

## ВАКУУМНЫЙ ДВУХКООРДИНАТНЫЙ МЕХАНИЗМ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ С ЭЛЕКТРОРЕОЛОГИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКОЙ СКОРОСТИ

### VACUUM TWO-COORDINATE MOVEMENT MECHANISM WITH ELECTRORHEOLOGICAL SPEED CONTROL

Д.С.Шахов, В.П.Михайлов, А.М.Базиненков, М.Е.Жуков, /shakhovds@student.bmstu.ru

D.S.Shakhov, V.P.Mikhailov, A.M.Bazinenkov, M.E.Zhukov

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

*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 %.*

*In many areas of modern nanotechnological processes, taking place in 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 the 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 that the most effective adjustment of the movement speed of the drive rod is carried out at low pressures in the pneumatic cylinder with a concentration of the dispersed phase of the working fluid of 25%.*

*Ключевые слова: вакуум, двухкоординатный привод, пневматика, гидравлика, электрореологическая жидкость, скорость перемещения.*

*Keywords: vacuum, two-axis drive, pneumatics, hydraulics, electrical rheological fluid, movement speed.*

## 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, при приложении электрического поля в них практически мгновенно происходит резкое (вплоть до 100000) 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 напряжение 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.

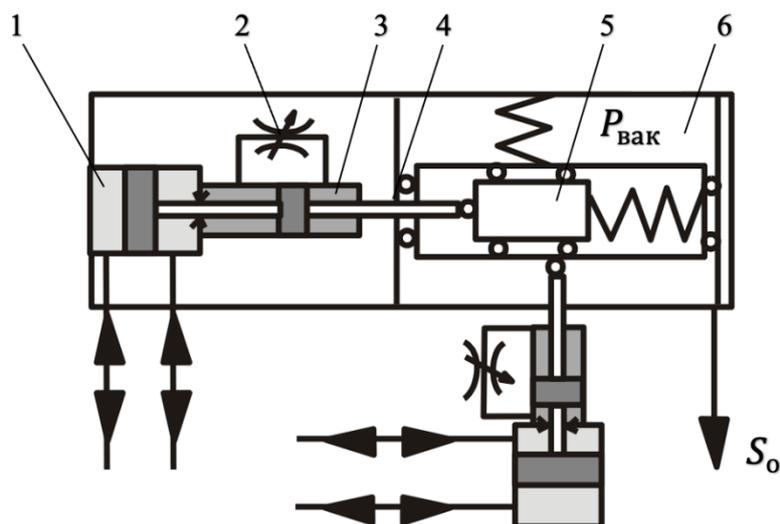


Рис.1. Схема вакуумного двухкоординатного механизма перемещений с ЭР регулировкой скорости. 1 - пневматический цилиндр; 2 - гидравлический цилиндр; 3 - управляемый дроссель; 4 – каретка; 5 - вакуумная камера; 6 - ввод движения в вакуум

Каретка 4 приводится в движение пневматическим цилиндром 1, соединенными 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), имитирующим вакуумный двухкоординатный механизм перемещений с электрореологической регулировкой скорости.

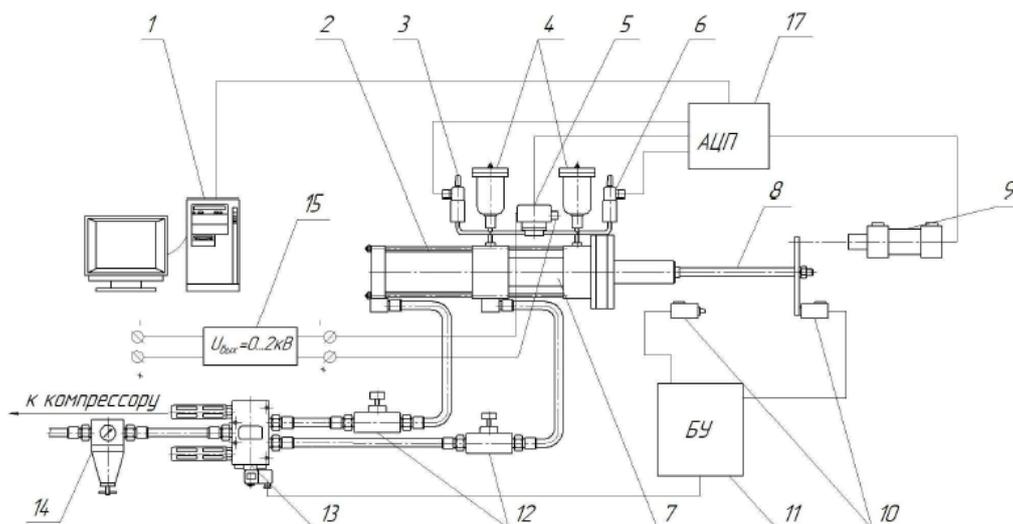


Рис.2. Схема однокоординатного пневмогидравлического привода с ЭР управлением. 1 – компьютер; 2 – пневмоцилиндр; 3, 6 – датчики давления; 4 – емкости с ЭРЖ; 5 – ЭРД; 7 – гидроцилиндр; 8 – шток; 9 – датчик положения; 10 – конечные выключатели; 11 – блок управления; 12 – дроссели; 13 – пневмораспределитель;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

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 счёт 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.

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.

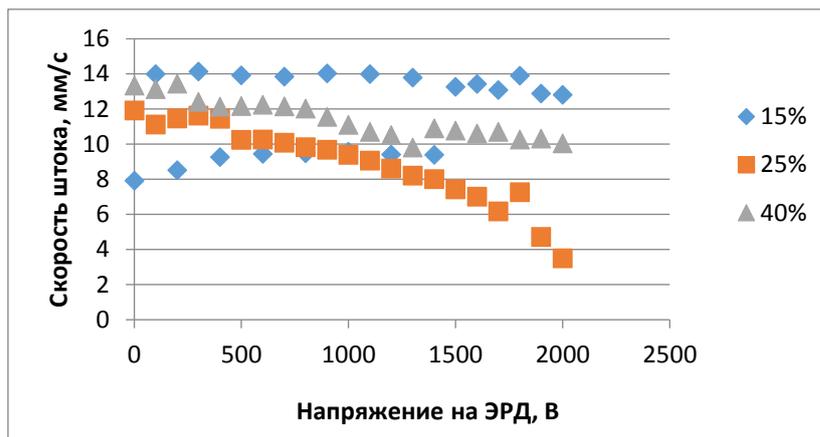


Рис.3. График зависимости скорости от напряжения для давления 0,4 атм.

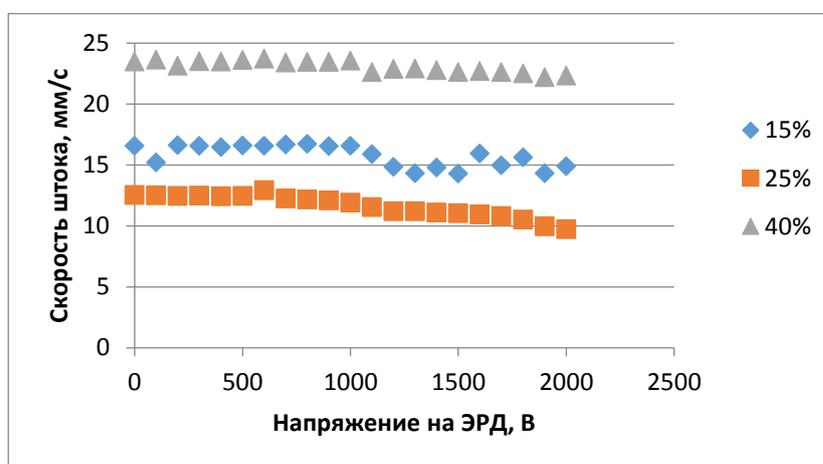


Рис.4. График зависимости скорости от напряжения для давления 0,5 атм.

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 элекроологическим 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 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 %.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Lan Y.C., Huang S.K., Men S.Q., Lu K.Q. Experimental investigation of the frequency dependence of the electrorheological effect. *Physical Review E*. 2004. 70:021507.
2. Yavuz M., Unal H.I., Yildirim Y. Electrorheological Properties of Suspensions Prepared from Polystyrene-Block- Polyisoprene Copolymer. *Turkish Journal of Chemistry*, 2001, 25(1), 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), 625-632.
4. Шахов Д. С., Вольнец В. В. Исследование зависимости скорости перемещений пневматического привода с электрореологическим регулятором скорости от величины управляющего напряжения. [Электронный ресурс] // 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.– URL: [studvesna.ru/go=articles&id=3262](http://studvesna.ru/go=articles&id=3262) (дата обращения: 31.07.2021)
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 В14 конференции. «Вакуумная наука и техника»*. г. Судак. 2012. С. 349.