УДК 62-851.1

ОДНОМЕМБРАННЫЙ ПРИВОД С ВСТРОЕННОЙ КАМЕРОЙ ОПОРЫ ШТОКА

Сысоев С.Н., Воздуган А.А., Фуртиков С.А.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых (опорный университет), Владимир, e-mail: komrad.furtickow@yandex.ru

Настоящая статья посвящена исследованию пневматических мембранных преобразователей, содержащих мембрану с встроенной в неё опорой штока, выполняющей функцию жесткого центра, широко применяемые в приводах машиностроения в качестве запорно-регулирующей аппаратуры станкостроительной, химической, нефтегазовой и других отраслей. Анализируется влияние параметров опоры штока на механические характеристики привода. Рассмотрены методы работы мембранных приводов. Показана возможность повышения эффективности их функционирования применением метода работы, состоящего в использовании величины эффективной площади мембраны. Предложена идея изменения эффективной площади мембраны в процессе работы привода путем регулирования изгибной жесткости опоры. Разработаны устройства, реализующие данную идею, в которых опора выполнена в виде эластичной оболочки, образующей герметичную камеру, соединенную, например, с пневмолинией избыточного давления или разрежения. Были проведены натурные исследования одномембранного пневматического привода на лабораторном стенде. Исследования подтвердили промышленную применимость и эффективность предложенных идеи и технических решений. В приводе с мембраной, выполненной из резины ИПР-1266, толщиной 1 мм, диаметром 105 мм и камерой диаметром 62 мм, существенно повышается его жесткостная характеристика. Показана возможность в процессе работы привода устранить влияние полезной нагрузки на изменение положения штока путем регулировки эффективной площади мембраны.

Ключевые слова: пневматические мембранные приводы, мембрана, метод изменения эффективной площади, жесткий центр, опора штока, камера, встроенная в мембрану, изгибная жесткость опоры

SINGLE-DIAPHRAGM DRIVE WITH A BUILT-IN CHAMBER OF THE ROD'S SUPPORT

Sysoev S.N., Vozdugan A.A., Furtikov S.A.

Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, e-mail: komrad.furtickow@yandex.ru

The paper studies pneumatic diaphragm transmitters, which diaphragm has an integrated rod's support functioning as a solid center. Such diaphragm transmitters are widely used as shut-off and control valves in machine drives in machine-tool, chemical, oil and gas and other industries. The effect of the support's parameters onto the mechanical performance of the drive is analyzed. Methods of operation of diaphragm actuators have been considered. The possibility of the improvement of their efficiency through the introduction of the working method using the value of the diaphragm's effective area has been demonstrated. The idea of changing the diaphragm's effective area during the drive operation by way of regulating the rod's bending stiffness has been suggested. Special devices implementing this idea have been designed. The rod's support in these devices is designed in form of an elastic cover which produces a sealed chamber that can be connected, for example, with the pneumatic line of the excess pressure or exhaust. Full-scale studies of the single-diaphragm pneumatic drive were performed on a laboratory bench. The studies have confirmed the industrial applicability and the efficiency of the suggested idea and engineering solutions. The drive with a diaphragm made of the IPR1266-rubber having 1mm thickness and 105 mm in diameter demonstrates major improvements of its stiffness properties. The possibility of removing the impact of the workload onto the rod's position change through the regulation of the diaphragms' effective area during the drive operation has been demonstrated.

Keywords: pneumatic diaphragm actuator, membrane, method of changing of the effective area, solid center, rod's support, diaphragm-inbuilt chamber, rod's bending stiffness

Мембранные приводные механизмы занимают должную нишу в клапанном агрегатостроении и широко применяются в машиностроении в качестве силовых приводов, а также устройств управления в пневмо- и гидроавтоматике.

Большинство современных научных работ по совершенствованию арматуры такого рода ведутся в направлении расширения области применения путем, например, создания новых материалов [1], что позволяет устройствам работать в стерильных условиях со средами практически любой агрессивности на химических и фармацевтических предприятиях, а также разработкой новых конструктивных технических решений [2], улучшающих динамику, прочностные параметры, надежности машин и приборов.

Анализ причин, сдерживающих повышение технического уровня, функциональных возможностей и динамического качества мембранных приводов, показал, что в данных работах ведутся исследования механизмов, использующих традиционный метод их функционирования. Энергией давления в рабочей камере изгибают мембрану,

выполненную из герметичного эластичного материала, перемещая шток в требуемое положение. Силовое воздействие на шток от давления рабочей среды повышают встраиванием в мембрану жесткого центра, выполняющим функцию негнущейся опоры штока, увеличивая эффективную площадь мембраны. При этом не используется возможность регулирования силового воздействия на шток изменением эффективной площади мембраны, что существенно ограничивает возможность качественного повышения эффективности работы мембранных приводов.

Использование влияния величины эффективной площади мембраны на функционирование привода и ранее рассматривалось в данном контексте в отечественных и зарубежных работах. Например, в работе [3] приведена теория и методология расчета, учитывающая пять зон различных эффективных площадей мембраны, возникающих в результате деформации полота. Изменение эффективной площади мембраны также реализуют путем применения мембраны, обладающей упругими свойствами, изменяющимися при воздействии на нее такого перепада давлений, величина которого создает напряжение в материале мембраны, превышающее предел упругости [4].

Однако в данных устройствах отсутствует возможность регулировки, управления эффективной площадью мембраны в процессе их работы.

Применение метода работы [5] мембранных приводов, основанного на использовании изменения эффективной площади мембраны, расширяет их функциональные возможности и повышает технические характеристики. Однако в данных механизмах не полностью используются возможности метода, так как отсутствует управление эффективной площадью мембраны в процессе работы привода.

Цель исследования: повысить эффективность работы мембранного привода путем разработки и исследования устройства с регулируемой эффективной площадью мембраны.

Материалы и методы исследования

Для реализации поставленной цели предложена идея управления эффективной площадью мембраны в процессе работы привода путем регулирования изгибной жесткости опоры. Данная идея реализована устройствами с гнущейся опорой штока, встроенной в мембрану. Причем опора выполнена с возможностью регулировки её изгибной жесткости. В мембрану встроена герметичная камера в виде эластичной оболочки (рис. 1), полость которой соединена с источником энергопитания.

Мембранный привод (рис. 1, а) состоит из корпуса 1, мембраны 2, ограничивающей рабочую камеру А привода. В мембране вмонтирована камера в виде эластичной герметичной оболочки 3, выполняющая функцию опоры штока 4, образующая герметичную полость *М*, которая соединена с пневмолинией энергопитания.

В исходном положении (рис. 1, а), когда в камерах *А* и *М* атмосферное давление воздуха, жесткий центр обладает изгибной жесткостью, приближающейся к жесткости мембраны. Повышение давления воздуха в камере *М* (рис. 1, б) уменьшает её изгибную податливость, увеличивая эффективную площадь мембраны. В ситуации, когда давление в рабочей камере атмосферное, а в камере *М* создают избыточное давление воздуха, шток не перемещается, так как эффективные площади камеры в мембране выполнены одинаковыми и оболочка прогибается симметрично в двух направлениях по оси штока.

Полезная нагрузка *N* существенно влияет на ход штока при незначительной изгибной жесткости его опоры (рис. 1, в). Созданием избыточного пневмодавления в камере опоры (рис. 1, г) штока повышают её изгибную жесткость, эффективную площадь мембраны и соответственно величину силового воздействия на шток от давления в рабочей камере привода, что уменьшает зависимость хода штока от полезной нагрузки. Общий вид мембраны с камерой, встроенной в неё, показан на рис. 1, д.

Исследования влияния эффективной площади мембраны на механические характеристики привода проводились на лабораторном стенде (рис. 2).

В корпусе 1 (рис. 2, б) закреплена мембрана 2 с встроенной в неё камерой 3 опоры штока 4, выполненной с возможностью соединения с давлением питания $p_м$. Рабочая камера А соединена через регулятор давления 5 с источником пневмопитания. На штоке установлен датчик 6 его положения, а на корпусе датчик давления 7 в рабочей камере *А*. Информация с датчиков поступает через АЦП 8 на ЭВМ 9. На штоке закреплен обводной элемент 10, на котором по оси штока закреплен нерастяжимый трос 11, соединенный через ролик 12 с грузом 13, выполняющим функцию полезной нагрузки, воздействующей на привод.

Исследована зависимость величины хода штока от величины полезной нагрузки при изменении эффективной площади мембраны путем регулировки изгибной жесткости опоры штока величиной давления воздуха в камере, встроенной в мембрану.

Материал мембраны резина ИРП – 1266; толщина мембраны 0,5 мм; диаметр мембраны 105 мм; диаметр штока 8 мм; диаметр камеры опоры 62 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Пример характера зависимости величины хода *x* штока от давления $p_а$ в рабочей камере привода и камере опоры мембраны $p_м$ при полезной нагрузке 5Н на штоке приведен на рис. 3.

Графики показывают, что увеличение давления воздуха $p_А$ в рабочей камере приводит к незначительному перемещению штока при отсутствии манометрического давления $p_м$ в камере мембраны. Создание давления в камере опоры штока приводит к увеличению его хода при заданном давлении в рабочей камере привода и величине полезной нагрузки.

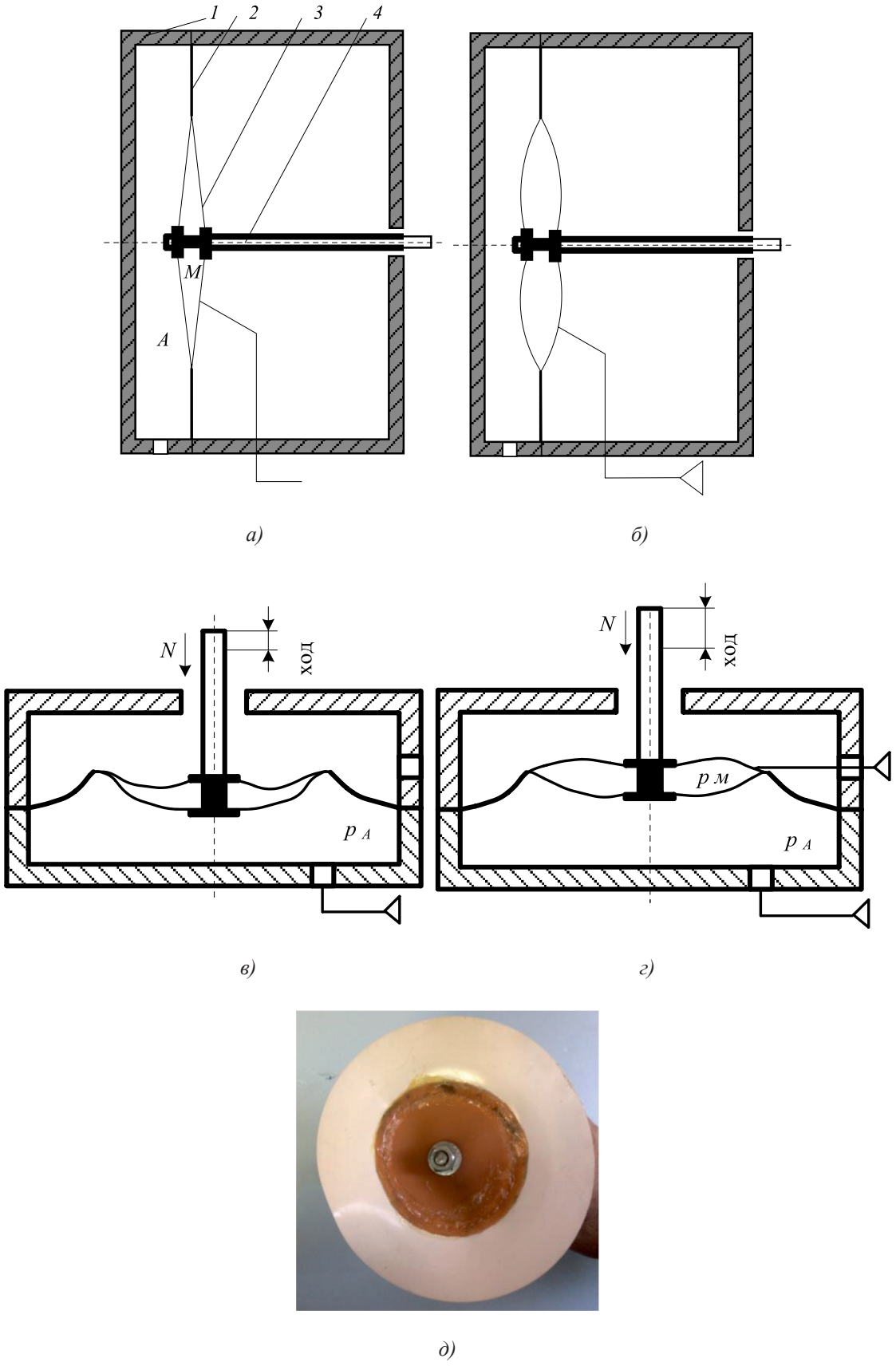
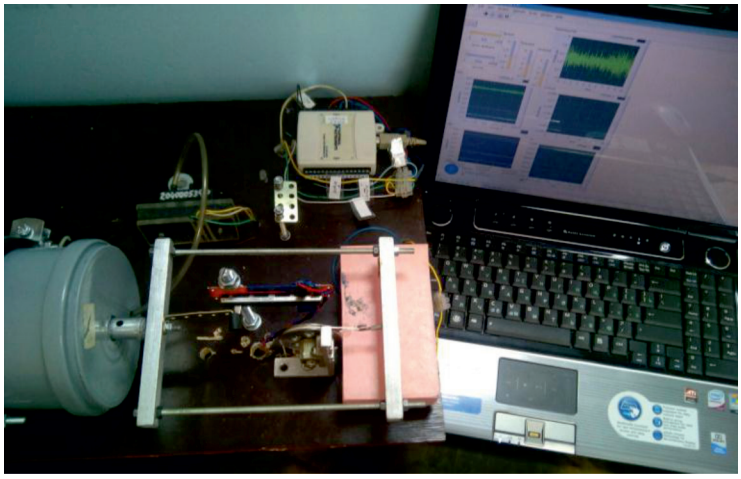
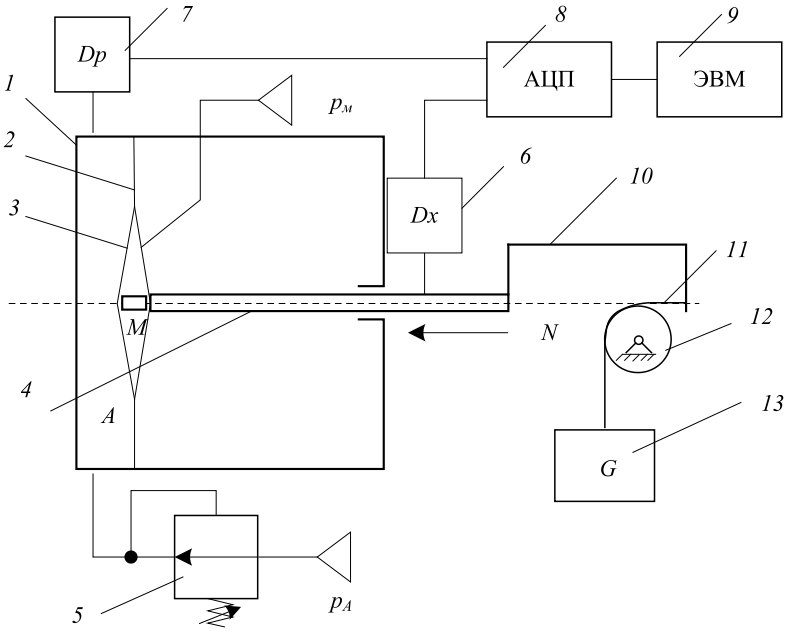


Рис. 1. Схемы работы привода: а), б) и в), г) соответственно работа привода без полезной нагрузки на шток и с ней; д) общий вид мембраны с камерой опоры штока



а)



б)

Рис. 2. Лабораторный стенд для исследования параметров одномембранного привода: а) общий вид; б) схема стенда

Пример исследования влияния давления в камере опоры штока на зависимость его хода от величины полезной нагрузки, создаваемой на шток привода, для давления 0,025 МПа в рабочей камере показан на рис. 4.

Графики показывают, что создание давления в камере мембраны приводит к увеличению изгибной жесткости опоры, повышая механическую жесткостную характеристику привода хода штока от полезной нагрузки.

Это позволяет, например (рис. 5), обеспечить неизменное положение штока при постоянном давлении в рабочей камере 25 кПа в условии изменения величины полезной нагрузки до 20 Н.

Графики показывают, что при традиционном способе работы привода с постоянной величиной эффективной площадью мембраны полезная нагрузка существенно влияет на ход подвижного рабочего органа. В приводе с дополнительной камерой опоры штока существенно снижается зависимость хода штока от величины полезной нагрузки. Причем, чем больше давление в камере опоры, чем меньше данная зависимость.

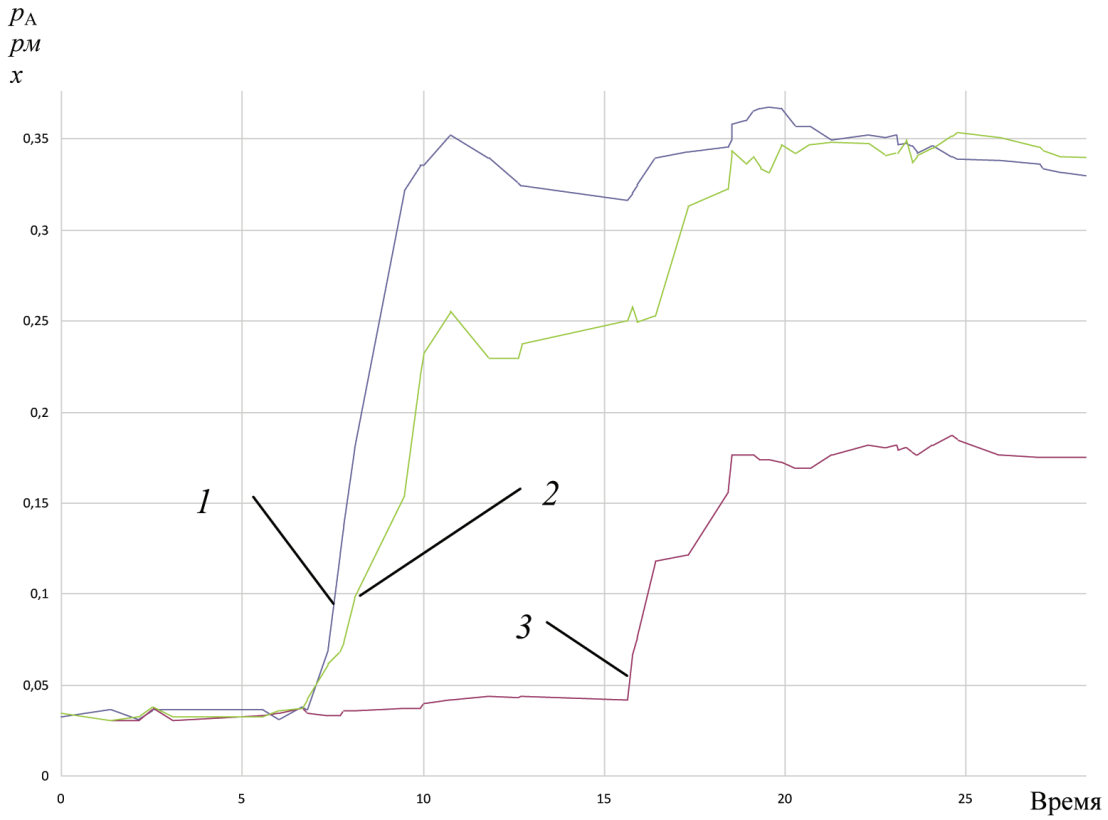


Рис. 3. Осциллограмма работы привода: 1 – давление воздуха p_A в рабочей камере; 2 – положение x штока; 3 – давление $p_м$ в камере мембраны

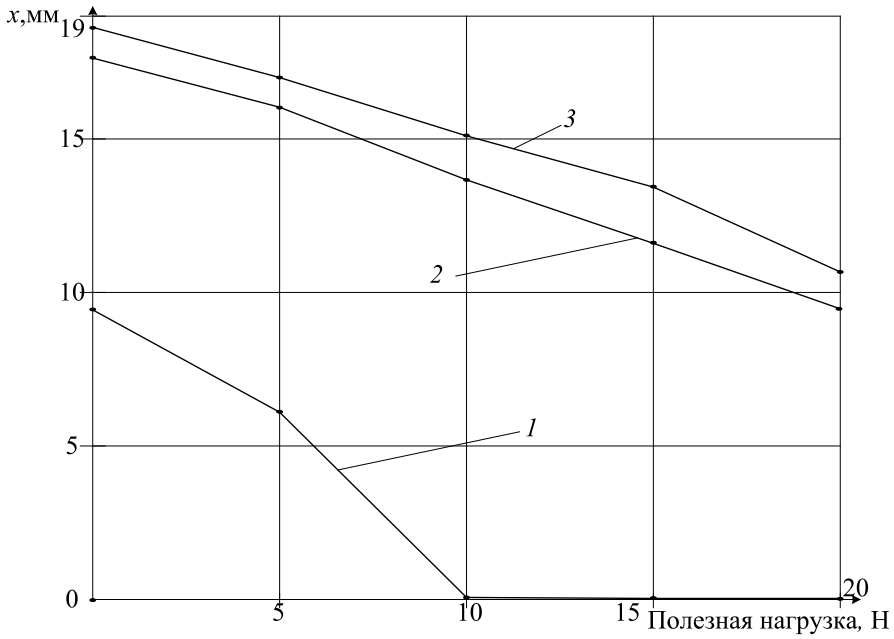


Рис. 4. Графики влияния давления в камере опоры штока на зависимость его хода от величины нагрузки, где 1, 2, 3 – соответственно давление в камере 0 кПа, 25 кПа и 30 кПа

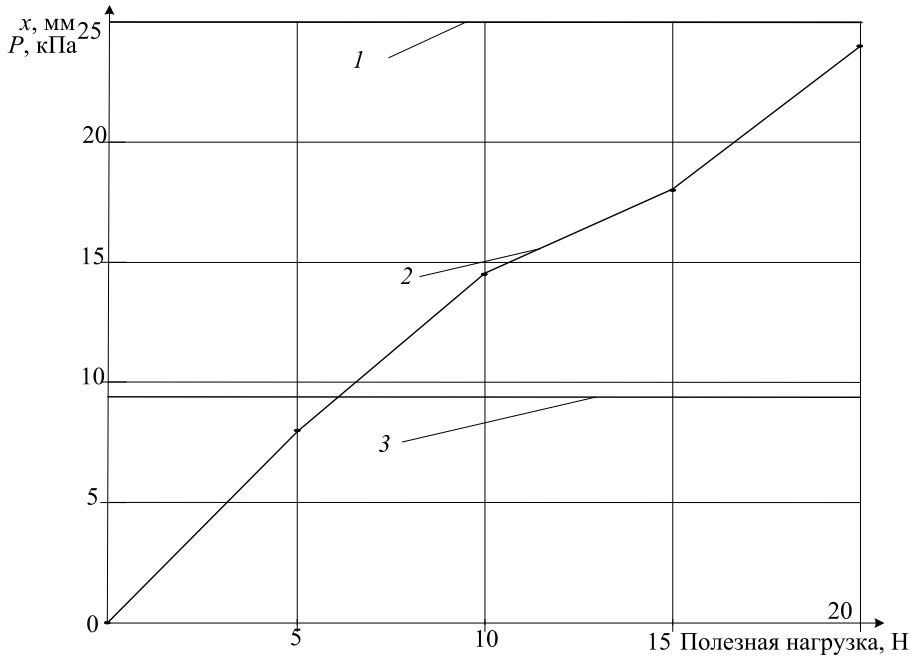


Рис. 5. Графики зависимости хода штока от величины полезной нагрузки, где 1, 2 – соответственно давления в рабочей камере привода и камере опоры; 3 – положение штока

Это позволяет, регулируя величину давления в камере опоры штока в зависимости от величины полезной нагрузки, обеспечить постоянное положение штока при заданном давлении в рабочей камере привода и изменении величины полезной нагрузки на привод.

Заключение

Таким образом, предложенная идея и устройство для её реализации, где в мембрану встроена дополнительная камера, выполняющая функцию опоры штока с регулировкой её изгибной жесткости в процессе работы привода, не только расширяет функциональные возможности мембранных приводов, но и значительно улучшает их технические характеристики.

Список литературы

1. Jones Steve. The Future of Valves and Diaphragms Supply. BioPharm International, May 1, 2013, pp. 32–33.

2. Лаврусь О.Е. Беспружинная пневмоаппаратура с уплотнительными затворами различной физической природы: автореф. дис. … д-ра техн. наук (01.02.06) / Лаврусь Ольга Евгеньевна; Самарский государственный университет путей сообщения. – Орёл, 2011. – 36 с.

3. Рыбак А.Т. Теория и методология расчета и проектирования систем приводов технологических машин и агрегатов АПК: автореф. дис. … д-ра техн. наук (05.02.02) / Рыбак Александр Тимофеевич; Донской государственный технический университет. – Ростов-на Дону, 2011. – С. 12–13.

4. А.с. 26959I СССР. МКИ³ F15C 5/00, G06d 1/02 Способ регулировки эффективной площади мембран в устройствах пневмо-и гидроавтоматики / Л.А. Балховитин, В.М. Зорин, А.Д. Сосновский; опубл. 01.01. 1970, № 15.

5. Сысоев С.Н. Метод управления приводом / С.Н. Сысоев, А.А. Воздуган // Вестник машиностроения. – 2017. – № 5. – С. 35–37.

6. Сысоев С.Н. Одномембранный привод с переменной эффективной площадью / С.Н. Сысоев, А.А. Воздуган // Международный научно-исследовательский журнал «International Research Journal». – 2016. – № 4 (46), часть 2. – С. 194–196.