

УДК 532.135

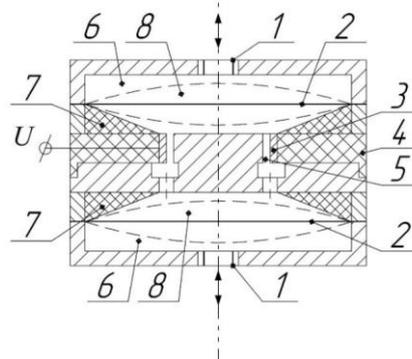
**ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОГИДРОПРИВОДА ДЛЯ УСТАНОВКИ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ**

Пьяе Сон Хейн

Студент магистратуры 2 года,  
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»  
Московский государственный технический университет

Научный руководитель: В. П. Михайлов,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Электронные технологии в  
машиностроении»

Электрореологический дроссель (ЭР-дроссель) с разделителем сред - это ключевой компонент пневмогидравлических систем, предназначенный для динамического управления потоком электрореологической жидкости (ЭРЖ) в условиях воздействия электрического поля. Конструкция устройства (Рисунок 1) включает: мембраны 2, разделяющие ЭРЖ и гидравлическое масло; электрод 3, создающий электрическое поле; изолятор 4 для предотвращения короткого замыкания; рабочий зазор 5 (регулируемый в диапазоне 0,3-3,5 мм), где происходит взаимодействие ЭРЖ с электрическим полем; конические шайбы 7, стабилизирующие поток жидкости. Такая конструкция обеспечивает прецизионный контроль гидравлического сопротивления, что критически важно для систем ионной имплантации, требующих точного перемещения и управления усилием.



1 – отверстие для штуцера; 2 – мембрана; 3 – электрод; 4 – изолятор; 5 – рабочий зазор;  
6 – гидравлическое масло; 7 – коническая шайба; 8 – ЭР-жидкость

Рисунок 1 – ЭР-дроссель с разделителем сред

Принцип работы устройства основан на изменении вязкости ЭРЖ под действием электрического поля. При подаче напряжения (до 2 кВ) на электроды в рабочем зазоре формируются цепочечные структуры из частиц дисперсной фазы, что резко увеличивает вязкость жидкости и снижает скорость её потока (Рисунок 2). Мембрана, выполненная из гибкого материала, изолирует ЭРЖ от гидравлического масла, предотвращая их смешивание и сохраняя функциональность системы. Динамическое управление достигается регулировкой напряжения: его увеличение усиливает электрореологический эффект, замедляя движение штока привода, а уменьшение - восстанавливает исходные параметры потока.

Конструкция ЭР-дросселя с разделителем сред обладает рядом преимуществ, включая повышенную надёжность за счёт разделения ЭРЖ и гидравлического масла, что минимизирует взаимное загрязнение и износ компонентов. Энергоэффективность системы достигается благодаря активации регулировки вязкости только в необходимых

режимах, а высокая точность управления обеспечивает стабильность в задачах, требующих точности регулировки скорости при ионной имплантации. Адаптивность устройства позволяет модифицировать рабочий зазор и конфигурацию электродов под различные промышленные задачи.

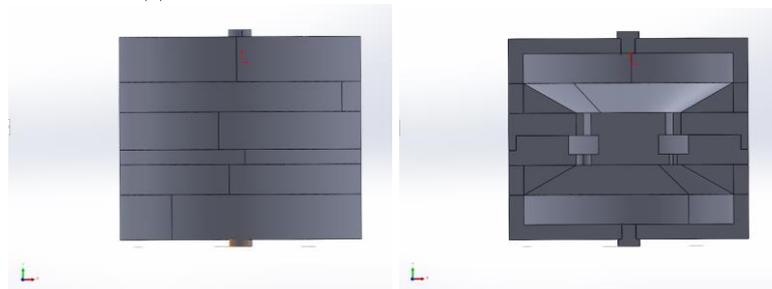


Рисунок 2 – 3D-модели ЭР-дресселя

Экспериментальные испытания продемонстрировали, что при напряжении 2000 В скорость потока ЭРЖ снижается на 60–70% по сравнению с режимом без напряжения. Однако при давлениях выше 0,4 атм эффективность управления уменьшается из-за недостаточного времени формирования структур в жидкости. Наибольший электрореологический эффект наблюдается при концентрации дисперсной фазы (крахмала) 25%, что подтверждается стабильным снижением скорости штока при повышении напряжения. В ходе испытаний выявлены проблемы: неравномерность движения штока из-за попадания воздуха в гидроцилиндр и необходимость высокой точности изготовления зазора ( $\pm 10$  мкм).

Однако в ходе испытаний выявились недостатки: неравномерность движения штока из-за попадания воздуха в гидроцилиндр и необходимость высокой точности изготовления зазора ( $\pm 10$  мкм). Для устранения этих проблем предложены меры, такие как улучшение герметичности системы за счёт замены уплотнительных элементов на износостойкие полимеры, внедрение системы вакуумирования для удаления воздуха из гидравлических контуров и оптимизация технологии приготовления ЭРЖ для повышения стабильности её реологических свойств. Эти шаги направлены на повышение долговечности и эффективности устройства в условиях эксплуатации.

ЭР-дрессель с разделителем сред представляет собой многообещающее решение для высокоточных гидравлических систем. Его ключевые преимущества, такие как динамическая регулировка, энергоэффективность и надёжность, делают его особенно привлекательным для использования в микроэлектронике, робототехнике и других областях, где важен точный контроль параметров движения. Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию конструкции для массового производства и расширение диапазона рабочих давлений, что позволит ещё больше расширить его возможности.

## Литература

1. Громов Д.С. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана. на тему: «Пневматический механизм перемещений с электрореологическим регулятором скорости», 2019.
2. Гидравлические и пневматические системы: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальностям техн. профиля / А. С. Наземцев. – Москва: ФОРУМ, 2004-(Тул.тип.).-30см. Ч. 1: Пневматические приводы и средства автоматизации. - 2004 (Тул. тип.). - 235 с: ил., цв. ил.
3. Калинин Д.С. Пневмогидропривод с электрореологическим управлением. Выпускная квалификационная работа бакалавра. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016.