



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

**ВНИИИНСТРУМЕНТ**

ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО



## Узлы ультрапрецизионных станков для алмазного точения, фрезерования и шлифования

### Ультрапрецизионный токарный шпиндельный узел со встроенным синхронным двигателем

- опоры шпинделя аэростатические с пористым дросселированием сферического типа;

- электропривод прямого действия на базе встроенного маловиброактивного синхронного бесконтактного электродвигателя;

- диапазон частот вращения электродвигателя - 50...3000 об/мин;

- жесткость аэростатических опор - 500 Н/мкм при  $P_n=4$  атм;

- биение оси шпинделя в радиальном и осевом направлениях - 20...50 нм;

- диапазон рабочего давления питания аэростатических опор - 4...12 атм.



### Ультрапрецизионный шлифовальный шпиндельный узел со встроенным синхронным двигателем

- опоры шпинделя аэростатические с пористым дросселированием сферического типа;

- электропривод прямого действия на базе встроенного маловиброактивного синхронного бесконтактного электродвигателя;

- диапазон частот вращения электродвигателя - 50...6000 об/мин;

- жесткость опор - 100 Н/мкм при  $P_n=4$  атм;

- биение оси шпинделя в радиальном и осевом направлениях - 20...50 нм;

- диапазон рабочего давления питания аэростатических опор - 4...12 атм.



### Узел линейных перемещений со встроенным линейным двигателем

- аэростатические направляющие с пористым дросселированием и вакуумным замыканием;

- прямолинейность движения в горизонтальной и вертикальной плоскостях - 100 нм на длине хода 300 мм;

- жесткость при  $P_n=4$  атм - от 250...500 Н/мкм;

- электропривод прямого действия на базе встроенного маловиброактивного безжелезного линейного двигателя в комплекте со встроенным линейным датчиком обратной связи с разрешением от 1...10 нм.



### Узел круговых перемещений со встроенным синхронным двигателем

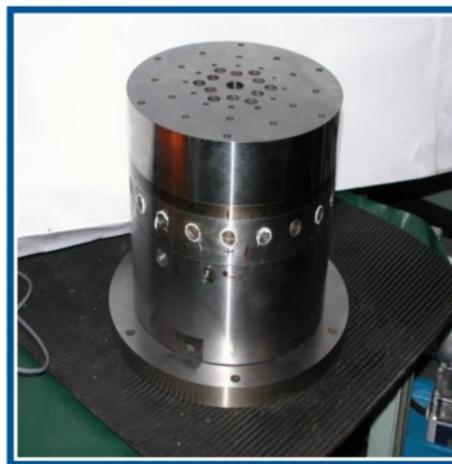
- поворотный стол на аэростатических опорах с пористым дросселированием и вакуумным замыканием;

- электропривод прямого действия на базе встроенного поворотного синхронного электродвигателя, снабженного бесконтактным демпфирующим устройством;

- рабочая подача - 0,0001...100 угл. г/мин;

- разрешающая способность - 0,01 угл. с;

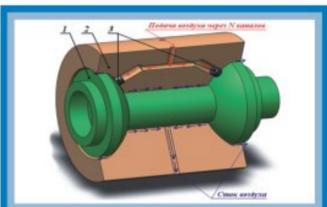
- точность позиционирования - 0,5 угл. с.





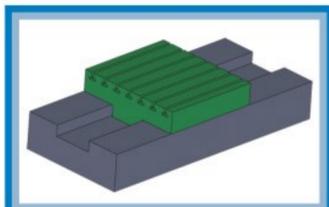
# Расчет характеристик аэростатических узлов

## Физическая модель



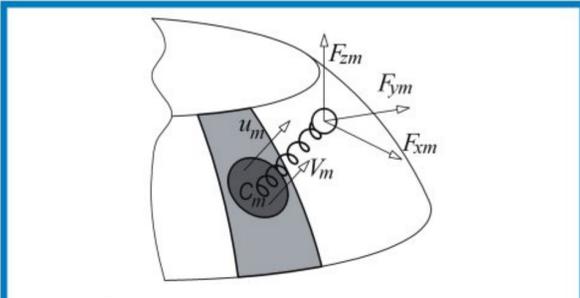
Шпиндель со сферическими опорными поверхностями

**Описание аэростатического слоя:**  
**Стандартные допущения:** изометрическое ламинарное стационарное дозвуковое движение сплошного линейно-вязкого газа  
**Дополнительные допущения:** большое количество питающих отверстий; влияние касательных скоростей на распределение давления пренебрежимо мало  
**Описание динамики шпинделя:**  
 Уравнения движения твердого тела с 3-мя поступательными и 2-мя угловыми малыми смещениями без учета поворота шпинделя  
**Описание упругости кареток:**  
 Линейно-упругие деформации сплошного деформируемого тела



Каретки линейных перемещений

## Математическая модель



1. Поверхность разделена на отдельные независимые сегменты. Толщина слоя и скорость сжатия в пределах каждого сегмента считаются постоянными. Давление воздуха на опорную поверхность описано уравнением Рейнольдса.

$$\text{div} [h^3 \text{grad}(p^2)] = -12 \frac{k_2^j}{\Delta} (p_a^2 - p^2) - 24 \mu p V_n$$

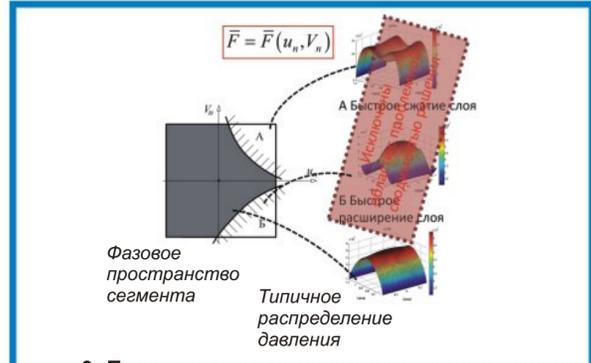
$$p(\varphi, \theta)$$

$$\tau_{\varphi\theta} = -\frac{h(\varphi, \theta)}{2R \sin(\theta)} \frac{\partial p}{\partial \varphi}$$

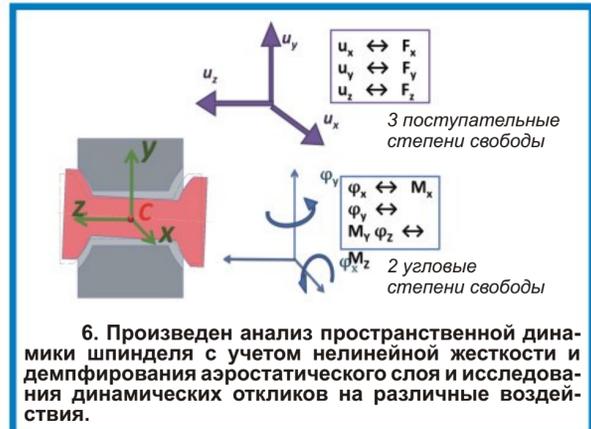
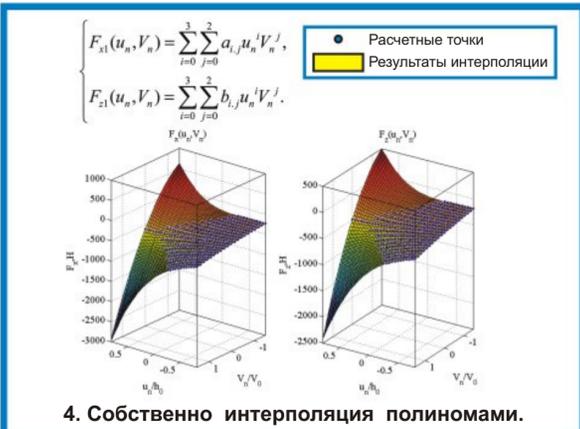
$$\tau_{\theta\varphi} = -\frac{h(\varphi, \theta)}{2R} \frac{\partial p}{\partial \theta}$$

$$\vec{F} = \iint_S (-p \vec{i}_R + \tau_{\varphi\theta} \vec{i}_\varphi + \tau_{\theta\varphi} \vec{i}_\theta) dS$$

2. Решение уравнения Рейнольдса проведено МКЭ в программе MATLAB.



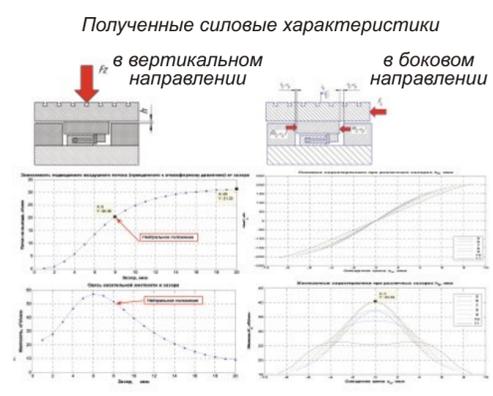
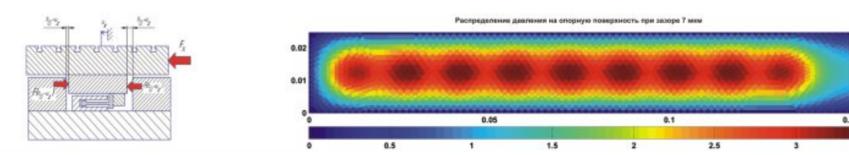
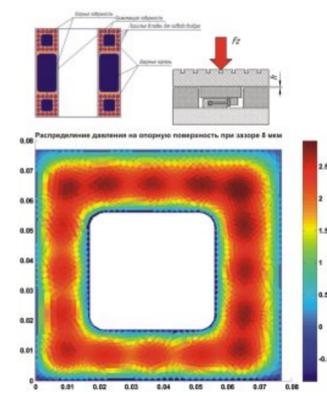
3. Проведена интерполяция реакции в зависимости от нормального смещения и нормальной скорости в центре сегмента.



## Этапы моделирования аэростатической каретки

Аналогично проводился анализ характеристик аэростатических кареток:

1. Опорная поверхность разбивалась на отдельные сегменты
2. В пределах сегмента МКЭ решалось уравнение Рейнольдса и определялось распределение давления
3. Интегрированием давления были получены опорные реакции для каждого значения перемещения каретки



## Проектирование узлов с учетом требований заказчика

На стадии проектирования можно определить следующие основные характеристики аэростатических узлов и провести их оптимизацию

- Грузоподъемность
- Частоты свободных колебаний
- Увеличение жесткости за счет вакуумного прижимания
- Учет упругой податливости
- Жесткость
- Расход воздуха

