

# Электрические машины гироскопических систем

---

Гиродвигатель, моментный двигатель,  
датчик угла

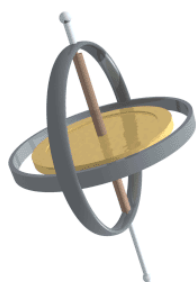


# Гироскопы

# Гироскоп

## Механический гироскоп

- » быстро вращающийся маховик
- » сохраняет направление оси вращения при отсутствии воздействий (свободный гироскоп)
- » реагирует на изменение углов ориентации опоры
- » качество гироскопа – кинетический момент  $H = J\Omega$



## Прецессия

При воздействии момента внешней силы  $M$  вокруг оси, перпендикулярной оси вращения ротора, гироскоп начинает поворачиваться вокруг оси прецессии, которая перпендикулярна моменту внешних сил

Угловая скорость прецессии  $\omega = M/H$

# Гироскоп

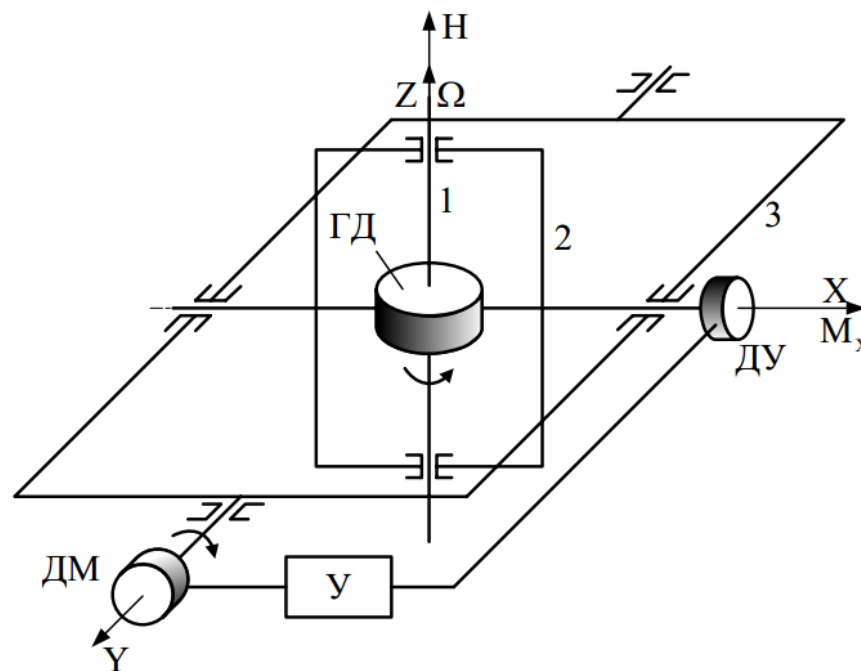
Гироскоп в карданном подвесе  
(свободный гироскоп)

- » ГД быстро вращается
- » имеет 3 степени свободы
- » для снятия информации используют Датчик Угла и Датчик Момента

Применение: гирокомпас, система Курсо-Вертикаль

Другие гироскопы:

- » Микроэлектромеханические
- » Оптические (лазерные)
- » ...



# Гиродвигатель

# Гиродвигатель

Двигатель-маховик

- » Асинхронные ГД
- » гистерезисные синхронные ГД

Цель – наибольший кинетический момент (т.к.  $H = J\Omega$ )

- » обращенная конструкция (ротор снаружи)
- » большая  $\Omega$
- » стабильность массы и скорости

Качество ГД - коэффициент добротности  $= H / m$

Особенность ГД – работа на ХХ

При этом момент сопротивления  $M_c = M_d + M_T$

- »  $M_d$  – динамический момент (при разгоне ротора)

- »  $M_T$  – момент трения (подшипники, воздух)

В установившемся режиме есть только  $M_T$

$$M_d = J \frac{d\Omega}{dt}$$

Условная полезная мощность

$$P_R = P_2 = M_c \Omega$$

КПД гиродвигателя

$$\eta = P_R / P_S$$

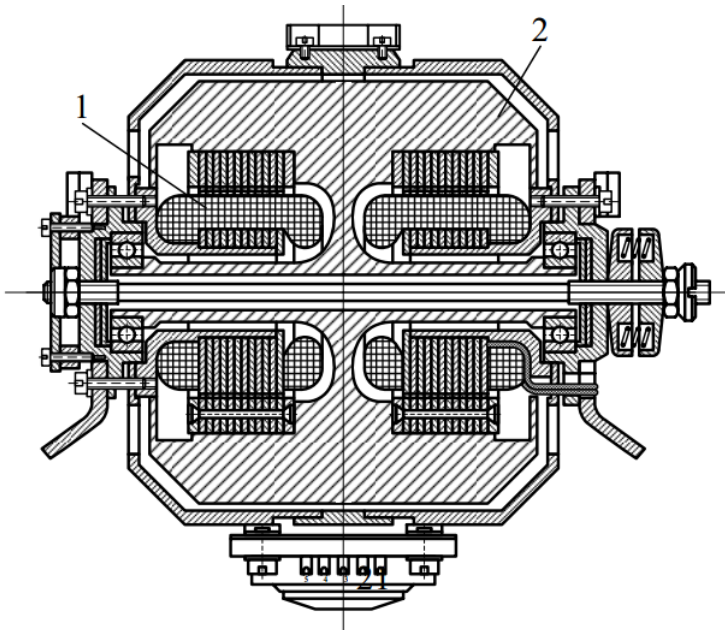
Обычно КПД – 0,2...0,8

$$\cos\varphi = 0,4...0,8$$

# Гиродвигатель

## Асинхронный ГД

3-фазный АД с внешним ротором



Двухстаторный асинхронный ГД

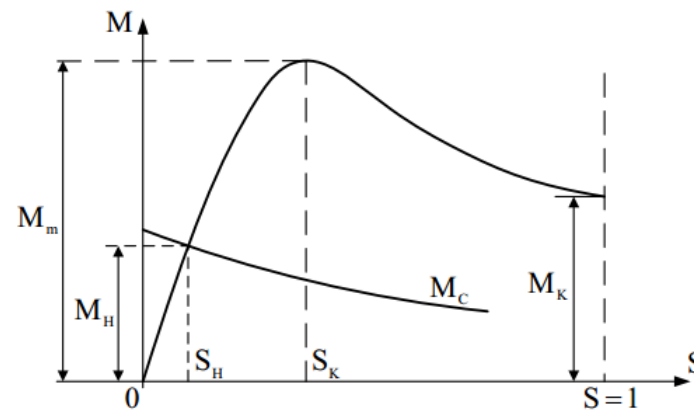
Основной недостаток –  
большое время разбега

В авиации обычно применяют

»  $U_1 = 36 \dots 40 \text{ В}$

»  $f_1 = 400, 500, 1000 \dots \text{ Гц}$

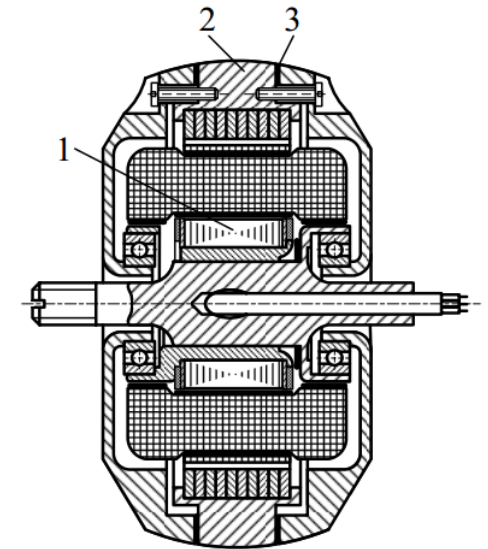
тогда  $n = 20\,000 \dots 60\,000 \text{ об/мин}$



$$k_m = \frac{M_m}{M_H} = 2 \dots 5 \quad k_{II} = \frac{M_K}{M_H} = 1,5 \dots 2$$

$$s_K = 0,2 \dots 0,4 \quad s_H = 0,015 \dots 0,12$$

## Гистерезисный синхронный ГД



- » простота пуска
- » постоянная  $\Omega$   
(стабильность характеристик)
- » низкие КПД и  $\cos\varphi$

# Моментный двигатель



# Моментный двигатель

МД – источник корректирующего момента для удержания оси гироскопа в заданной плоскости (компенсация вращения Земли, перемещения ЛА, вредных моментов)

- » Ротор неподвижен или  $n$  мала (режим КЗ)
- » Выходная величина – ЭМ момент

МД – встраиваемая ЭМ без вала и подшипников

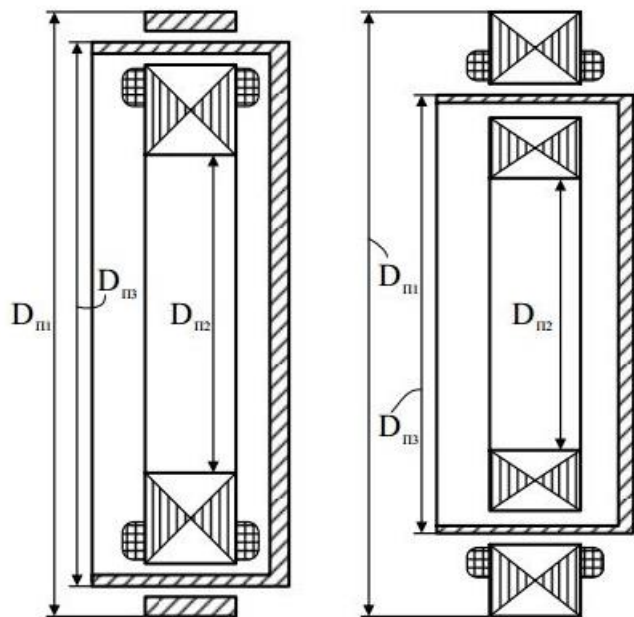
- » ротор – на оси подвеса гироскопа
- » статор – на подшипниковом щите этой оси

Требования к МД

- » возможность реверса
- » сохранение величины момента при реверсе
- » большой удельный момент
- » малая мощность управления
- » отсутствие остаточного момента
- » линейность характеристик  $M = f(U)$
- » отсутствие момента трения
- » минимальная масса и габариты
- » стабильность характеристик

# Моментный двигатель

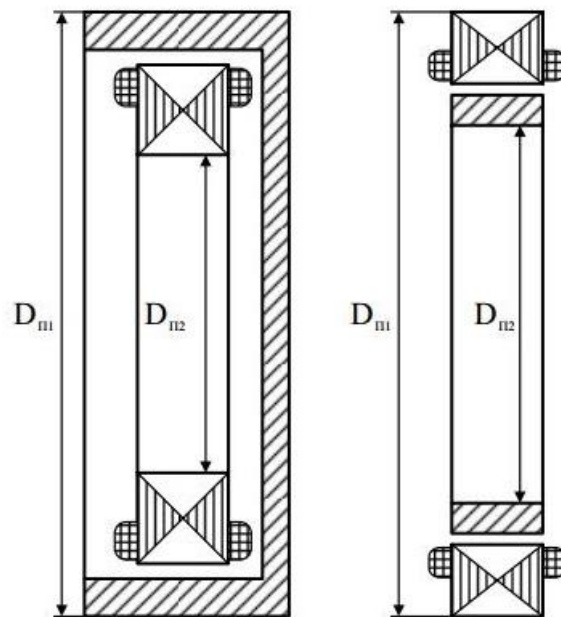
## Асинхронный моментный двигатель



- » 2-фазный АД с полым немагнитным ротором

Для силовой стабилизации КА с большими моментами применяют

- » 3-фазный АД с КЗ ротором



- » 2-фазный АД с полым ферромагнитным ротором

Фактически это исполнительный АД в режиме КЗ

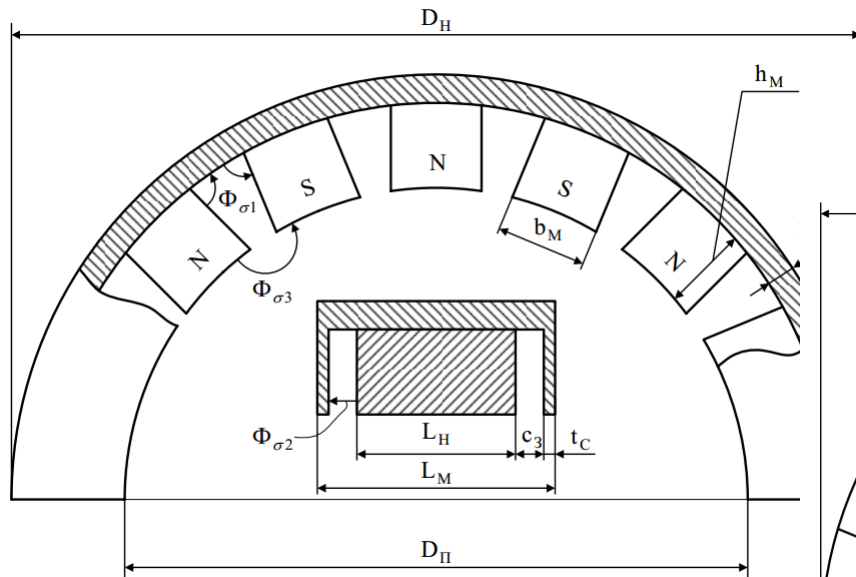
- » независимость момента от положения ротора
- » линейность характеристики  $M = f(U_y)$

# Моментный двигатель

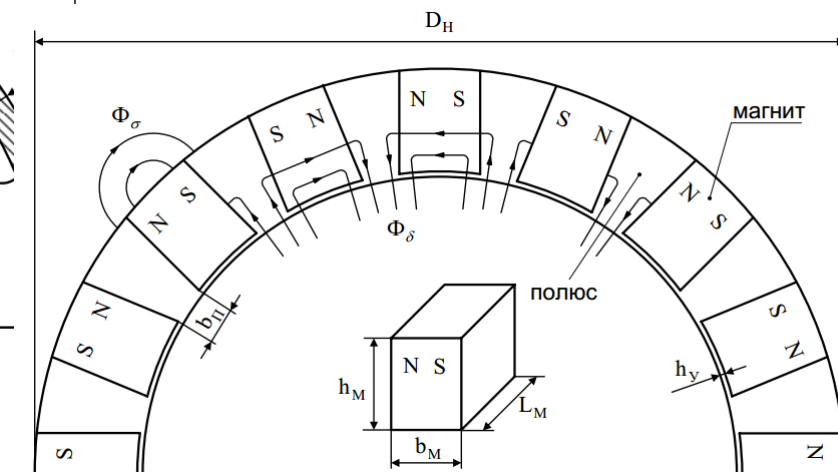
## Моментный двигатель постоянного тока

(лучше степень использования, выше удельный момент)

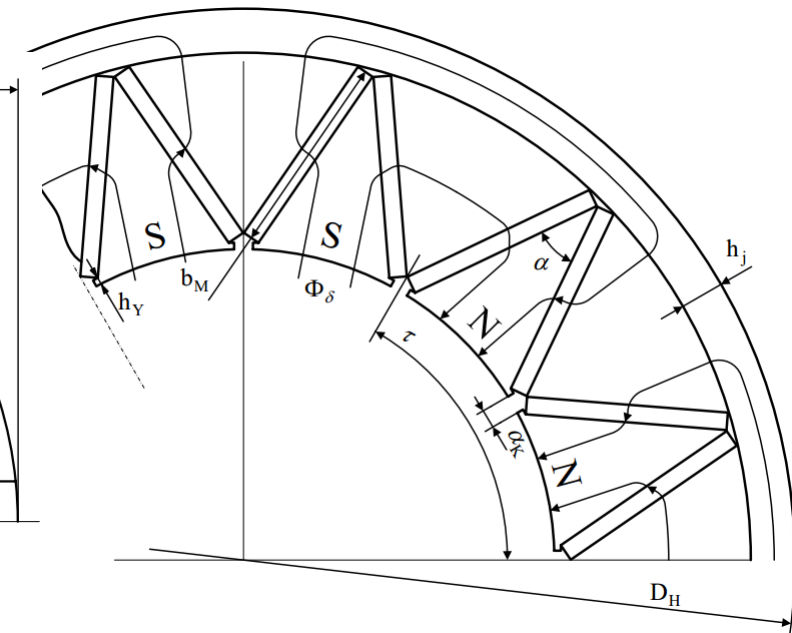
- » Коллекторные с ПМ
- » Вентильные с ПМ
- » с неограниченным углом поворота
- » с ограниченным углом поворота



ПМ радиальные



ПМ тангенциальные



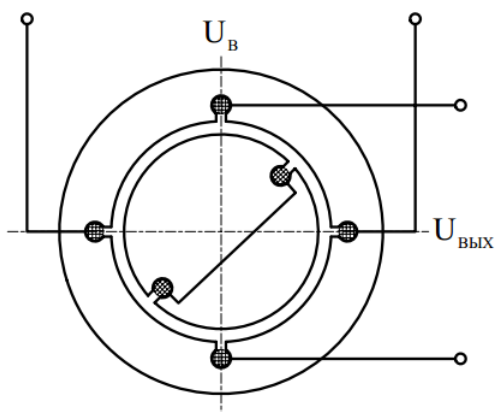
ПМ радиально-тангенциальные

# Датчики угла

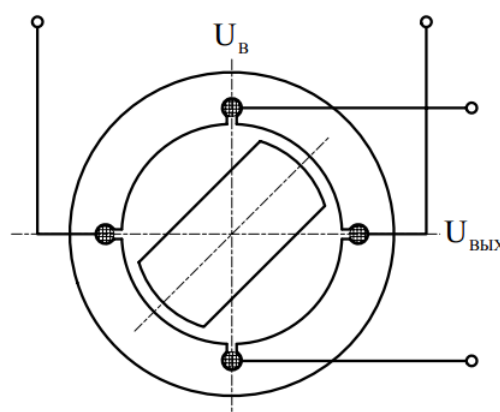
# Датчики угла

## Основные требования

- » линейность, крутизна, стабильность выходной характеристики  $U = f(\alpha)$
- » высокая чувствительность
- » минимальный момент сопротивления
- » минимальное остаточное напряжение



Датчик с КЗ витком



Датчик с  
явнополюсным ротором

На статоре - перпендикулярные обмотки:  
Обмотка возбуждения и выходная обмотка

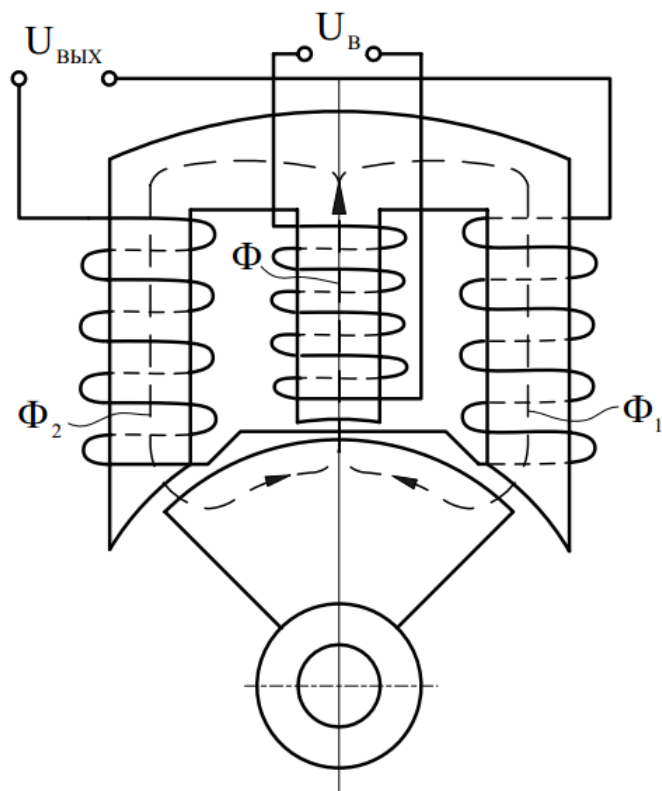
$$U_{\text{ВЫХ}} = 0 \text{ при } \alpha = 0^\circ \text{ и } \alpha = 90^\circ$$

$$U_{\text{ВЫХ}} = \text{max при } \alpha = 45^\circ$$

Недостаток – момент на роторе

# Датчики угла

Трехстержневой дифференциально-трансформаторный датчик угла  
(на углы до 7...10°)



Обмотка возбуждения  $\rightarrow \Phi$   
Выходная обмотка  $\rightarrow E_1(\Phi_1) - E_2(\Phi_2)$

В среднем положении ( $\alpha = 0$ )

»  $\Phi_1 = \Phi_2$  и  $U_{\text{ВЫХ}} = E_1 - E_2 = 0$

При отклонении на  $\Delta\alpha$

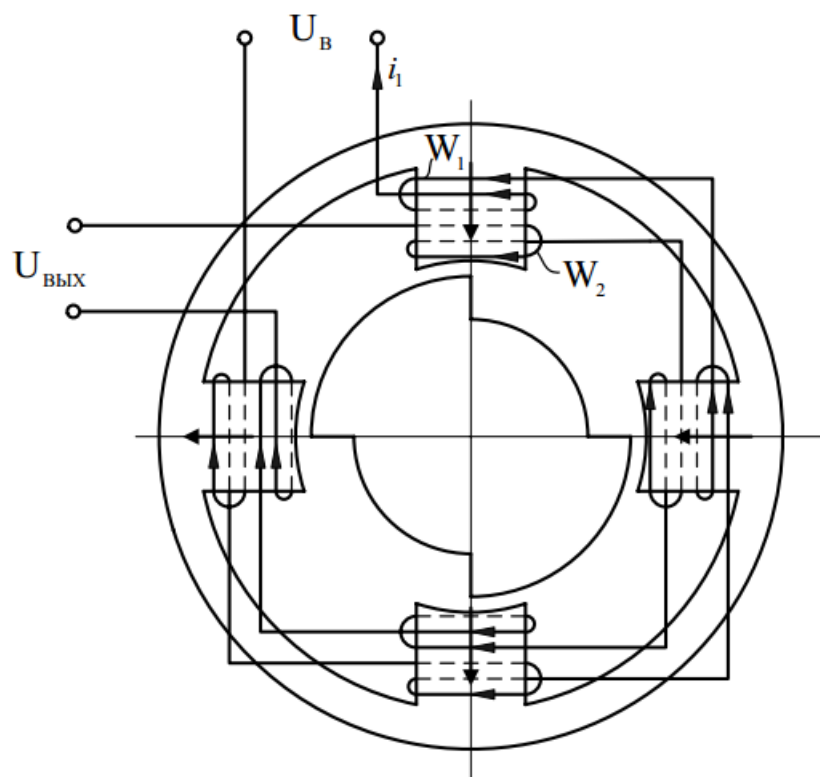
»  $\Phi_1 = \Phi + \Delta\Phi$ ,  $\Phi_2 = \Phi - \Delta\Phi$  и  $U_{\text{ВЫХ}}$  пропорционально  $2\Delta\Phi$

» Высокая чувствительность датчика

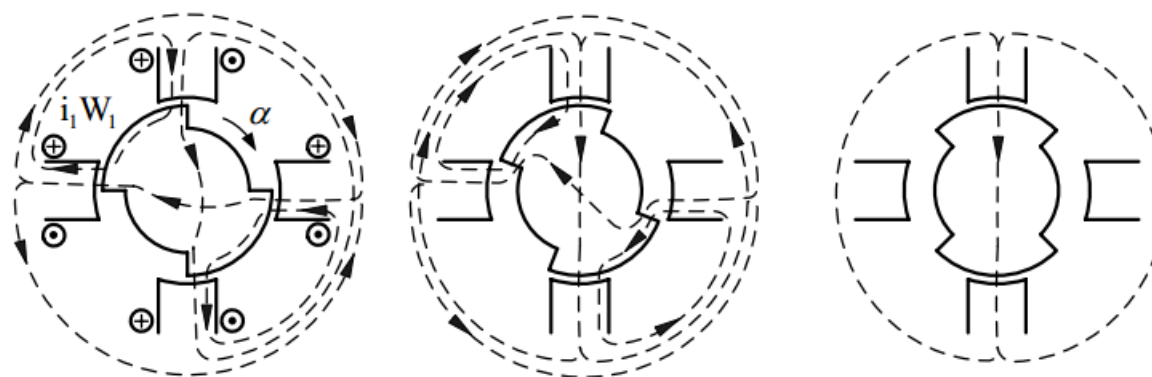
» Ограниченный диапазон углов

# Датчики угла

Индукционный датчик – микросин



- » На 4 полюсах статора катушки  $W_1$  и  $W_2$
- » ОВ: последовательное согласное соединение  $W_1$
- » Выходная обмотка: последовательное встречное соединение  $W_2$
- » Ротор 2-полюсный
- » Сердечники шихтованные



Перераспределение потоков при повороте ротора  
→ изменение  $\Psi_2$  с изменением  $\alpha$  →  $U_{\text{ВЫХ}} = f(\alpha)$

# Далее

---

## Экзамен



Ширинский С.В.

каф. ЭМЭЭА, НИУ «МЭИ»



ShirinskiiSV@mpei.ru



[elmech.mpei.ac.ru/EMAU/](http://elmech.mpei.ac.ru/EMAU/)  
([srv0-5.mpei.ac.ru/EMAU/](http://srv0-5.mpei.ac.ru/EMAU/))