



Получено: 15.03.2022 г. | Принято: 22.03.2022 г. | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.144.148>

Научная статья

ВАКУУМНЫЙ ДВУХКООРДИНАТНЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ СКОРОСТИ

Д.С.Шахов¹, студент, ORCID: 0000-0003-1113-0428

В.П.Михайлов¹, д.т.н., проф., ORCID: 0000-0003-3638-7932

А.М.Базиненков¹, к.т.н., доц., ORCID: 0000-0003-0845-2290

М.Е.Жуков¹, студент, ORCID: 0000-0001-6522-1304 / mikhailov@bmstu.ru

Аннотация. Во многих областях современных нанотехнологий, осуществляемых в вакууме, требуется перемещение объектов с высокой точностью. В работе рассмотрен вакуумный двухкоординатный пневмогидравлический привод, способный осуществлять точные перемещения. Высокая точность механизма достигается за счет применения в качестве рабочей жидкости гидравлической части интеллектуального материала, электрореологической жидкости, способной мгновенно изменять свои реологические свойства под действием внешнего электрического поля. В работе экспериментально установлено, что наиболее эффективная регулировка скорости перемещения штока привода осуществляется на низких давлениях в пневмоцилиндре с концентрацией дисперсной фазы рабочей жидкости 25%.

Ключевые слова: вакуум, пневмогидравлический привод, электрореологическая жидкость, вязкость, регулировка скорости перемещения

Для цитирования: Д.С.Шахов, В.П.Михайлов, А.М.Базиненков, М.Е.Жуков. Вакуумный двухкоординатный механизм перемещений с электрореологической регулировкой скорости. НАНОИНДУСТРИЯ. 2022. Т. 15, № 2. С. 144–148. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.144.148>

Received: 15.03.2022 | Accepted: 22.03.2022 | DOI: <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.144.148>

Original paper

VACUUM TWO-AXIS MOVEMENT MECHANISM WITH ELECTRORHEOLOGICAL SPEED CONTROL

D.S.Shakhov¹, student, ORCID: 0000-0003-1113-0428

V.P.Mikhailov¹, Doct. of Sci. (Tech), Prof., ORCID: 0000-0003-3638-7932

A.M.Bazinenkov¹, Cand. of Sci. (Tech), Associate Professor, ORCID: 0000-0003-0845-2290

M.E.Zhukov¹, student, ORCID: 0000-0001-6522-1304 / mikhailov@bmstu.ru

Abstract. In many areas of modern nanotechnologies carried out in a vacuum it is required to move objects with high precision. The paper considers a two-axis vacuum pneumohydraulic drive capable of performing precise movements. High precision of the mechanism is achieved due to use of intelligent material as a working fluid of the hydraulic part – an electrorheological fluid that can instantly change its rheological properties under the action of an external electric field. It has been experimentally established in the work that the most effective adjustment of the speed of the drive rod movement is carried out at low pressures in the pneumatic cylinder with a 25% concentration of the dispersed phase of the working fluid.

¹ Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия / Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia



Keywords: vacuum, pneumohydraulic drive, electrorheological fluid, viscosity, speed adjustment

For citation: D.S.Shakhov, V.P.Mikhailov, A.M.Bazinenkov, M.E.Zhukov. Vacuum two-axis movement mechanism with electrorheological speed control. NANOINDUSTRY. 2022. V. 15, no. 2. PP. 144–148. <https://doi.org/10.22184/1993-8578.2022.15.2.144.148>

ВВЕДЕНИЕ

Преобладающая часть современных нанотехнологий осуществляется в вакуумной технологической среде. Например, тонкие пленки, нанесенные в вакууме, используются в качестве антифрикционных покрытий режущего инструмента и машиностроительных пар трения. Для обеспечения равномерности нанесенной пленки часто необходимо осуществлять перемещение с высокой точностью позиционирования и равномерностью скорости. Наиболее эффективное управление скоростью движения осуществляется в пневматических и гидравлических приводах. Для повышения точности перемещений гидравлического привода, в качестве рабочей жидкости, может быть использован интеллектуальный материал, электрореологическая жидкость (ЭРЖ) [4, 5]. ЭРЖ представляют собой суспензии частиц поляризующихся материалов, распределенных в диэлектрической жидкости. В отсутствие электрического поля ЭРЖ ведут себя как большинство обычных суспензий, проявляя при течении ньютоновские свойства. Однако, приложении электрического поля в них практически мгновенно происходит резкое (вплоть до 100 тыс.) увеличение вязкости за счет образования цепочечных структур, направленных параллельно силовым линиям электрического поля. Помимо вязкости будут меняться упругость и пластичность жидкости.

В мире существует ряд исследований, связанных с электрореологическими жидкостями. Работы по исследованию ЭРЖ, в основном, направлены на подбор дисперсной фазы, которая обеспечит максимальный электрореологический эффект суспензии. Использование в качестве дисперсной фазы титаната бария позволяет получить напряжение деформации сдвига 400 Па при напряженности электрического поля 800 В/мм [1]. В случае использования в качестве твердой фазы суспензии литиевые соли сополимера полистирол-блок-полиизопрена, достигается напряжение деформации сдвига 50 Па при 560 В/мм [2]. Если же использовать в качестве наполнителя диоксид церия, можно достичь напряжения деформации сдвига 4000 Па при 3000 В/мм [3].

В качестве бюджетного аналога твердой фазы ЭРЖ может быть использован крахмал.

Вакуумный двухкоординатный механизм перемещений с электрореологической регулировкой скорости (рис.1) работает следующим образом.

INTRODUCTION

The predominant part of modern nanotechnology takes place in a vacuum process environment. For example, thin films deposited in a vacuum are used as anti-friction coatings for cutting tools and mechanical friction couples. In order to ensure evenness of the applied films, it is often necessary to perform a movement with high positioning accuracy and constant speed. The most efficient speed control is achieved by pneumatic and hydraulic drives. In order to improve accuracy of hydraulic drive movements, a smart material, electro-rheological fluid (ERF), can be used as a working fluid [4, 5]. ERF are suspensions of polarizing material particles distributed in a dielectric fluid. In the absence of an electric field, ERFs behave like most conventional suspensions, exhibiting Newtonian flow properties. However, when an electric field is applied to them, there is an almost instantaneous (up to 100000) increase in viscosity due to formation of the chain structures oriented parallel to the electric field lines. In addition to viscosity, elasticity and plasticity of the liquid will change.

There are numerous studies worldwide related to electro-rheological fluids. Works on ERF research are mainly focused on selection of disperse phase which will provide maximum electrorheological effect of the suspension. The use of barium titanate as the

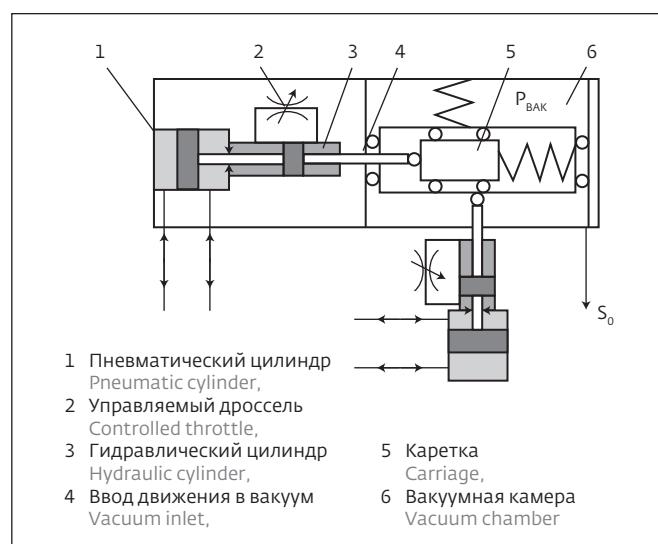


Рис.1. Схема вакуумного двухкоординатного механизма перемещений с ЭР регулировкой скорости

Fig.1. Diagram of a two-axis vacuum displacement mechanism with ER speed control

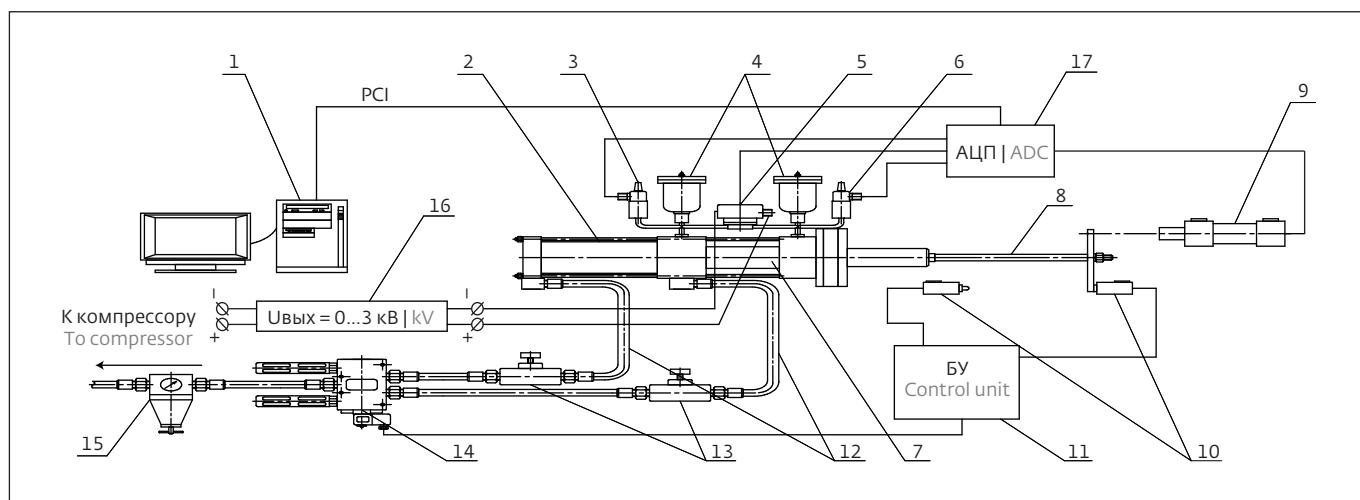


Рис.2. Схема однокоординатного пневмогидравлического привода с ЭР управлением:

1 – компьютер; 2 – пневмоцилиндр; 3, 6 – датчики давления; 4 – емкости с ЭРЖ; 5 – ЭРД; 7 – гидроцилиндр; 8 – шток; 9 – датчик положения; 10 – конечные выключатели; 11 – блок управления; 12 – дроссели; 13 – пневмораспределитель; 14 – газовый редуктор; 15 – высоковольтный блок питания

Fig.2. Schematic diagram of single-axis pneumohydraulic drive with ER control: 1 - computer; 2 - pneumatic cylinder; 3, 6 - pressure sensors; 4 - vessels with ERF; 5 - ERT; 7 - hydraulic cylinder; 8 - rod; 9 - position sensor; 10 - limit switches; 11 - control unit; 12 - throttles; 13 - pneumatic distributor; 14 - gas reducer; 15 - high voltage power unit

Каретка 4 приводится в движение пневматическим цилиндром 1, соединенным с гидравлическим цилиндром 2 общим штоком. Ввод движения 6 обеспечивает герметизацию штока в вакуумной камере. Шток жестко закреплен к каретке 4, перемещающейся по направляющим внутри вакуумной камеры 5. Управление скоростью перемещения осуществляется с помощью управляемого дросселя, электрореологического дросселя (ЭРД) 3 в гидроцилиндре 2.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на однокоординатном пневмогидравлическом приводе с ЭР-управлением (рис.2), имитирующем вакуумный двухкоординатный механизм перемещений с электрореологической регулировкой скорости.

Привод является комбинированным и состоит из пневмоцилиндра 2 и гидроцилиндра 7, имеющих общий шток 8, который совершает возвратно-поступательное движение. Рабочей жидкостью в гидроцилиндре является ЭРЖ. При движении штока привода ЭРЖ перетекает из одной полости гидроцилиндра в другую через зазор управляемого дросселя 5. За счет ЭР-эффекта происходит уменьшение объемного расхода ЭРЖ через дроссель и, соответственно, замедление штока.

Целью эксперимента по исследованию реологических характеристик ЭРЖ на основе крахмала являлось определение эффективности регулирования скорости штока пневмогидравлического привода.

disperse phase allows of obtaining a shear strain of 400 Pa at electric field strength of 800 V/mm [1]. If lithium salts of polystyrene-block copolymer-polyisoprene are used as the suspension solid phase, a shear stress of 50 Pa at 560 V/mm can be achieved [2]. If cerium dioxide is used as the filler, a shear stress of 4,000 Pa at 3000 V/mm can be achieved [3].

Starch can be used as a cheaper analogue for the solid phase of the ERF.

The vacuum two-axis displacement mechanism with electro-rheological speed control (Fig.1) functions as follows.

Carriage 4 is driven by pneumatic cylinder 1 connected to hydraulic cylinder 2 by a common rod. Movement input 6 ensures sealing of the rod in the vacuum chamber. The rod is rigidly fixed to carriage 4 moving along the guides inside vacuum chamber 5. The movement speed is controlled with the aid of a transductor and electro-rheological throttle (ERT) 3 in hydraulic cylinder 2.

RESEARCH METHODS

This study was carried out on a ER controlled single-axis pneumohydraulic drive (Fig.2) which simulates a vacuum two-coordinate movement mechanism with electro-rheological speed control.

The drive is combined and consists of pneumatic cylinder 2 and hydraulic cylinder 7, which have common rod 8 that performs reciprocating motion. The working fluid in the hydraulic cylinder is ERF. As the



При различных давлениях в пневмоцилиндре и различных напряжениях на обкладках дросселя проводилось измерение положения штока и разности давлений.

В работе представлены исследования образцов с концентрацией дисперсной фазы крахмала 15, 25, 40%. Дисперсионной средой послужила кремнийорганическая жидкость ПМС-20. Активатор – вода.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные значения координат были пересчитаны в скорость перемещения штока. В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости скорости перемещения штока от напряжения на обкладках ЭРД для образцов ЭРЖ с концентрацией дисперсной фазы крахмала 15, 25 и 40%. Указанные графики для давления в пневмоцилиндре 0,4 атм и 0,5 атм представлены на рис.3, 4 соответственно.

Обнаружено, что с ростом напряжения на обкладках ЭРД происходит снижение скорости движения штока. Для давления 0,4 атм и концентрации дисперсной фазы 25% изменение скорости наиболее выражено, для концентраций 15 и 40% – изменение скорости не существенно. При давлении в пневмоцилиндре 0,5 атм обнаружено монотонное снижение скорости для всех образцов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение скорости связано с электрореологическим эффектом, происходящим в рабочем зазоре ЭРД. Формирование цепочных структур между обкладками дросселя обеспечивает локальное увеличение эквивалентной вязкости жидкости в зазоре, приводящее к снижению расхода рабочей жидкости и уменьшению скорости движения штока.

При высоком давлении 0,5 атм расход жидкости относительно большой, в результате чего наблюдается малая эффективность регулировки скорости штока. Цепочные структуры не успевают сформироваться и быстро вымываются большим потоком жидкости.

Наиболее эффективное управление скоростью движения штока наблюдается при низком давлении 0,4 атм. При этом с ростом напряжения до 2 кВ скорость снижается на 75%.

ВЫВОДЫ

1. Обнаружено, что при использовании в качестве рабочей жидкости гидравлической части привода ЭРЖ можно эффективно управлять скоростью вакуумного двухкоординатного механизма перемещений за счет воздействия на электрореологическую жидкость электрическим полем.
2. Эффективней всего регулировка скоростью перемещения штока вакуумного привода может быть

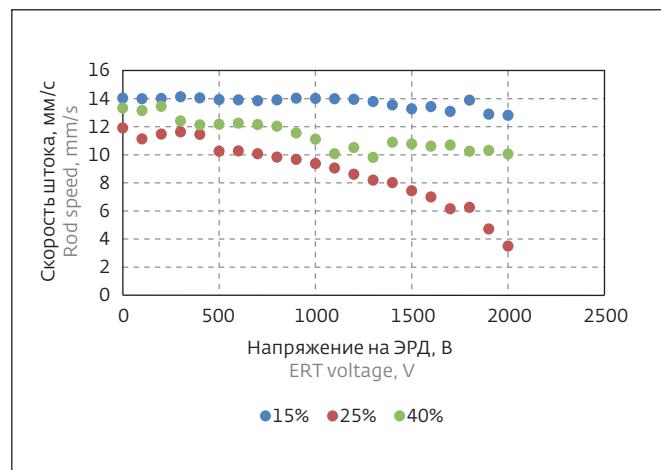


Рис.3. График зависимости скорости от напряжения для давления 0,4 атм

Fig.3. The graph of the dependence of speed on voltage for a pressure of 0.4 atm

actuator rod moves, the ERF flows from one cavity of the hydraulic cylinder to the other through the gap in controlled throttle 5. Due to the ER effect, the volume flow of the ERF through the restrictor is reduced and, consequently, the rod is slowed down.

The aim of the experiment to study the rheological characteristics of starch-based ERF was to determine efficiency of the pneumohydraulic drive rod speed control.

At different pressures in the pneumatic cylinder and different stresses on the throttle shells the rod position and pressure difference were measured.

In this work the studied samples with concentration of disperse phase starch 15, 25, 40% are presented. The dispersion environment was an organosilicon fluid PMC-20. In this case water was used as the activator.

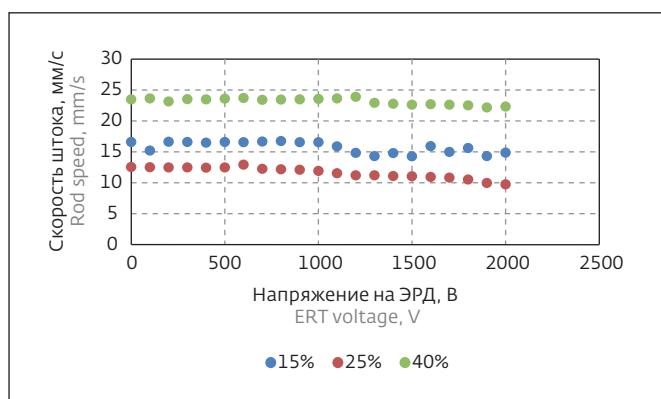


Рис.4. График зависимости скорости от напряжения для давления 0,5 атм

Fig.4. Diagram of speed/voltage dependence for a pressure of 0.5 atm



осуществлена на низком давлении 0,4 атм в пневмоцилиндре привода.

3. Скорость штока привода изменяется от 12 до 3 мм/с при росте управляющего напряжения на обкладках ЭРД от 0 до 2000 В при использовании ЭРЖ с концентрацией дисперсной фазы 25%.

ИНФОРМАЦИЯ О РЕЦЕНЗИРОВАНИИ

Редакция благодарит анонимного рецензента (рецензентов) за их вклад в рецензирование этой работы, а также за размещение статей на сайте журнала и передачу их в электронном виде в НЭБ eLIBRARY.RU.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Lan Y.C., Huang C.K., Men S.Q., Lu K.Q. Experimental investigation of the frequency dependence of the electrorheological effect. *Physical Review E*. 2004. P. 70:021507.
2. Yavuz M., Unal H.I., Yildirir Y. Electrorheological Properties of Suspensions Prepared from Polystyrene-Block- Polyisoprene Copolymer. *Turkish Journal of Chemistry*, 2001. 25(1). PP. 19–32.
3. Agafonov A.V., Kraev A.S., Gerasimova T.V., Evdokimova O.L., Shekunova T.O., Baranchikov A.E., Borilo L.P., Ivanova O.S., Kozik V.V., Ivanov V.K. Properties of Electrorheological Fluids Based on Nanocrystalline Cerium Dioxide. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2017. 62(5). PP. 625–632.
4. Шахов Д.С., Волынец В.В. Исследование зависимости скорости перемещений пневматического привода с электрореологическим регулятором скорости от величины управляющего напряжения. Всероссийская научно-техническая конференция "Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии": материалы конференции, 6–9 апреля, 2021, Москва, МГТУ им. Н.Э.Баумана. М.: ООО "КванторФорм", 2021. [Электронный ресурс] URL: <https://stud-vesna.ru?go=articles&id=3262>
5. Николаев М.А., Базиненков А.М., Михайлов В.П. Обеспечение заданного закона перемещения вакуумных механизмов за счет применения электрореологического регулятора скорости. Материалы XIX научно-технической конференции. "Вакуумная наука и техника". Судак, 2012. С. 349.

Декларация о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в данной статье.

RESULTS

The resulting coordinate values were converted to a rod movement speed. As a result of experimental data processing the dependences of the piston rod speed on the pressure on ERT covers were received for ERF samples with concentration of disperse phase starch of about 15, 25 and 40%. These diagrams of pressure for pneumatic cylinder at 0.4 atm and 0.5 atm are shown on Figs.3, 4, respectively.

It was found that as the voltage on the ERF shells increases, the rod speed decreases. For pressure of 0.4 atm and concentration of the dispersed phase 25 % the change of speed is most pronounced but for concentrations 15 and 40% the change of speed is not essential. At pressure in pneumatic cylinder of 0.5 atm the steady decrease of speed was recorded for all samples.

DISCUSSIONS

The change in speed is due to the electrorheological effect occurring in the ERT working gap. The chain structures formation between the throttle shells provides a local increase in the equivalent viscosity of fluid in the gap, resulting in a reduction in the working fluid flow rate and reduction of the rod speed.

At high pressures of 0.5 atm, the fluid flow rate is relatively high, resulting in low efficiency of rod speed control. The chain structures do not have time to form and are quickly washed out by intensive liquid flow.

The most efficient control of the rod speed was observed at low pressure of 0.4 atm. Simultaneously, the rod speed is reduced by 75% as the voltage increases to 2 kV.

CONCLUSIONS

1. It has been found that by using the hydraulic part of the ERF drive as a working fluid, the speed of the vacuum double-coordinate movement mechanism can be effectively controlled by influencing the electro-rheological fluid by electric field.
2. The vacuum drive speed rod movement can be controlled most effectively at a low pressure of 0.4 atm in the pneumatic drive cylinder.
3. The drive rod speed varies from 12 to 3 mm/s with the increase of control voltage on ERT shells from 0 to 2,000 V when using ERF with disperse phase concentration of 25 %.

PEER REVIEW INFO

Editorial board thanks the anonymous reviewer(s) for their contribution to the peer review of this work. It is also grateful for their consent to publish papers on the journal's website and SEL eLibrary eLIBRARY.RU.

Declaration of Competing Interest. The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

20 - я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

ChipEXPO-2022

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ



13-15.09



В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА



• ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:

- Предприятия радиоэлектронной промышленности России
- Поставщики электронных компонентов
- Участники конкурса "Золотой Чип"
- Новинки производителей электроники
- Стартапы в электроники (стенд Инновационного центра Сколково)
- Дизайн-центры электроники

ОФИЦИАЛЬНАЯ
ПОДДЕРЖКА:



МИНПРОМТОРГ
РОССИИ



• ОРГАНИЗАТОРЫ:

ЗАО «ЧипЭКСПО», 111141, Москва, Зеленый пр-т, д.2
Тел.: +7 (495) 221-50-15, E-mail: info@chipexpo.ru
<http://www.chipexpo.ru>