. Предложена идея разработки вакуумного сильфонного привода с ограничением отклонения рабочего органа от заданного радиального направления. Создано устройство, реализующее данную идею, в котором в камере сильфона на заглушке установлены радиальные направляющие, выполненные с возможностью силового взаимодействия с подвижным рабочим элементом, выполненным в виде стержня. Макетированием, проведением параметрических исследований не только подтверждено устранение данного недостатка, но и доказано увеличение более чем в два раза создаваемых усилий при сохранении массогабаритных параметров привода.

**Ключевые слова:** вакуумные приводы, криволинейное перемещение, камера, оболочка, упругость, сильфон**VACUUM ACTUATORS OF CURVILINEAR MOTION****Sysyoev S.N., Ovchinnikov V.A., Tsaplin R.O.***Alexander Grigorievych and Nikolay Grigorievich Stoletov Vladimir State University, Vladimir, e-mail: r.tsaplin@gmail.com*

This article concentrates on development of the curvilinear motion actuators with pneumatic mechanical converter which contains a sealed elastic chamber with enabling connection to discharge pressure air supply line. Functionality weaknesses were identified while analyzing designs, principles, procedures and operation modes of vacuum chamber actuators using elastic properties of a shell for curvilinear movement. In modern actuators of this type the movement is limited by structurally defined radial direction, which limits the scope of their application. The idea and new devices for its implementation are proposed. Direction of curvilinear motion is predetermined by external operating conditions of the actuator, for example, when correcting the position of the mating axisymmetric parts. Prototyping, actuators research confirmed their performance. Chamber material is rubber IRP – 1266; thickness 1 mm; inside diameter 80 mm. Design options of chamber shells with use of diaphragms, bellows and their combinations are proposed. Full-scale parametric studies revealed that an actuating mechanism with a bellows has the highest power characteristics. The following significant shortcoming of particular curvilinear motion actuators was identified. High sensitivity to the lateral power action on the working body negatively affects a keeping of motion direction. The idea of developing a vacuum bellows actuator with limited deviation of the working body from a given radial direction is proposed. A device implementing this idea has been created, in which radial guides are installed on the bellows chamber plug, enabling force interaction with a rod form slide assembly. Prototyping, parametric studies not only eliminated this shortcoming, but also proved that the created forces more that doubled while maintaining weight-size parameters of the actuator.

**Keywords:** vacuum actuator, curvilinear motion, chamber, shell, elasticity, bellows

В современном машиностроении и приборостроении широко применяются приводные механизмы криволинейного перемещения, которые используются в качестве силовых приводов, а также информационных и управляющих устройств гидро- и пневмоавтоматики. Одним из известных и распространенных механизмов криволинейного перемещения является пневмомеханический преобразователь, изобретенный

Эженом Бурдоном [1] («трубка Бурдона»), в котором используются упругие свойства камеры-трубки для получения криволинейных перемещений под воздействием давления рабочей среды. Конструкции, способы и принципы работы данных механизмов постоянно совершенствуются.

Применение новых инновационных материалов [2] при изготовлении трубчатых устройств позволяет им работать в сте-

рильных условиях со средами практически любой агрессивности на химических и фармацевтических предприятиях. Выполнение трубок с применением сетчатых оболочек [3] расширяет их функциональные возможности, обеспечивая формирование требуемой траектории криволинейного перемещения.

Разработка диафрагменных, сильфонных типов упругих пневмомеханических преобразователей [4] позволила совершенствовать принципы их работы. Так, например, в сильфонном преобразователе [5] реализация криволинейного перемещения осуществляется с использованием упругой деформации гофров, которые изготавливаются неосесимметричными.

Однако во всех этих устройствах криволинейное перемещение осуществляется только по одной радиальной траектории, определяемой заранее заданными упругими характеристиками применяемой оболочки, что ограничивает область их применения и не позволяет их применять в устройствах, в которых требуется её адаптация к изменяющимся условиям функционирования.

Разработан новый привод криволинейного перемещения с расширенной областью применения, в котором радиальное направление траектории задается в процессе функционирования [6]. Для реализации указанного процесса предложено шарнирное соединение стержней охватывать оболочкой, образующей герметичную камеру, выполненную с возможностью соединения с источником пневмопитания. В исходном положении стержни и камера занимают симметричное относительно оси положение. Направление криволинейного перемещения задается первоначальным перекосом взаимного расположения стержней. При соединении камеры с линией питания разреженного воздуха оболочка сжимается, создавая крутящий момент поворота стержней.

Макетирование, проведение натурных экспериментов подтвердили работоспособность данных устройств. Однако отсутствие параметрических исследований, сравнительного анализа не позволяет судить об их эффективности.

Цель исследования: повышение эффективности работы пневматических приводов путем разработки и исследования новых пневмомеханических преобразователей с адаптацией направления криволинейного перемещения.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования является эффективность функционирования пневматических приводов. В качестве предмета

исследования приняты вакуумные приводы криволинейного перемещения.

Для реализации поставленной цели проведены натурные параметрические исследования вакуумных приводных механизмов с вариантами исполнения камеры (рис. 1), образованной:

а) двумя диафрагмами, соединенными по периметру между собой (рис. 1, а);

б) двумя диафрагмами, соединенными между собой через гофрированную цилиндрическую часть (рис. 1, а);

в) сильфоном с закрытыми торцевыми поверхностями заглушками (рис. 1, в).

Материал камеры резина ИРП – 1266; толщина 1 мм; диаметр камеры 80 мм.

Проведенные натурные исследования подтвердили работоспособность приводов криволинейного перемещения с диафрагменным и сильфонным исполнениями камер. Характер силового усилия диафрагменным и сильфонно-диафрагменным приводами на рабочий орган в зависимости от величины давления пневмопитания показан на рис. 2.

Графики показывают, что исполнение диафрагменной камеры с гофрами позволяет повысить крутящий момент привода.

На рис. 3 показан характер силовых характеристик сильфонного привода криволинейного перемещения.

Графики показывают, что сильфонный приводной механизм по сравнению с диафрагменным при тех же самых габаритных параметрах обладает более высокими силовыми характеристиками.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Исследования показали, что приводные механизмы криволинейного движения, в которых используются диафрагмы, обладают низкими силовыми характеристиками. Это объясняется тем, что с повышением давления разрежения воздуха в камере поверхности оболочки соединяются, начиная с периферийной части, и уменьшается её эффективная площадь. Кроме этого, выявлен существенный недостаток данных приводов криволинейного перемещения, который заключается в их высокой чувствительности к боковому силовому воздействию на рабочий орган, что негативно влияет на обеспечение сохранения заданного направления перемещения.

Для устранения выявленных недостатков предложена идея повышения силовых характеристик путем разработки вакуумного сильфонного привода с ограничением отклонения рабочего органа от заданного направления криволинейной траектории.

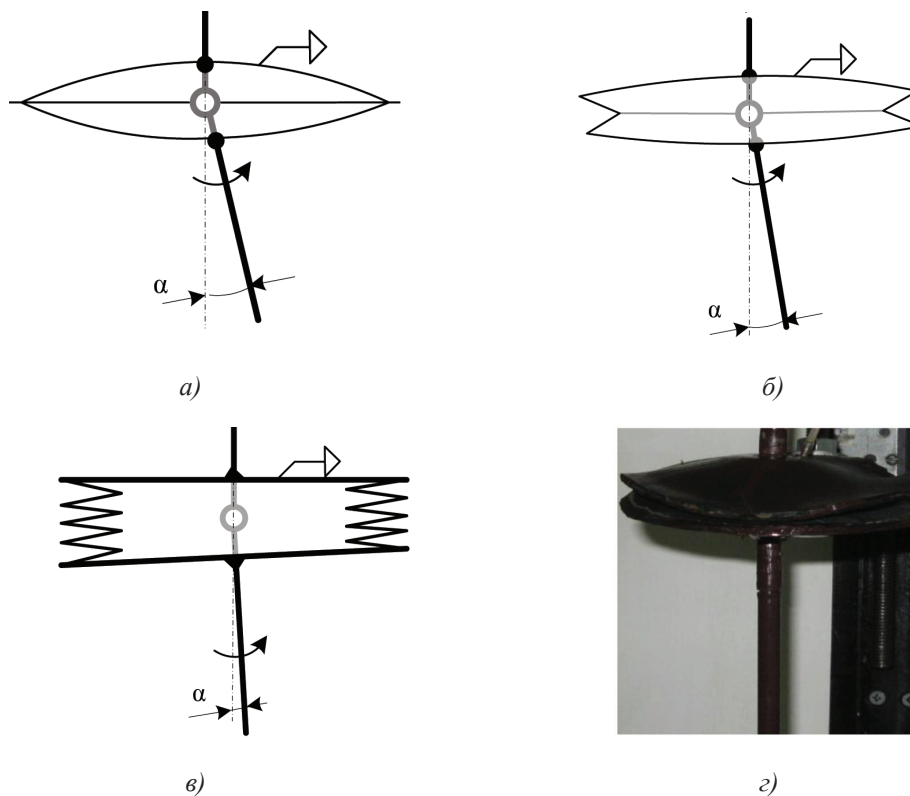


Рис. 1. Вакуумные приводные механизмы криволинейного перемещения: а), б), в) соответственно схемы диафрагменного, сильфонно-диафрагменного, сильфонного механизмов; г) общий вид сильфонно-диафрагменного привода

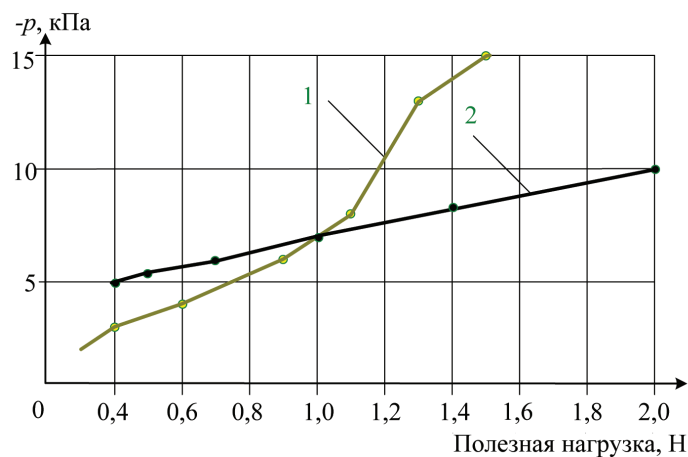


Рис. 2. Графики момента начала поворота стержня вакуумных диафрагменных приводных механизмов: 1 – диафрагменного; 2 – сильфонно-диафрагменного

Данная идея реализована в устройстве, показанном на рис. 4.

В приводе криволинейного перемещения (рис. 4, а) одна торцевая поверхность сильфона 1 закрыта первой заглушкой 2, в которой закреплен подпружиненный в среднем положении стержень 3. Часть 4 стержня, расположенная внутри сильфона, выпол-

нена в телескопическом исполнении и подпружинена в сторону выдвижения. Другая торцевая поверхность сильфона закрыта второй заглушкой 5. Поверхность второй заглушки внутри сильфона выполнена в виде бобышки 6, на которой установлены радиальные направляющие 7. Сильфон и заглушки образуют герметичную полость А,

выполненную с возможностью соединения через распределитель 8 с линией питания разряжения воздуха.

В исходном положении полость А соединена через распределитель с атмосферой.

Перед началом работы поворачивают стержень 3, перекашивая его положение относительно заглушки 2, задавая тем самым направление требуемого криволинейного

перемещения. Создание давления разрежения в полости А приводит к сжатию и перекосу сильфона и повороту стержня в заданном направлении. Изменению траектории заданного криволинейного перемещения от влияния возможных боковых силовых воздействий противодействуют радиальные направляющие 7, по которым перемещается часть 4 стержня 3.

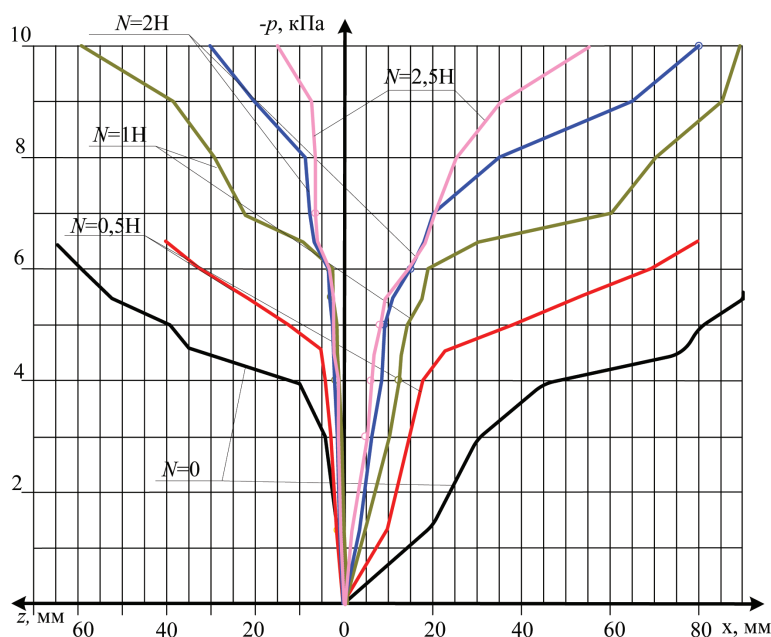


Рис. 3. Графики перемещения рабочего органа привода, выполненного с двумя шарнирно соединенными между собой стержнями:  $Z$ ,  $x$  – положение стержня соответственно по вертикальной и горизонтальной оси;  $p$  – пневмодавление в рабочей камере;  $N$  – полезная нагрузка

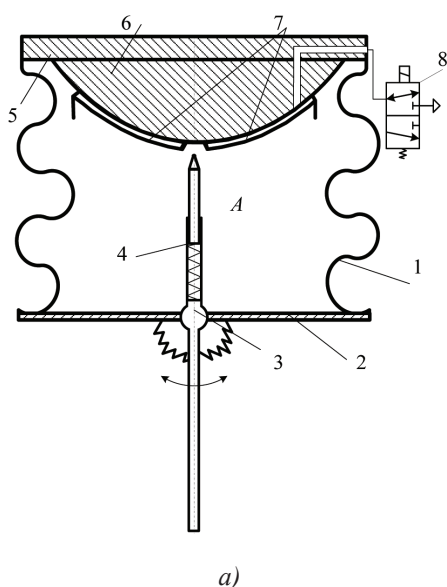


Рис. 4. Вакуумный сильфонный приводной механизм: а) схема устройства; б) общий вид

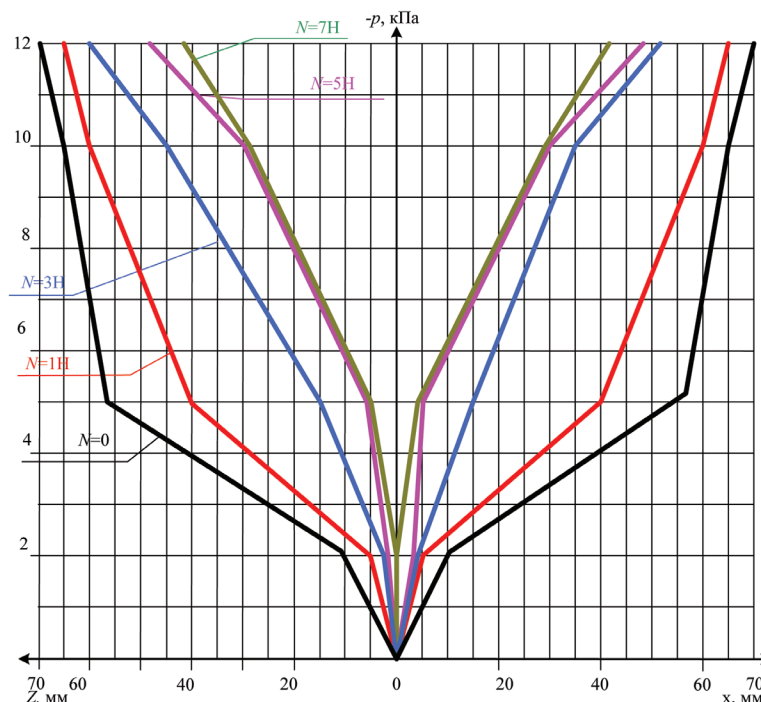


Рис. 5. Графики перемещения рабочего органа в зависимости от давления пневмопитания и величины полезной нагрузки:  $Z, x$  – положение стержня соответственно по вертикальной и горизонтальной оси;  $p$  – пневмодавление в рабочей камере;  $N$  – полезная нагрузка

Характер силового перемещения рабочего органа в зависимости от величины давления пневмопитания показан на рис. 5.

Графики показывают, что исполнение камеры, выполненной в виде сильфона и установленного в нем стержня, взаимодействующего с радиальными направляющими, позволяет повысить силовые характеристики привода. При этом направляющие устраняют возможность изменения заданного радиального направления криволинейного перемещения.

### Заключение

Таким образом, анализом конструкций, принципов, методов и способов работы вакуумных камерных приводов, использующих для реализации криволинейного перемещения упругие свойства оболочки, выявлены недостатки, связанные с их функциональными возможностями. Криволинейное перемещение осуществляется только в одном, конструктивно заданном радиальном направлении, что ограничивает область их применения. Предложены идеи и новые устройства для их реализации, в которых направление криволинейного перемещения задается внешними условиями функционирования привода, например, при коррекции положения сопрягаемых осесимметричных деталей.

Макетированием, проведением натурных исследований разнообразного исполнения камер приводов данного типа установлено, что наиболее эффективным по создаваемым усилиям является вакуумный одностержневой сильфонный привод криволинейного перемещения. Кроме этого, в разработанном новом приводе устранена возможность изменения направления заданной траектории криволинейного перемещения от возможных боковых силовых воздействий.

### 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. Новые разработки // Нефтегазовые технологии. 2009. № 2. С. 104. [Электронный ресурс]. URL: <https://rucont.ru/efd/261932> (дата обращения: 15.12.2019).
3. 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.
4. Александрова А.Т., Васин В.А. Создание идеологии, полных комплексных систем вакуумного оборудования (основанных на устройствах и элементах исключаяющих трение движения и предназначенных для работы в области микро и нанoeлектроники и других высоких технологий) // Системотехника. 2009. № 7. С. 9–14.
5. Васин В.А. Бескорпусной затвор с криволинейной траекторией перемещения // Патент РФ № 2215224. Патентообладатель Васин В.А. 2003. Бюл. № 30.
6. Сысоев С.Н., Литвинов И.С., Гребняков П.М. Захватный корректирующий модуль // Патент РФ № 2657672. Патентообладатель ФГБОУ ВО «ВлГУ». 2018. Бюл. № 17.