

## **АДАПТИВНЫЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЯЮЩИЕ СО ВСТРОЕННЫМИ ПЛАВАЮЩИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ АКТИВНОГО НАГНЕТАНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ**

**Карепов П.В.**

**Научный руководитель: докт. техн. наук, профессор Шатохин С.Н.**

*Сибирский федеральный университет*

В металлорежущих станках для прецизионной и высокоскоростной обработки, микро-обработки, а также в тяжёлых и уникальных станках находят применение бесконтактные гидростатические шпиндельные опоры и направляющие, которые позволяют получить точность и чистоту обработки, нагрузочные характеристики и виброустойчивость, недостижимые для других типов шпиндельных опор и направляющих. Точность, которую обеспечивают гидростатические направляющие, в 10 и более раз превышает точность изготовления их рабочих поверхностей и сохраняется неограниченно долго. При высокоскоростной обработке с применением сверхтвёрдых режущих инструментов (эльбор, гексанит, минералокерамика) требуется высокая виброустойчивость технологической системы станка, которую могут обеспечить только гидростатические шпиндельные опоры и направляющие.

Проблематика совершенствования гидростатических направляющих заключается не только в повышении их нагрузочной способности и уменьшении податливости, но также: в снижении насосных потерь мощности на нагнетание смазки и фрикционных потерь на вязкое трение в несущем слое, возникающих при движении направляющих; уменьшении тепловых и упругих деформаций базовых деталей, имеющих большие размеры и работающих в различных условиях нагружения. Проблема усугубляется тем, что гидростатические направляющие не производятся централизованно и не являются покупными изделиями. Заинтересованные предприятия вынуждены самостоятельно решать проблемы их оптимального проектирования, изготовления и эксплуатации.

Достаточно давно известны и разработаны конструкции и методы проектирования гидростатических направляющих с пассивной дроссельной (схема «дроссель – карман») или объёмной (схема «насос – карман») компенсацией расхода нагнетаемой рабочей жидкости (смазки). Среди последних зарубежных разработок наиболее известны гидростатические направляющие фирмы *Schaeffler*, спроектированные по модульному принципу и устанавливаемые на различные металлорежущие станки.

Более перспективны гидростатические направляющие, которые имеют активное нагнетание смазки (схема «управляемый регулятор – карман»). Они позволяют получить адаптивный диапазон нагрузочной характеристики с отрицательными значениями эксцентриситетов подвижной части, который не могут обеспечить гидростатические направляющие с пассивной компенсацией расхода нагнетаемой смазки по схеме «дроссель-карман» или «насос-карман».

Гидростатических направляющие с мембранными регуляторами активного нагнетания рабочей жидкости появились в 1960-1970 годах. Они показали возможность существенного улучшения технических характеристик направляющих, но были конструктивно несовершенны и неудобны в эксплуатации. Стремление избавиться от нестабильности характеристик, сложности изготовления и настройки мембранных регуляторов привело к появлению различных технических решений для автономных многопоточ-

ных регуляторов, в том числе с разрезными (для незамкнутых направляющих) и неразрезными (для замкнутых направляющих) плавающими кольцами (последний оказан на рисунке 1).

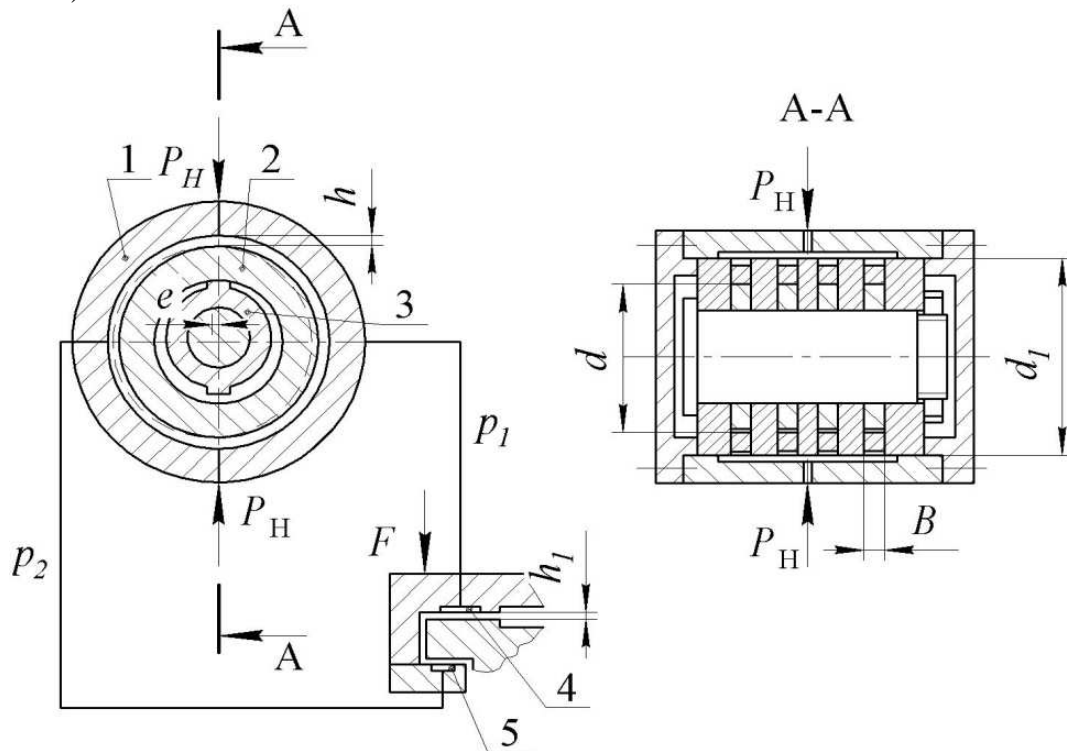
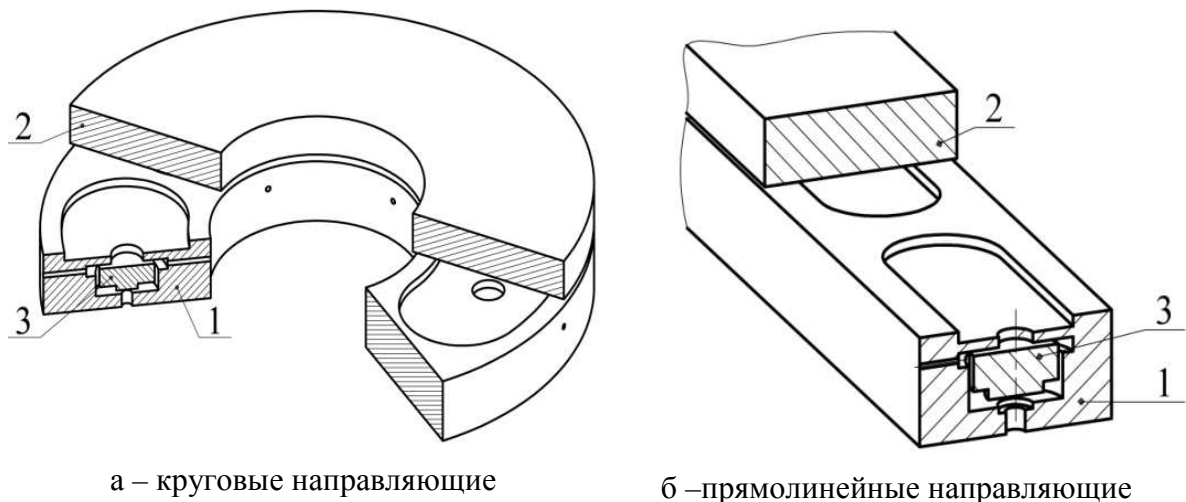


Рисунок 1 Автономный многопоточный регулятор с плавающими кольцами для замкнутых адаптивных гидростатических направляющих

Существенным недостатком всех автономных многопоточных регуляторов является необходимость в соединительных трубопроводах, которые связывают регулятор с несущими карманами направляющих. В тяжелых станках общая длина таких трубопроводов составляет десятки метров. Это усложняет конструкцию и ухудшает динамическое качество направляющих из-за упругости самих трубопроводов и большого объема заключенной в них рабочей жидкости.



а – круговые направляющие

б –прямолинейные направляющие

Рисунок 2 Незамкнутые адаптивные гидростатические направляющие с плавающими плунжерными регуляторами, встроенными в несущие карманы

1 – неподвижная часть, 2 – подвижная часть, 3 –плунжерные регуляторы

В СФУ разработаны и исследованы более совершенные технические решения для незамкнутых и замкнутых гидростатических направляющих нового типа, которые имеют встроенные плавающие плунжерные регуляторы нагнетания смазки. На рисунке 2 показаны незамкнутые адаптивные гидростатические направляющие с плавающими плунжерными регуляторами активного нагнетания смазки, которые встроены в несущие карманы, выполненные на рабочей поверхности неподвижной части направляющих.

Основание 1 отделено от подвижной части 2 направляющей тонким несущим слоем смазки, который воспринимает действующую нагрузку. Плавающий плунжерный регулятор 3 расположен во внутренней полости неподвижной части 1, в которую от гидростанции под постоянным давлением нагнетается смазка. Основной поток смазки поступает в несущий карман через дросселирующий щелевой зазор регулятора. Далее через дросселирующий зазор несущего слоя и дренажные каналы этот поток по дренажным каналам поступает обратно в гидростанцию, обеспечивая замкнутую циркуляцию смазки. Дополнительный поток смазки, поступающий в нижнюю часть регулятора, необходим для создания гидростатического подвеса (гидравлической пружины), обеспечивающей стабилизацию его осевого положения. Это является существенным недостатком данного технического решения, так как дополнительный поток смазки значительно увеличивает её расход и потери мощности на нагнетание при малых нагрузках, когда регулятор находится в верхнем положении.

Нагрузочные и расходные и динамические характеристики незамкнутой адаптивной гидростатической направляющей теоретически и экспериментально исследованы на примере имитационной осевой гидростатической опоры, имеющей круглую форму рабочей поверхности и несущего кармана. Установлена возможность получения устойчивой нагрузочной характеристики с существенным диапазоном отрицательной податливости.

В стадии патентования находится более перспективное техническое решение для незамкнутых адаптивных гидростатических направляющих, в котором отсутствует дополнительный поток рабочей жидкости, а верхний торец встроенного в несущий карман плавающего плунжерного регулятора образует дросселирующий щелевой зазор непосредственно с рабочей поверхностью подвижной части направляющей.

Замкнутые адаптивные гидростатические направляющие со встроенными плавающими регуляторами активного нагнетания смазки могут быть образованы из двух оппозитно расположенных незамкнутых направляющих, однако такое решение будет конструктивно и технологически сложным. На рисунке 3 показано разработанное в СФУ более перспективное техническое решение для замкнутых адаптивных гидростатических направляющих со встроенными плавающими плунжерными регуляторами.

Цилиндрические плунжерные регуляторы 2 установлены с малым радиальным зазором в отверстиях, выполненных между оппозитно расположенными несущими карманами, выполненными на нагружаемой и разгружаемой рабочей поверхности неподвижной части 1 направляющей. Это позволяет регуляторам смещаться в осевом направлении, но практически исключает перетекание смазки между оппозитными несущими карманами. Нижний и верхний торцы регулятора образуют дросселирующие щелевые зазоры непосредственно с рабочими поверхностями подвижной части 4 направляющей. Дроссельная вставка 3 необходима для нагнетания смазки в управляющие карманы, выполненные на торцах регулятора.

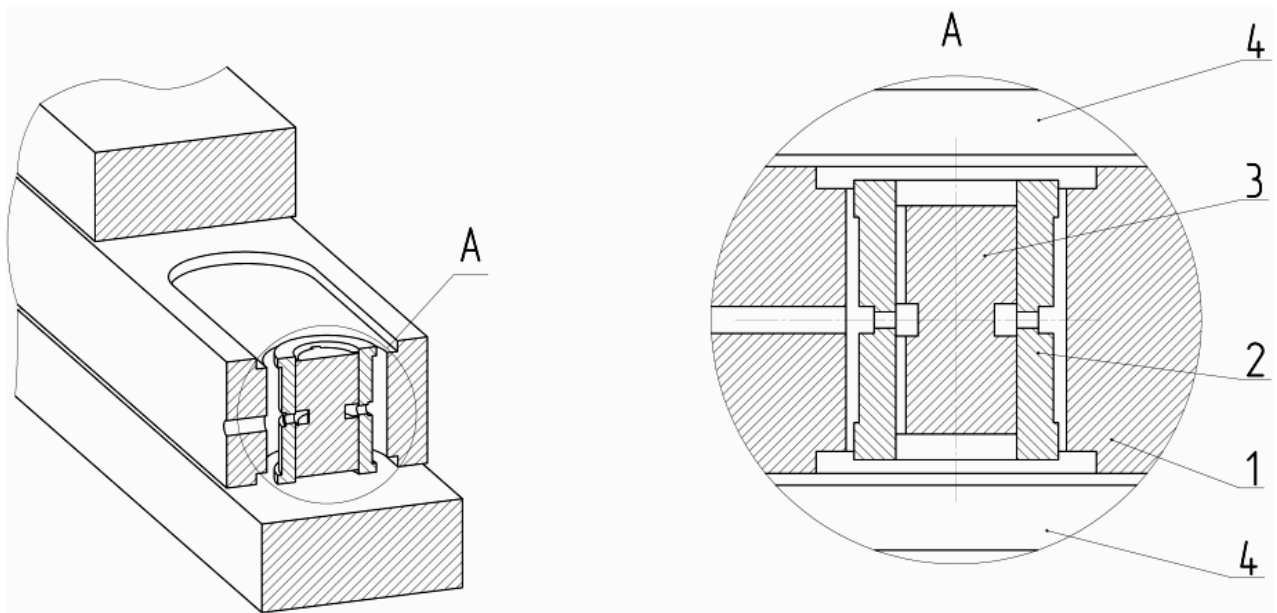


Рисунок 3 Замкнутые адаптивные гидростатические направляющие с плавающими плунжерными регуляторами активного нагнетания смазки

На рисунке 4 показаны построенные по результатам теоретических исследований графики изменения безразмерного относительного эксцентриситета  $E$  подвижной части направляющей (жирные линии) и безразмерного относительного эксцентриситета  $E_p$  плавающего регулятора (тонкие линии), а также безразмерного расхода  $Q$  смазки при увеличении безразмерной нагрузки  $F$ , действующей на направляющую. Штриховые линии графиков показывают изменение значений  $E$  и  $Q$  для пассивной направляющей, имеющей аналогичные размеры и нагнетание смазки по схеме «дрессель – карман».

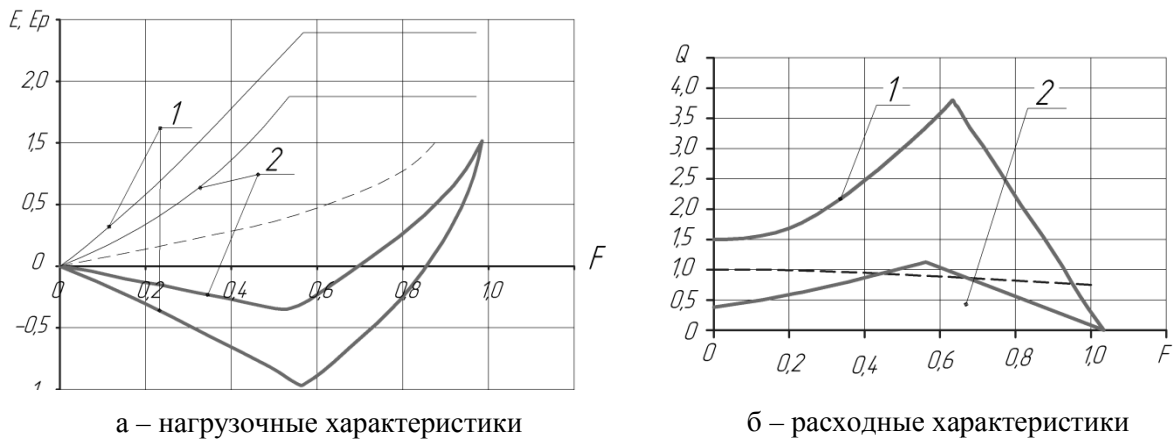


Рисунок 4 – Нагрузочные и расходные характеристики замкнутой адаптивной гидростатической направляющей с плавающими плунжерными регуляторами

Линии 1 графиков соответствуют параметрической оптимизации адаптивной направляющей по приоритету нагрузочной характеристики  $E(F)$ . В этом случае направляющая может иметь адаптивный диапазон нагрузочной характеристики с отрицательными значениями  $E$ , который достигает 80÷85% от теоретического максимума нагрузочной способности. В большей части этого диапазона направляющая имеет практически постоянную отрицательную податливость, при которой достигается отрицательное значение  $E = -0,9$ . Вино также, что при положительном значении  $E = 0,5$  нагрузочная способность адаптивной направляющей на 30÷35 % лучше, чем у пассивной. Однако расходная характеристика адаптивной направляющей при этом значительно хуже.

Линии 2 соответствуют параметрической оптимизации адаптивной направляющей при паритете нагрузочной и расходной характеристики. Видно, что в этом случае нагрузочная характеристика у адаптивной направляющей уменьшается, но все же она значительно выше, чем у пассивной направляющей. При этом расход смазки для адаптивной направляющей значительно меньше чем в пассивной.

Графики на рисунке 4-б показывают, что при максимальной безразмерной нагрузке ( $F \rightarrow 1$ ) расход смазки у замкнутой адаптивной гидростатической направляющей практически прекращается. Это объясняется тем, что нижний дросселирующий зазор регулятора уменьшается до нуля и прекращается поступление смазки в нижний (разгружаемый) несущий карман. Одновременно уменьшается верхний дросселирующий зазор у подвижной части направляющей и прекращается расход смазки из верхнего (нагружаемого) несущего кармана. Это позволяет проектировать малорасходные адаптивные гидростатические направляющие, которые работают в режиме нагружения, близком к максимальному.

Приведенные результаты исследований показывают, что разработка и совершенствование технических решений, а также методов оптимального проектирования адаптивных гидростатических направляющих нового типа является актуальной и перспективной научно-технической проблемой. Её решение позволит значительно повысить технические характеристики и технологические возможности токарных, фрезерных, шлифовальных и других металлорежущих станков, имеющих гидростатические направляющие.