

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО И ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ПРЯМОТОЧНОГО ДИОДА

Кайгородов С.Ю., Руменко Д.Н., Харахордина А.Ю., Косовенко А.А., Варлакова А.Р.

Омский государственный технический университет, Омск, Россия

Ключевые слова: поток жидкости, гидродиод, насос, диодность, диафрагменный гидродиод, конфузорно-диффузорный гидродиод, гидравлический и пневматический прямооточный диод.

Аннотация. Статья посвящена анализу гидродиодов: диафрагменного, конфузорно-диффузорного и гидравлического и пневматического прямооточного. Анализ рассматривает преимущества и недостатки каждой из конструкций гидродиодов, а также их эффективность с рекомендацией по использованию гидродиодов в гидравлических системах. Данная статья будет интересна специалистам из области гидромеханики.

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC AND PNEUMATIC STRAIGHT-THROUGH DIODE

Kaigorodov S.Yu., Rumenco D.N., Harahordina A.Yu., Kosovenko A.A., Varlakova A.R.

Omsk State Technical University, Omsk, Russia

Keywords: flow of liquid, hydrodynamic, pump, diodicity, diaphragm hydrodynamic, confusor-diffuser hydrodynamic, hydraulic and pneumatic straight-through diode.

Abstract. The article is dedicated to the analysis of hydrodynamic devices: diaphragm, confusor-diffuser, hydraulic and pneumatic straight-through. The analysis considers the advantages and disadvantages of each hydrodynamic device construction, as well as their efficiency with recommendations for using hydrodynamic devices in hydraulic systems. This article will be of interest to specialists in the field of hydromechanics.

Введение

В настоящее время активное развитие медицины, косметологии, пищевых производств и других отраслей значительно повлияло на разработки в области микрофлюидике. За последние несколько десятилетий достижения в области технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС) способствовали быстрому развитию микрофлюидных устройств с различными функциями [1].

Одним из важных элементов МЭМС является микронасос, способный создавать расход в миллилитрах (мл) или микролитрах (мкл) в минуту. Первый микронасос на основе МЭМС был представлен Смитс и Витафин в работе [2], опубликованной в 1984 году для систем доставки инсулина больным сахарным диабетом.

Микронасосы подразделяются на механические и немеханические [3]. Механические микронасосы содержат движущиеся части, такие как обратные клапаны и диафрагмы, в то время как немеханические микронасосы не имеют движущихся компонентов. Микроклапаны, которые классифицируются как

бесклапанные и с обратным клапаном, являются одним из важнейших элементов микронасосов. Микроклапаны с обратным клапаном могут избежать обратного потока, но имеют сложную конструкцию. Кроме того, существует риск эрозии и закупорки клапана мелкими частицами или пузырьками в жидкости. Микроклапаны бесклапанного типа не могут полностью контролировать обратный поток и засорение, но их конструкция проста по сравнению с обратными клапанами [4, 5].

В общем случае микронасосы бесклапанного типа используют взамен гидравлических обратных клапанов в качестве распределителей потока гидродиоды. Обзор литературы показывает, что существует много исследований по конструктивным особенностям гидродиодов, способным повысить эффективность работы насосов [6-8]. В данных работах можно выделить диафрагменный гидродиод, как наиболее простой по конструкции, конфузорно-диффузорный гидродиод, как обладающий хорошей диодностью и новую конструкцию гидравлического и пневматического прямоточного диода.

Таким образом, целью данной работы является анализ эффективности гидравлического и пневматического прямоточного диода в сравнении с известными аналогами.

Основная часть

В работе Лебедева И.В. [6] принято оценивать гидродиоды, как отношение расходов при течении через них потока жидкости в одну и другую сторону при одинаковом перепаде давления, безразмерная величина, полученная в результате данного решения, называется «диодность».

Согласно [6] диафрагменный гидродиод представляет собой канал, в котором под некоторым углом к боковым стенкам расположены тонкие пластины (диафрагмы). Работа диафрагменного гидродиода заключается в том, что при движении жидкости в обратном направлении боковые части потока отклоняются и направляются под тупым углом к центральной части потока, что приводит к значительному сужению потока и образованию сжатого сечения ниже отверстия между пластинами. Основные потери энергии происходят за сжатым сечением из-за расширения потока. В случае течения в прямом направлении также происходит взаимодействие отклоненных и не отклоненных частей потока, однако из-за наклона пластин в сторону течения потока сжатие потока меньше, что означает меньшее сопротивление по сравнению с обратным направлением.

Конфузорно-диффузорный гидродиод представляет собой конструкцию, состоящую из основных элементов – конфузора и диффузора [6]. Конфузор – это сужение в форме воронки, через которое проходит поток жидкости, газа. Он предназначен для ускорения потока за счет узкого горлышка. При сужении сечения потока скорость жидкости или газа увеличивается. Кинетическая энергия при этом также увеличивается. Диффузор – обратная конструкция конфузора. Имеет расширение и плавный переход от узкого

сечения конфузора к более широкому сечению. Диффузор замедляет поток жидкости или газа и равномерно распределяет его по широкому пространству. Процесс происходит за счет преобразования кинетической энергии потока в статическую энергию. Данный гидродиод работает следующим образом. При прохождении через конфузор поток жидкости или газа ускоряется, а давление снижается. Затем поток проходит через диффузор, где замедляется, при этом давление повышается.

Гидравлический и пневматический прямоточный диод, описанный в работе [7], имеет канал с прямоугольным сечением, в котором установлена группа элементов, состоящих из двух жестких пластин. Эти пластины наклонены под углом к прямому потоку и каждая из них имеет параллельно и плотно прилегающую к ней гибкую пластину, расположенную со стороны обратного потока. Длина гибкой пластины превышает длину жесткой пластины. Когда текучая среда движется по каналу в прямом направлении, гибкие пластины отгибаются от оси канала, что не создает значительного гидравлического сопротивления потоку. Однако когда среда движется в обратном направлении, пластины прогибаются в сторону оси канала, уменьшая его просвет и увеличивая сопротивление диода. Возможны варианты, при которых пластины смещены вдоль оси канала относительно противоположащей пары пластин, а также пересечение оси канала пластинами. В этом случае перед парой пластин может быть расположен штырь, на который пластины опираются под воздействием обратного потока. Это увеличивает диодность и рабочие давления, и позволяет использовать диод в качестве самодействующих клапанов для объемных машин периодического действия, таких как насосы и компрессоры.

Анализ эффективности гидродиодов

Все рассмотренные гидродиоды обладают рядом преимуществ и недостатков. Одно из основных преимуществ – простота конструкции: они состоят из небольшого количества элементов, что облегчает их производство и снижает стоимость. Также рассмотренные гидродиоды обладают высокой надежностью, так как либо вообще не имеют подвижных частей, либо имеют незначительно подвижные элементы, при этом абсолютный размер подвижных элементов таких диодов таков, что предел усталости при этом минимален [8]. Таким образом, конструктивное применение таких гидродиодов в гидравлических системах значительно уменьшает вероятность поломок последних.

Диафрагменный гидродиод обладает самой простой конструкцией и технологичностью, относительно рассмотренных диодов. Изготовление диафрагм является не сложной задачей и может быть осуществлена на небольшом производстве. При этом данный диод в виду своих конструктивных особенностей обладает небольшими массогабаритными параметрами и приемлемыми значениями диодности [6, 9].

Конфузорно-диффузорный гидродиод, в отличие от диафрагменного, согласно работе [6], имеет более высокую диодность. Однако недостатком таких диодов является более сложная конструкция, требующая высокой точности изготовления и обработки деталей, а также из-за конструктивных особенностей конфузоров и диффузоров, длина рабочей части такого гидродиода в продольном сечении относительно течения потока, значительно больше, чем в диафрагменном гидродиоде. Что увеличивает стоимость изготовления конструкции и требует более точной настройки для получения оптимальных значений диодности.

Гидравлический и пневматический прямоточный диод потенциально имеет большую диодность, по сравнению с остальными рассматриваемыми конструкциями, так как обладает всеми плюсами диафрагменного гидродиода и лишён недостатков конфузоро-диффузорного гидродиода. Однако у такой конструкции также имеются недостатки, обусловленные сложностью точного изготовления подвижных пластин и соблюдения необходимых зазоров, для обеспечения их движения, тем самым возможны создания сложности для недостаточной точности регулировки потока.

В общем случае гидравлический и пневматический прямоточный диод обеспечивает надёжный контроль направления потока рабочей среды, и, тем самым, способен широко использоваться в системах автоматического управления и других гидравлических системах и агрегатах. Такие диоды в зависимости от жёсткости гибких пластин, могут найти применение для контроля потока жидкостей или газов в системах малого, среднего или высокого давления.

Вывод

В результате анализа конструкций диафрагменного, конфузоро-диффузорного и гидравлического и пневматического прямоточного гидродиодов, можно сделать вывод, что гидравлический и пневматический прямоточный диод в целом является наиболее предпочтительным для использования в гидросистемах автоматики, гидравлических агрегатах и т.п. Являясь улучшенной версией диафрагменного диода, такой диод обладает всеми его плюсами, однако появление подвижных гибких пластин приводит к уменьшению надёжности элемента и, как следствие, всей системы. Однако, использование в качестве гибких пластин современных материалов, способных к значительным деформационным нагрузкам при длительном периоде времени, при этом сохраняя свою структуру без разрушений, способно увеличить ресурс таких гидродиодов, тем самым, значительно увеличив их возможную сферу применения [10, 11].

Таким образом, можно сделать вывод, что применение практически не разрушаемых гибких элементов практически полностью исключают недостатки гидравлического и пневматического прямоточного диода и способно значительно расширить сферы его использования.

Список литературы

1. Wang Y.N., , Fu L.M. Micropumps and biomedical applications – A review // *Microelectronic Engineering*. 2018, vol. 195, pp. 121-138.
2. Patent No. EP0134614A1, A61M5/14276. Piezo-electrical micropump / J.G. Smits, N.V. Vitafin. – Appl. No. EP84201185A from 15.08.1984; publ. 20.03.1985.
3. Tay F.E.H. *Microfluidics and bioMEMS applications*. – New York: Springer, 2002. – 336 p.
4. Mohammadzadeh K., Kolahdouz E.M., Shirani E., Shafii M.B. Numerical study on the performance of Tesla type microvalve in a valveless micropump in the range of low frequencies // *Journal of Micro-Bio Robotics*. 2013, vol. 8, pp. 145-159.
5. Revathi S., Padmanabhan R. Design and development of piezoelectric composite-based micropump // *Journal of microelectromechanical systems*. 2018, vol. 27, no. 6, pp. 1105-1113.
6. Лебедев И.В., Трескунов С.Л., Яковенко В.С. *Элементы струйной автоматики*. – М.: Машиностроение, 1973. – 359 с.
7. Патент №2598125 РФ. Гидравлический и пневматический прямоточный диод / С.Ю. Кайгородов, А.П. Болштынский, В.Е. Щерба. – Заявка № 2015129270/11 от 16.07.2015; опубл. 20.09.2016, Бюл. № 26.
8. Пекельный Н.И., Дибир А.Г. *Расчет на прочность при действии повторно-переменных нагрузок: учеб. пособие*. – Харьков: Изд-во Харьк. авиац. ин-та, 2004. – 74 с.
9. Kaigorodov S.Yu. Influence of the design parameters of a hydraulic diode on its performance // *Russian Engineering Research*. 2019, vol. 39, no. 3, pp. 220-221.
10. Вакулов Н.В., Мышлявцев А.В., Малютин В.И. Математическое моделирование старения материалов резинотехнических и резинокордных изделий в процессе их хранения и эксплуатации // *Труды VIII Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD-2018*. – Якутск: Цумори Пресс, 2018. – Т. 2. – С. 130-133.
11. Steck J., Kim J., Kutsovsky Y., Suo Z. Multiscale stress deconcentration amplifies fatigue resistance of rubber // *Nature*. 2023, vol. 624, pp. 303-308.

References

1. Wang Y.N., , Fu L.M. Micropumps and biomedical applications – A review // *Microelectronic Engineering*. 2018, vol. 195, pp. 121-138.
2. Patent No. EP0134614A1, A61M5/14276. Piezo-electrical micropump / J.G. Smits, N.V. Vitafin. – Appl. No. EP84201185A from 15.08.1984; publ. 20.03.1985.
3. Tay F.E.H. *Microfluidics and bioMEMS applications*. – New York: Springer, 2002. – 336 p.
4. Mohammadzadeh K., Kolahdouz E.M., Shirani E., Shafii M.B. Numerical study on the performance of Tesla type microvalve in a valveless micropump in the range of low frequencies // *Journal of Micro-Bio Robotics*. 2013, vol. 8, pp. 145-159.
5. Revathi S., Padmanabhan R. Design and development of piezoelectric composite-based micropump // *Journal of microelectromechanical systems*. 2018, vol. 27, no. 6, pp. 1105-1113.
6. Lebedev I.V., Treskunov S.L., Yakovenko V.S. *Elements of jet automation*. – М.: Mechanical Engineering, 1973. – 359 p.

7. Patent No. 2598125 RU. Hydraulic and pneumatic once-through diode / S.Yu. Kaigorodov, A.P. Bolshchyansky, V.E Shcherba. – Appl. No. 2015129270/11 from 16.07.2015; publ. 20.09.2016, Bul. No. 26.
8. Pekelny N.I., Dibir A.G. Strength calculation under the action of cyclic variable loads . – Kharkov: Kharkov Aviation Institute, 2004. – 74 p.
9. Kaigorodov S.Yu. Influence of the design parameters of a hydraulic diode on its performance // Russian Engineering Research. 2019, vol. 39, no. 3, pp. 220-221.
10. Vakulov N.V., Myshlyavtsev A.V., Malyutin V.I. Mathematical modeling of aging of rubber and cord rubber products during their storage and operation // Proceedings of the VIII Eurasian Symposium on Strength Problems of Materials and Machines for Cold Climate Regions eurastrencold. – Yakutsk: Tsumori Press, 2018. – P. 130-133.
11. Steck J., Kim J., Kutsovsky Y., Suo Z. Multiscale stress deconcentration amplifies fatigue resistance of rubber // Nature. 2023, vol. 624, pp. 303-308.

Кайгородов Сергей Юрьевич – кандидат технических наук, доцент	Kaigorodov Sergei Yurevich – candidate of technical sciences, associate professor
Руменко Дмитрий Николаевич – студент	Rumenko Dmitrii Nikolaevich – student
Харахордина Анастасия Юрьевна – студентка	Harahordina Anastasia Yurievna – student
Косовенко Александр Александрович – студент	Kosovenko Aleksandr Aleksandrovich – student
Варлакова Арина Романовна – студентка	Varlakova Arina Romanovna – student
klyoster04@bk.ru	

Received 14.01.2024