

УДК 62-851.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМЕМБРАННОГО ПРИВОДА С ОГРАНИЧИТЕЛЕМ ИЗГИБНОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕМБРАНЫ

Сысоев С.Н., Воздуган А.А., Тестов Д.М.

*ВЛГУ «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых»  
(опорный университет), Владимир, e-mail: kegor@inbox.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию влияния полезной нагрузки на величину хода рабочего органа в пневмомеханических мембранных преобразователях, широко применяемых в запорно-регулирующей гидравлической и пневматической аппаратуре. В современных устройствах силу и перемещение задают только величиной давления рабочей среды, в которых главными недостатками являются низкие точностные характеристики, жесткость привода от полезной нагрузки. Анализируется возможность повышения эффективности их функционирования с использованием метода изменения величины эффективной площади мембраны в процессе их работы. Данный метод работы мембранных преобразователей не только расширяет функциональные возможности, но и значительно улучшает их технические характеристики. Были проведены исследования одномембранного привода с установленным на подвижном рабочем органе ограничителем изгибной деформации мембраны, которые выявили значительное повышение жесткостной характеристики привода, за счет изменения эффективной площади мембраны в зависимости от величины полезной нагрузки. Приведена методика определения эффективной площади мембраны. Результаты натурных исследований, проведенных в лаборатории студенческого конструкторского бюро «Поиск» Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, раскрывают потенциальные возможности повышения эффективности работы известных и широко используемых в технологических производствах мембранных приводов.

**Ключевые слова:** пневмомеханические мембранные преобразователи, мембрана, метод изменения эффективной площади, ограничитель изгибной деформации

## RESEARCH OF SINGLE-MEMBRANE ACTUATOR WITH RESTRICTOR OF MEMBRANE FLEXURAL DEFORMATION

Sysoev S.N., Vozdugan A.A., Testov D.M.

*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir,  
e-mail: kegor@inbox.ru*

The article describes research of influence of workload on actuator stroke value on pneumatic-mechanical membranous conversion devices which uses on pneumatic and hydraulic locking equipment. In modern devices force and movement are set up by pressure value of operating environment only. Low accuracy characteristics and actuator stiffness off workload are the main demerits of modern devices this type. Possibility of efficiency increase of devices functioning by membrane effective area changing method during working process is analyzed. This method increases functional capabilities and improves technical characteristics of devices which are describes. Research of single-membrane actuator with restrictor of membrane flexural deformation which is installed on moving actuator stroke is presented. The result of the research is increasing of actuator stiffness by membrane effective area changing depending on workload value. Membrane effective area definition technique is given. The results of field studies of Vladimir State University Development laboratory are present potentialities of membrane actuators work efficiency increasing.

**Keywords:** pneumatic-mechanical membranous conversion devices, membrane, membrane effective area changing method, restrictor of membrane flexural deformation

Мембранные приводы широко используются в устройствах для механизации и автоматизации трубопроводной, запорной, регулирующей, запорно-регулирующей аппаратуры, применяющейся во многих отраслях промышленности, технологических системах, включая производства, работающие в специфических условиях воздействия агрессивных сред [1].

Мембранные устройства [2, с. 686, 3], а также торообразные, торовые [4] относятся к механизмам камерного, оболочкового типа, где энергией давления в камере создают силовое воздействие на гибкий элемент, перемещая в требуемое положение закрепленный на нем подвижный рабочий ор-

ган. При этом метод их функционирования основан на том, что силовое воздействие на гибкий элемент определяется произведением величины давления на эффективную площадь гибкого элемента, которая не изменяется в процессе работы.

Применение нового метода работы данных устройств [5], основанного на использовании эффективной площади гибкого элемента для регулировки силового воздействия на подвижный рабочий орган от давления рабочей среды, расширяет функциональные возможности и повышает их технические характеристики.

В одномембранных и двухмембранных устройствах, реализующих данный метод

работы, на штоке установлен ограничитель изгибной деформации мембраны, выполненный в виде плоского упора, который, взаимодействуя с ней при определенном давлении рабочей среды в камере, увеличивает эффективную площадь мембраны, выполняя функцию дополнительной опоры на шток.

Исследования [6] показали расширение функциональных возможностей мембранных приводов путем обеспечения увеличения усилия на штоке в конце его прямого хода от величины давления рабочей среды и уменьшения усилия на штоке при обратном его ходе за счет изменения эффективной площади мембраны без изменения габаритных размеров устройства.

Одним из недостатков современных пневматических приводов является суще-

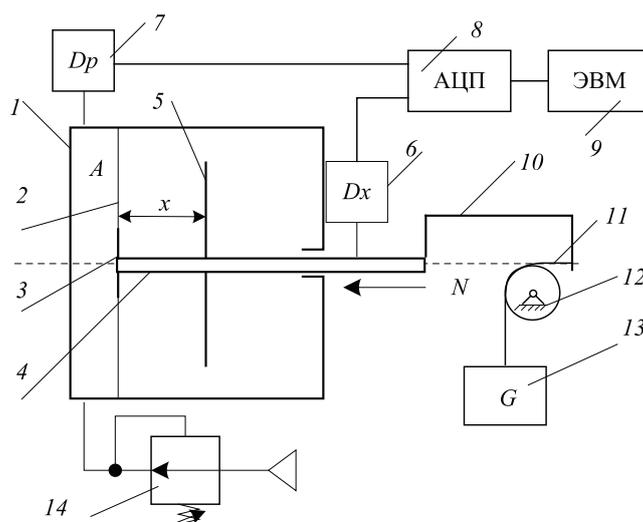
ственная зависимость величины хода подвижного рабочего органа от полезной нагрузки. В мембранных приводах данную зависимость снижают применением мембраны с жестким центром, увеличивающим её эффективную площадь, а соответственно, и силовое воздействие на шток, создаваемое давлением рабочей среды. Однако уменьшение соотношения размеров жесткого центра к мембране уменьшает величину хода штока.

### Цель исследования

Установить влияние полезной нагрузки на величину хода штока в пневматическом приводе с ограничителем изгибной деформации мембраны и подтвердить эффективность использования изменения в процессе работы эффективной площадью мембраны.



а)



б)

Рис. 1. Лабораторный стенд для исследования параметров одномембранного привода: а) вид общий; б) схема стенда

### Материалы и методы исследования

Для исследования влияния эффективной площади мембраны на механические характеристики привода нами разработан лабораторный стенд (рис. 1).

Лабораторный стенд состоит из корпуса 1 (рис. 1, б), в котором закреплена мембрана 2 с жестким центром 3, соединенным со штоком 4. Рабочая камера А соединена с датчиком давления 6 и через регулятор давления 14 с источником пневмопитания. На штоке с возможностью регулировки положения  $x$  установлена пластина 5, датчик 6 его перемещения, а также 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 неразрывный трос 11, соединенный через ролик 12 с грузом 13.

Материал мембраны резина ИРП – 1266; толщина мембраны 1 мм; диаметр мембраны 105 мм, диаметр штока 8 мм.

### Результаты исследования и их обсуждение

Исследована зависимость величины хода штока от размера жесткого центра относительно мембраны для разных величин давления в рабочей камере и полезной нагрузки.

Пример результатов исследований приведен на рис. 2.

Графики показывают существенное влияние величины соотношения размеров жесткого центра и мембраны, на характер изменения хода штока.

Величина хода штока снижается, несмотря на увеличение силового воздействия на него давления в рабочей камере. Это связано с тем, что при увеличении относительного размера жесткого центра уменьшается размер деформируемой части мембраны.

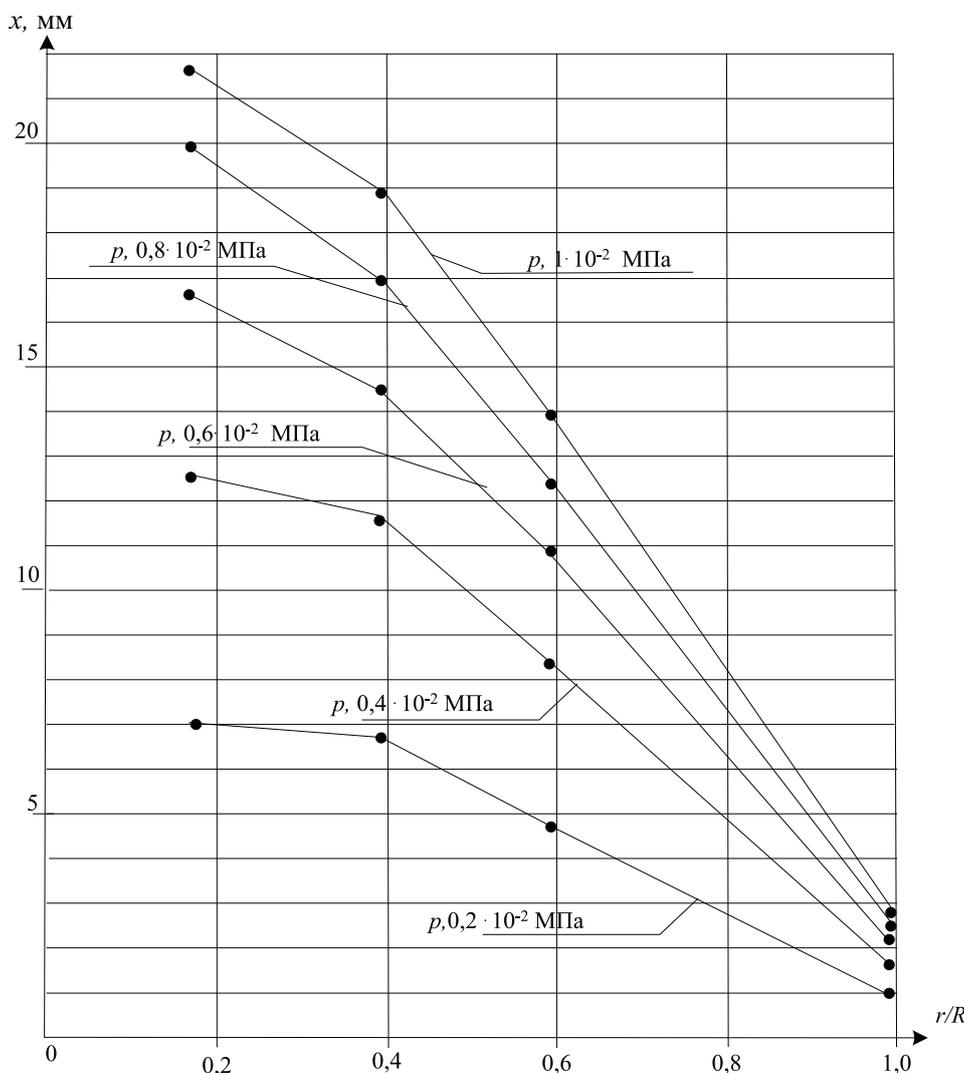


Рис. 2. Графики зависимости перемещения штока от соотношения радиуса  $r$  жесткого центра к радиусу  $R$  мембраны при полезной нагрузке  $N = 5$  Н

Применение ограничителя мембраны, не встроенного в нее, позволяет оптимизировать размер деформируемой части мембраны в зависимости от полезной нагрузки на привод. В отсутствие полезной нагрузки на привод при давлении  $p$  в рабочей камере А (рис. 3, а) ограничитель изгибной деформации не взаимодействует с ней, а при создании полезной нагрузки (рис. 3, б) взаимодействует, увеличивая ее эффективную площадь.

С целью визуализации пятна контакта ограничитель был выполнен прозрачным (рис. 4). Без внешнего силового воздействия (рис. 4, а) на подвижный рабочий орган ограничитель не контактирует с поверхностью мембраны, а воздействие полезной нагрузки приводит к возникновению пятна контакта ограничителя с поверхностью

мембраны. Чем больше величина полезной нагрузки, тем больше пятно контакта.

Исследована зависимость величины хода штока от полезной нагрузки на привод для разных величин давления в рабочей камере и полезной нагрузки. Ограничитель устанавливался вплотную к мембране.

Силовое воздействие  $F$  от давления  $p$  в рабочей камере определялось с учетом эффективной площади  $S_{эфф}$  мембраны, зависящей от пятна её контакта с ограничителем.

$$F = p \cdot S_{эфф} = p\pi \frac{1}{3} (R^2 + r_{усл}^2 + Rr_{усл}),$$

где  $R$  – радиус мембраны;  $r_{усл}$  – условный радиус пятна контакта мембраны с ограничителем.

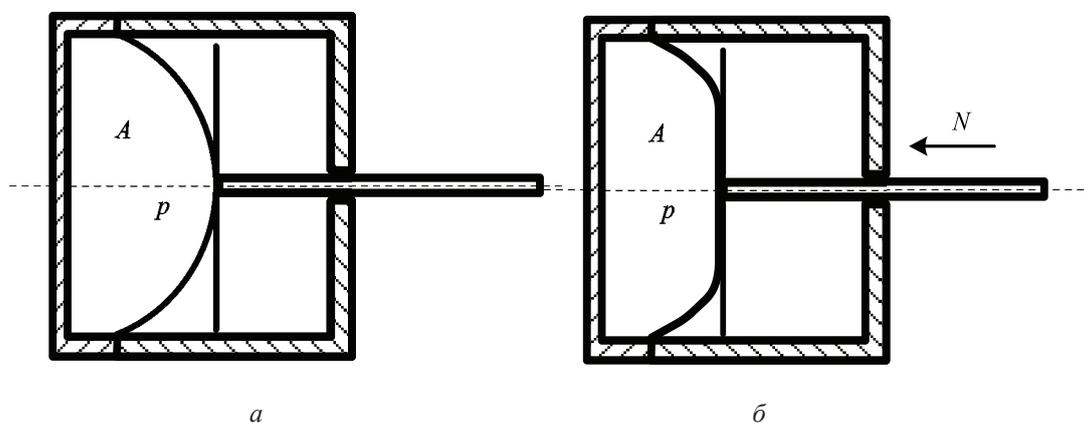


Рис. 3. Схемы изгибной деформации мембраны при работе привода: а) без воздействия полезной нагрузки; б) с полезной нагрузкой

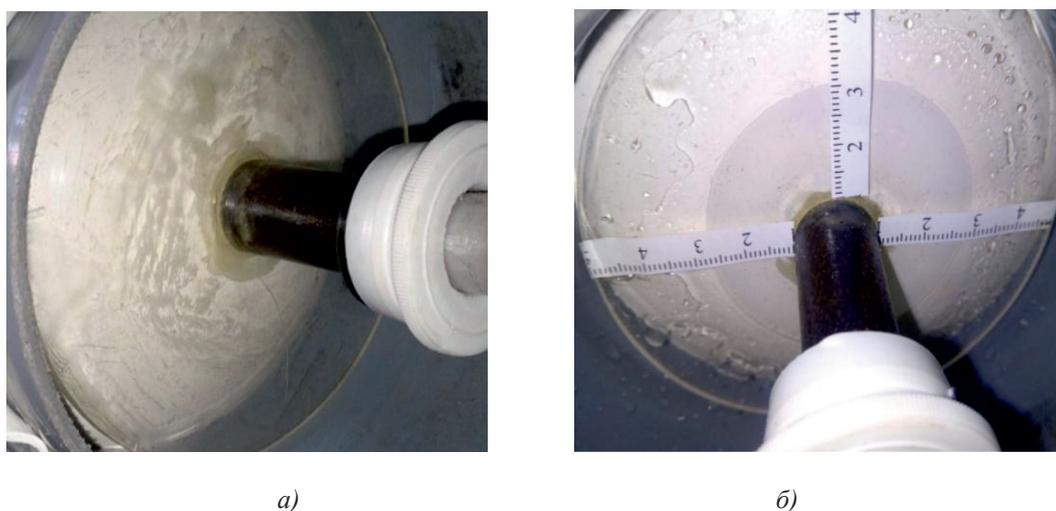


Рис. 4. Мембрана с ограничителем её изгибной деформации при работе привода: а) без полезной нагрузки; б) с полезной нагрузкой

Условный радиус  $r_{\text{усл}}$  вычисляется как средний радиус площади пятна контакта. Пример силового воздействия, создаваемого давлением при различной полезной нагрузке, с учетом изменения площади контакта мембраны с ограничителем, показан в таблице.

Таблица пятна контакта мембраны с ограничителем

$N, \text{H}$	Пятно контакта, мм	$S_{\text{пк}}, \text{см}^2$	$r_{\text{усл}}, \text{мм}$	$F \cdot 10, \text{H}$
0	8x8x8x8	2,01	8	5,33
5	11x11x11x11	3,79	11	5,77
10	18x21x15x15	9,34	17,25	6,62
15	22x24x20x16	13,19	20,5	7,1
20	25x26x22x20	16,97	25	7,84
32	30x30x26x25	24,17	27,75	8,33
50	37x37x33x33	38,46	35	9,72
60	39x40x36x37	45,34	38	10,35

Пример результатов исследований приведен на рис. 5.

Графики показывают, что в традиционном приводе полезная нагрузка существенно влияет на ход подвижного рабочего органа, так как силовое воздействие от давления не изменяется. Применение в устройстве ограничителя изгибной деформации мембраны приводит к повышению силового воздействия от давления, увеличивая ей эффективную площадь. Это позволяет снизить зависимость хода подвижного рабочего органа от величины полезной нагрузки.

В приводе без ограничителя изгибной жесткости мембраны с увеличением полезной нагрузки, действующей на шток, его ход уменьшается до нуля при  $N$  равном 50 Н, так как силовое воздействие на шток от заданного давления постоянно. Использование ограничителя приводит к увеличению силового воздействия на шток от заданного давления, так как увеличивается эффективная площадь мембраны.

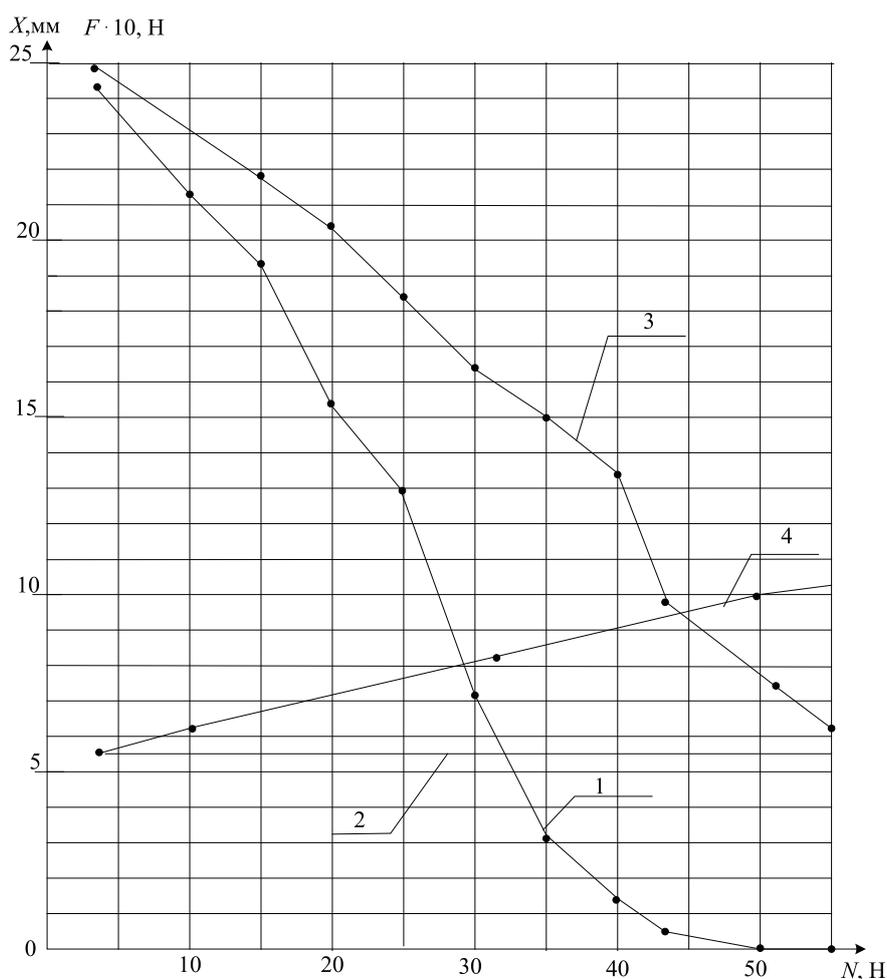


Рис. 5. Графики зависимости перемещения и силы на штоке от полезной нагрузки  $N$  при давлении 0,015 МПа, где: 1 и 2 – соответственно перемещение и сила без ограничителя; 3 и 4 – перемещение и сила с ограничителем

### Заключение

В данном устройстве при полезной нагрузке 50 Н установка ограничителя изгибной деформации мембраны позволяет увеличить ход подвижного рабочего органа от нуля до 7,8 мм.

Механическая характеристика привода по интегральной оценке повышается примерно в 1,29 раза.

Таким образом, использование метода изменения эффективной площади в процессе работы и устройств для его реализации не только расширяет функциональные возможности мембранных приводов, но и значительно улучшает их технические характеристики.

### Список литературы

1. Солонин В.И. Теплогидравлические процессы в активных зонах водоохлаждаемых реакторов: учеб. пособие по курсу «Конструирование реакторных установок» / В.И. Солонин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 140 с.
2. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры / Д.Ф. Гуревич. – М.: ЛКИ, 2008. – 878 с.
3. Jones, Steve. The Future of Valves and Diaphragms Supply. BioPharm International, May 1, 2013, pp. 32–33.
4. Шишкин В.В. Торковые технологии: монография / В.В. Шишкин, С.В. Скориков, А.А. Брачихин. – Ставрополь: СКОУ, 2014. – 370 с.
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.