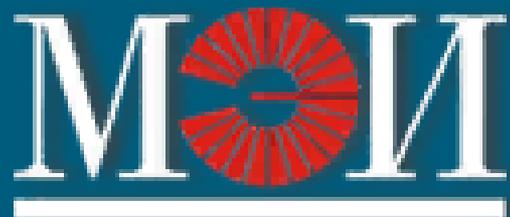


*международная научная конференция*  
**«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ»**  
*Fundamental and applied problems of mechanics (FAPM-2019)*



НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ



Кафедра робототехники, мехатроники, динамики и  
прочности машин

**Новая конструкция механизма  
газораспределения двигателя внутреннего  
сгорания на основе мехатроники**

Докладчики С.С. Драгунов,  
[sergejdragunov@yandex.ru](mailto:sergejdragunov@yandex.ru)

И.В. Меркурьев, [merkuryeviv@ya.ru](mailto:merkuryeviv@ya.ru)



# РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

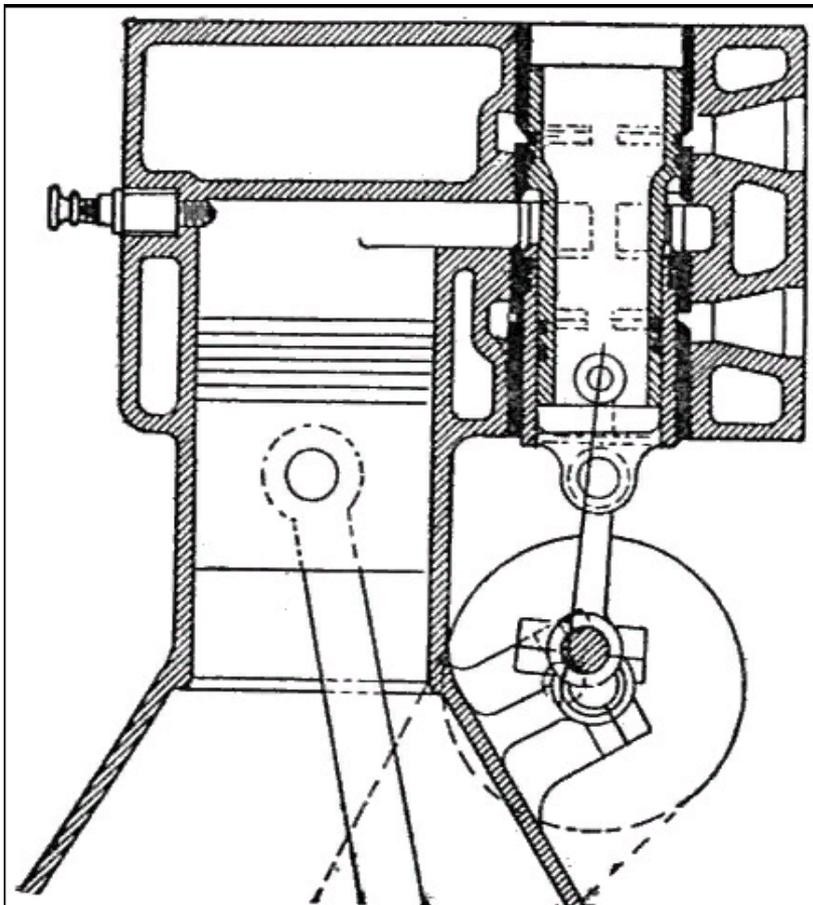


Работа выполнена при финансовой  
поддержке РФФИ по гранту 19-08-00367

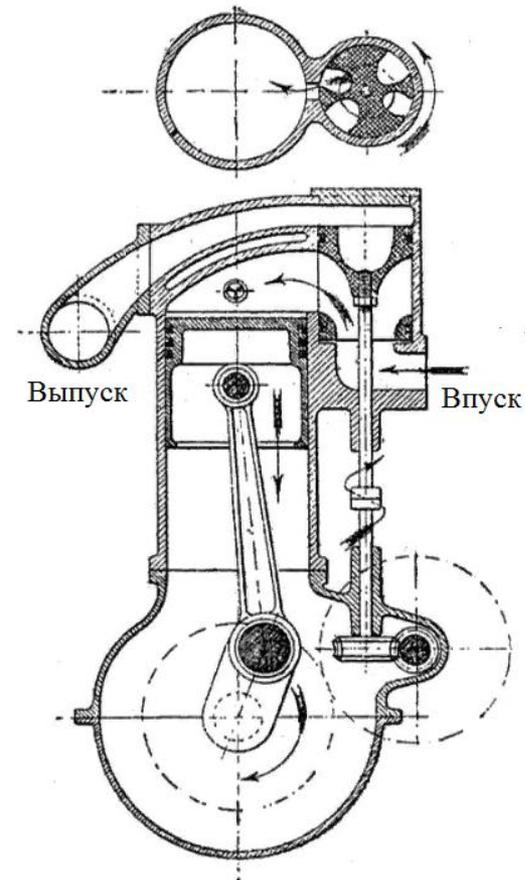
# История развития механизмов газораспределения (МГР):

## 1 - МГР золотникового типа

Возвратно-поступательного типа



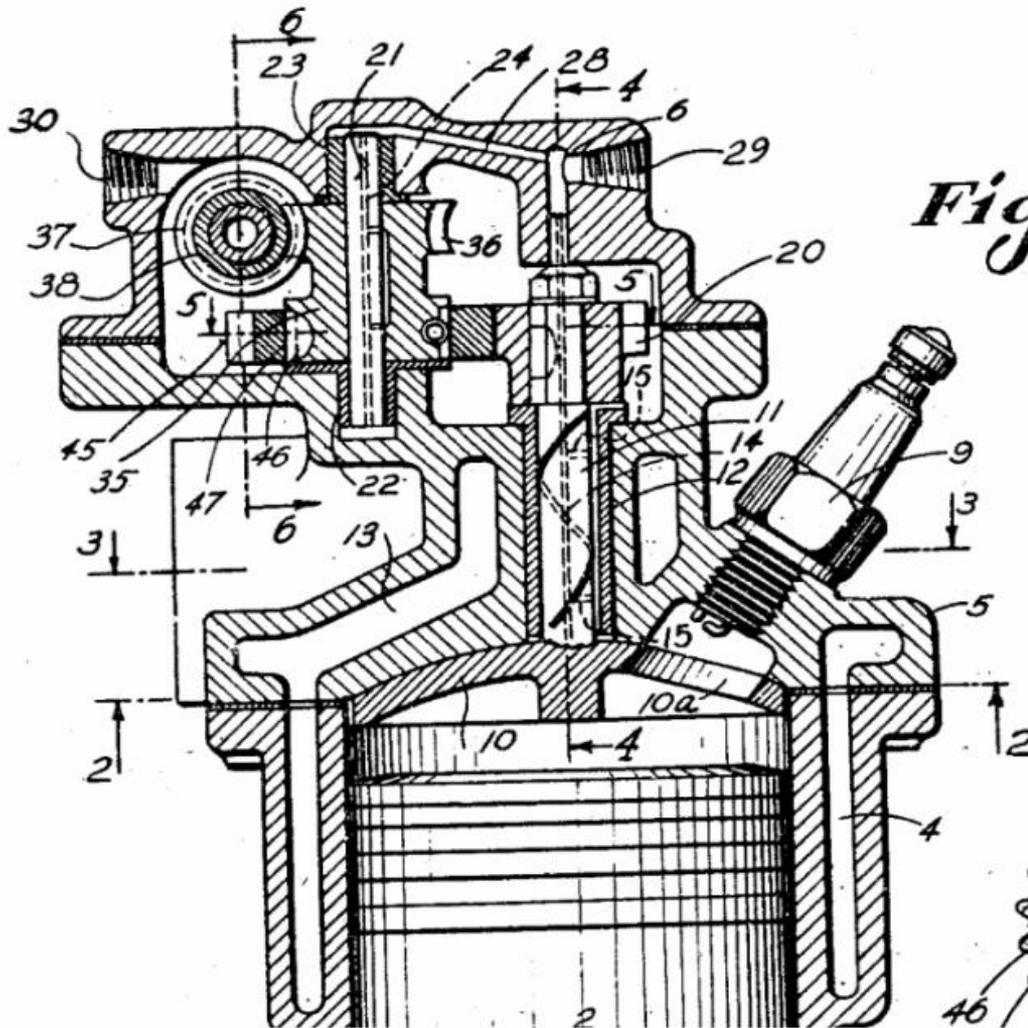
Вращающегося типа



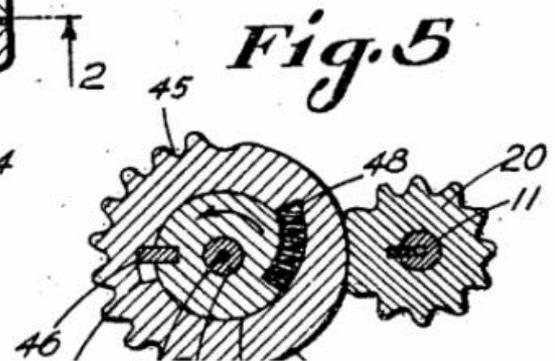
# ДИСКОВЫЙ ЗОЛОТНИК С ИМПУЛЬСНЫМ ВРАЩЕНИЕМ

Filed March 16, 1945

2 Sheets-Sheet 1



*Fig. 1*

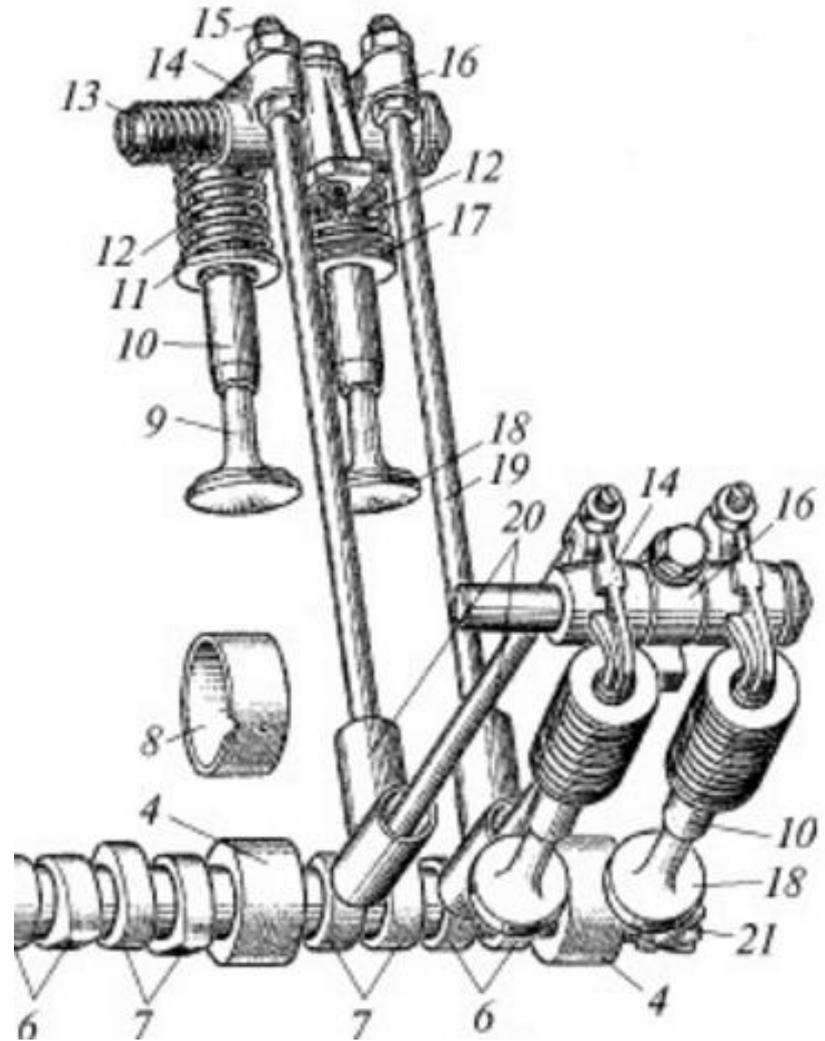
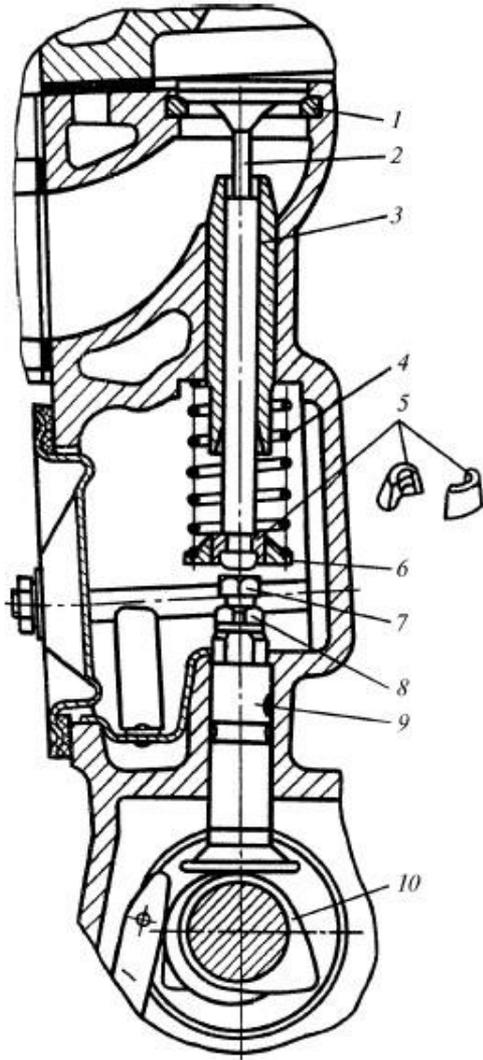


*Fig. 5*

# 2 - МГР клапанного типа

Нижнеклапанный

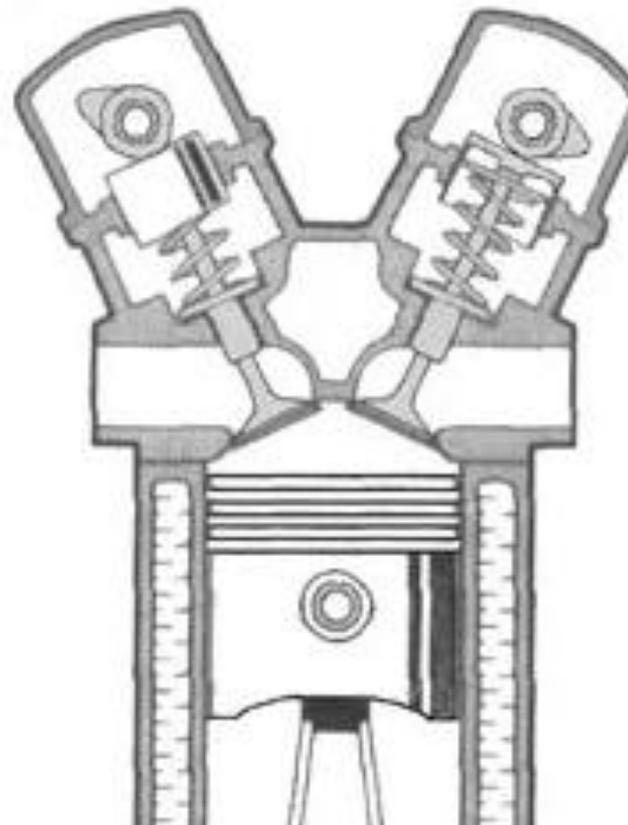
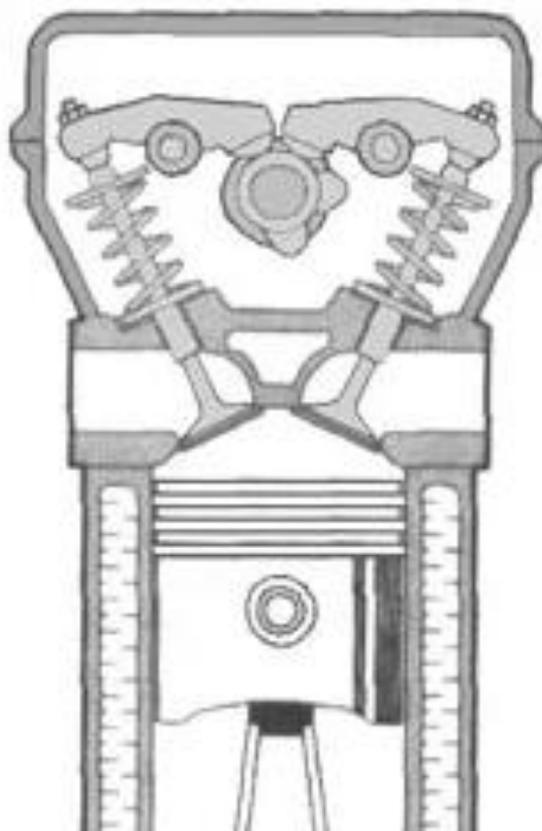
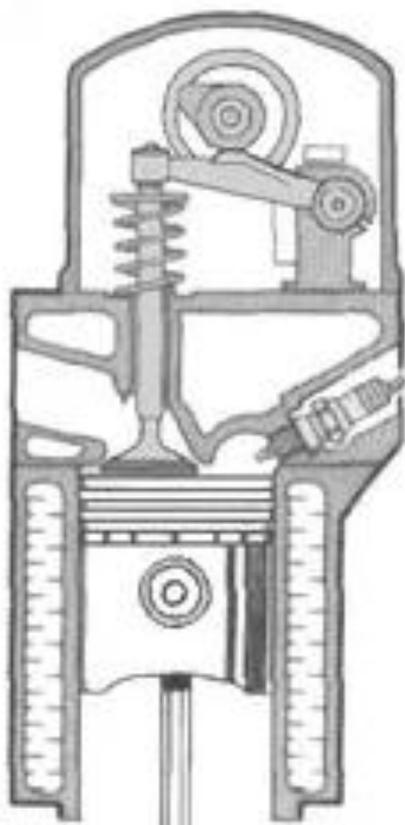
Верхнеклапанный - ОНУ



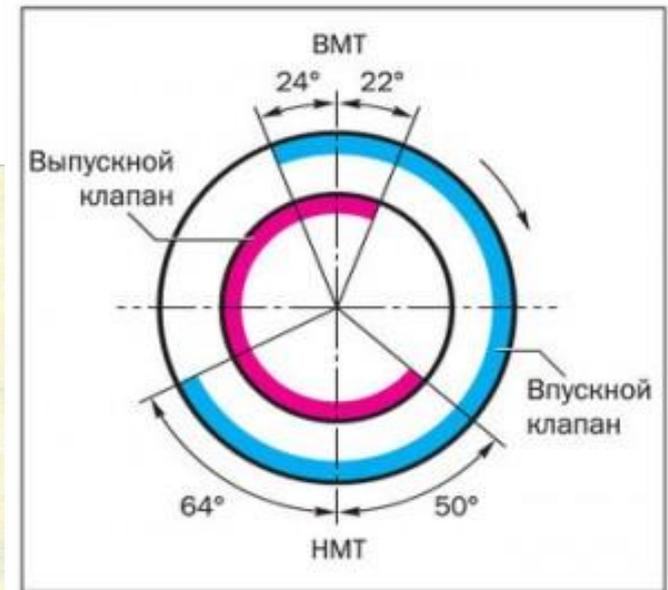
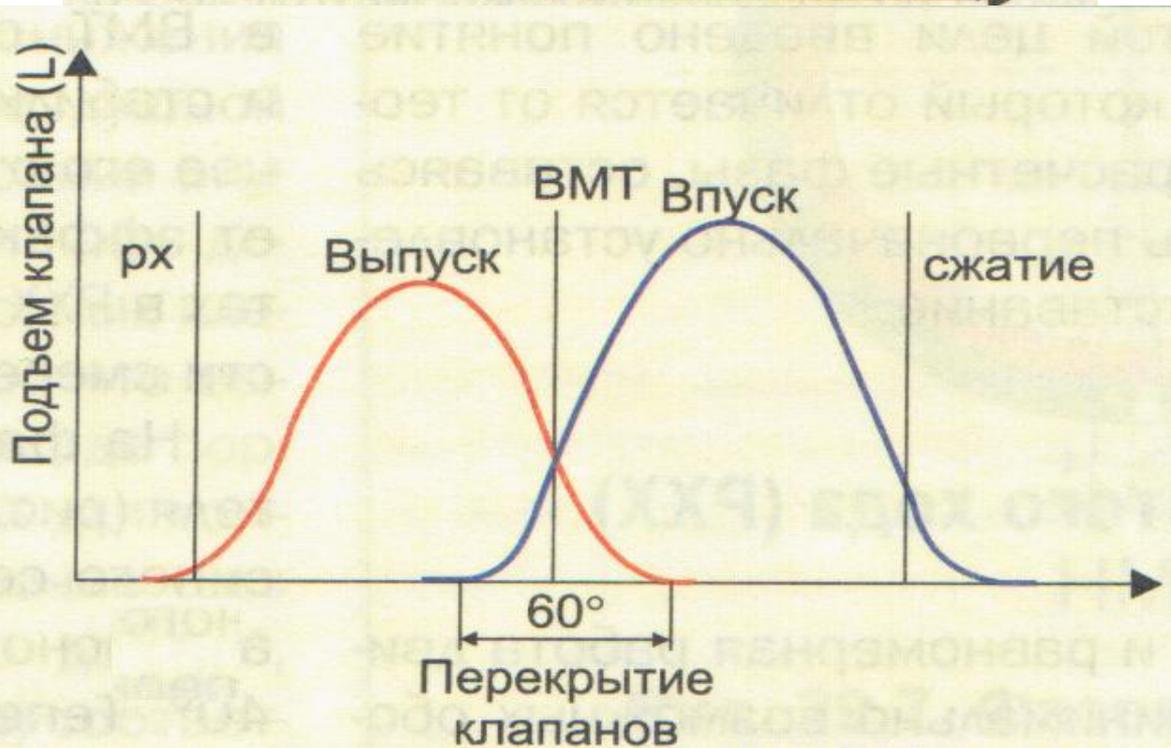
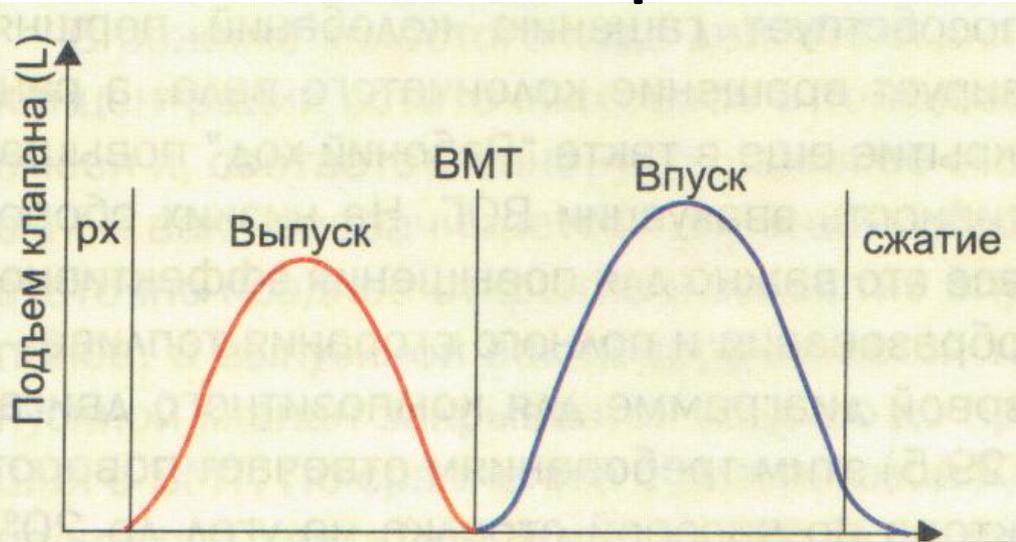
# МГР клапанного типа с верхним расположением распредвала

## СОНС

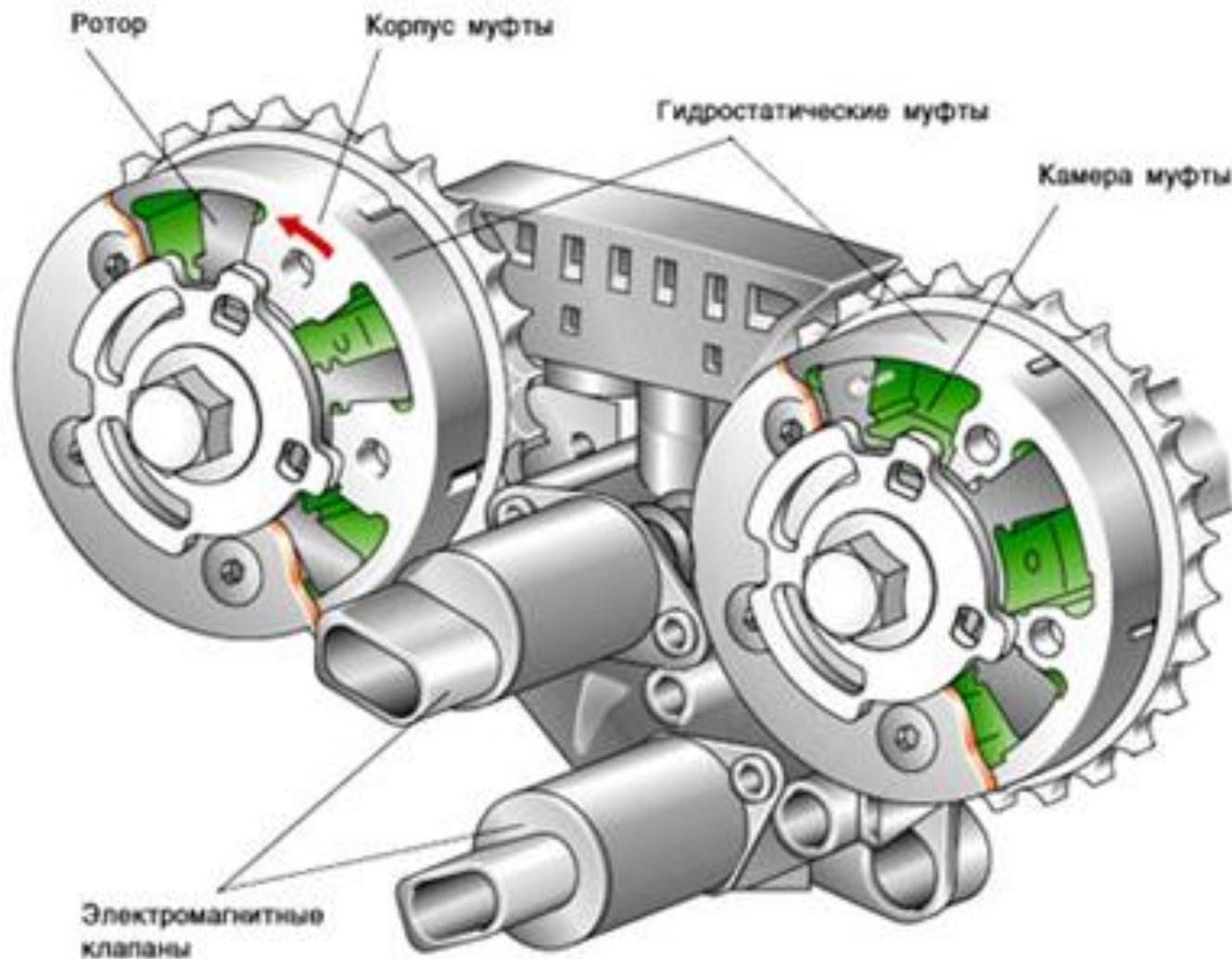
## ДОНС



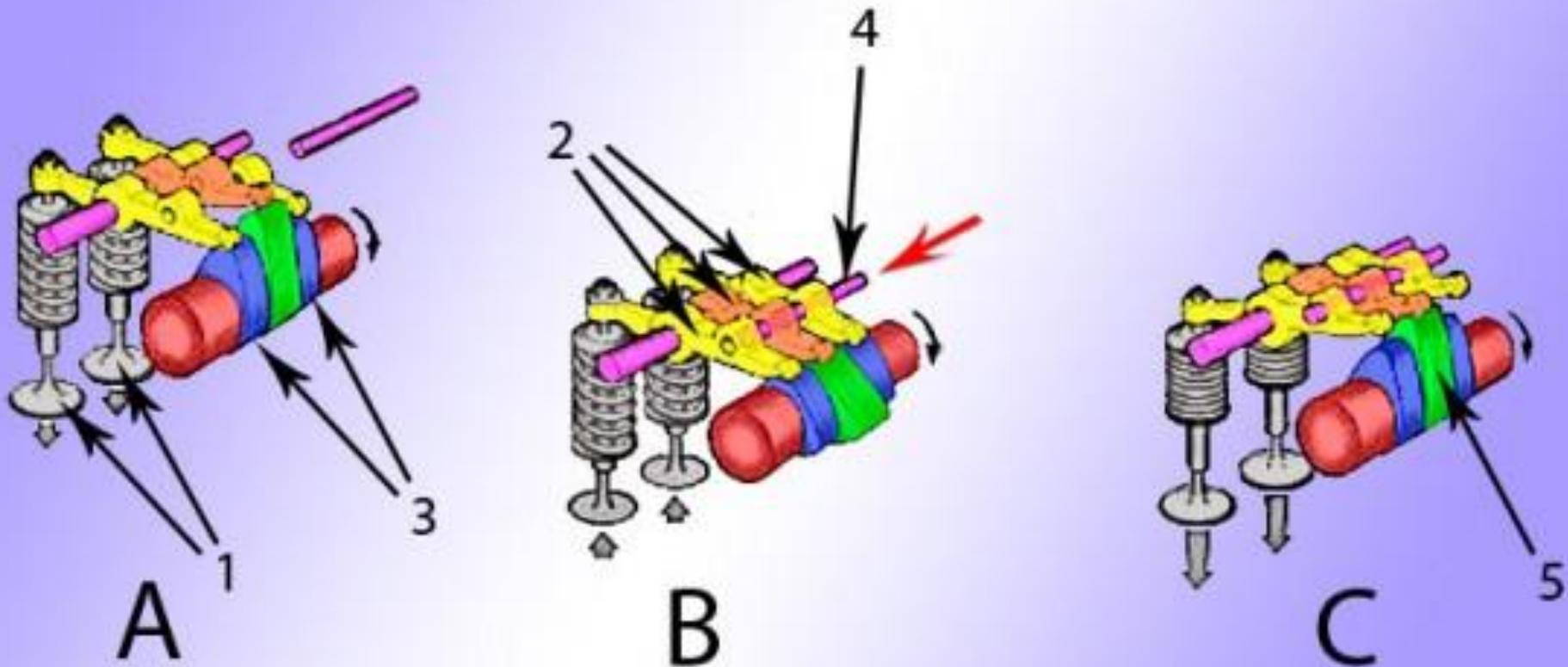
# Изменяемые фазы газораспределения



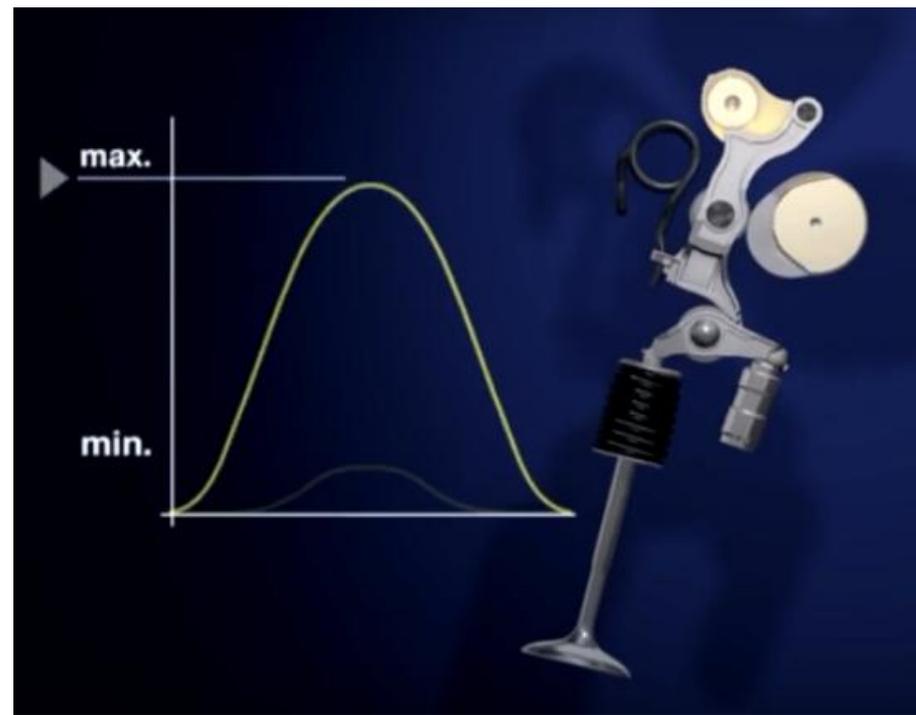
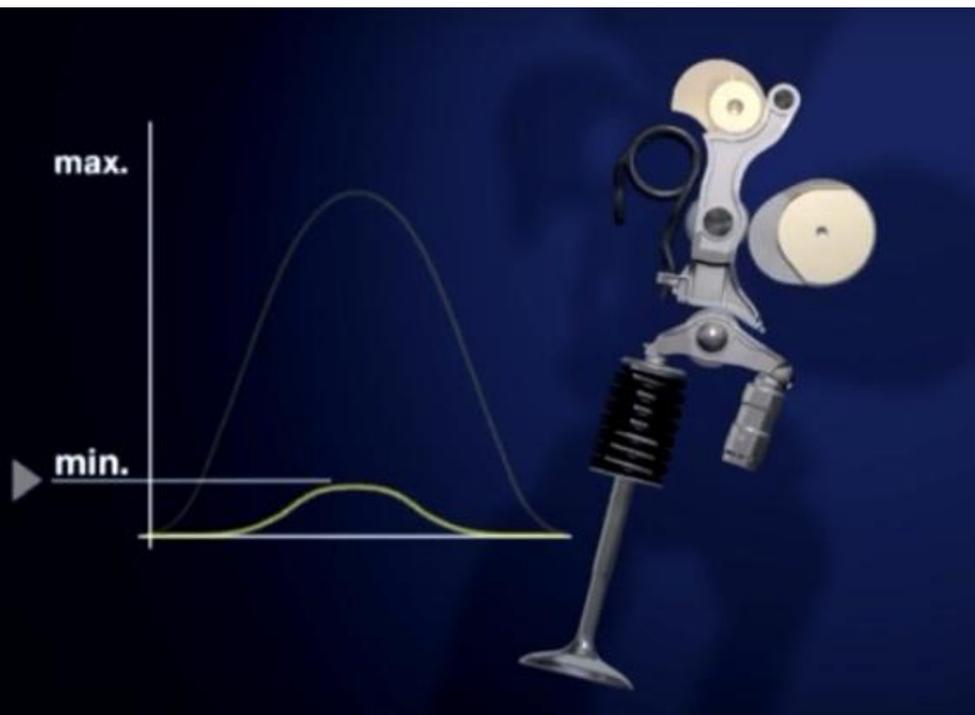
# Принцип изменения фаз основан на повороте распредвала - VVT-i, Dual VVT-i



# Система изменения фаз газораспределения с разной формой кулачков



# Система с изменением величины хода впускного клапана Valvetronic BMW без дроссельной заслонки



# Электромагнитный привод клапанов (безвальная конструкция)



Двойное преобразование энергии

Двигатель  
внутреннего  
сгорания

Генератор  
электро-  
энергии

Безвальный  
механизм  
газораспределения  
с электромагнитами

$\eta = 0.8$

$\eta = 0.5$

$\eta = 0.4$

Рекуперация отсутствует  
Низкий КПД

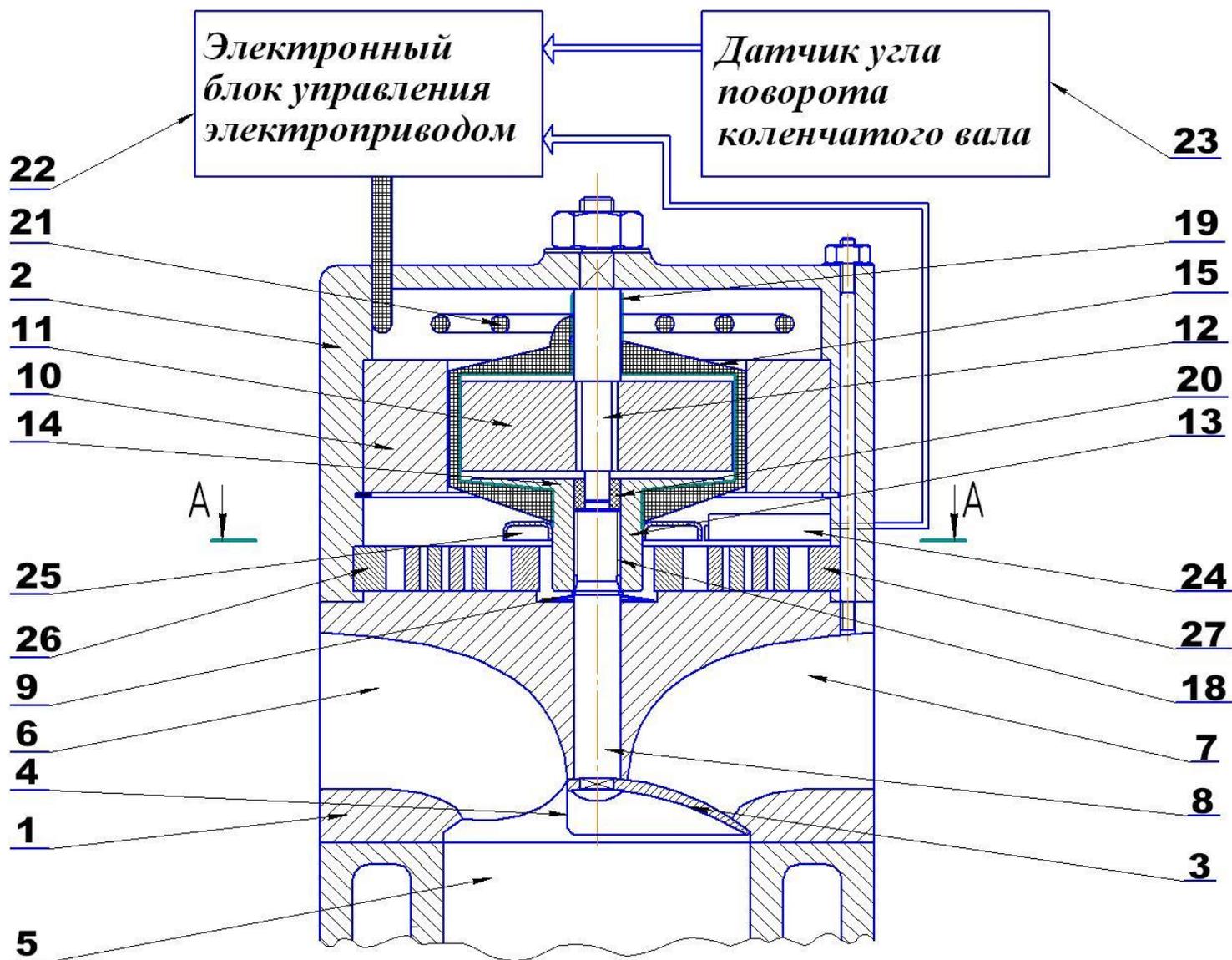
Повышение КПД безвальной  
конструкции МГР с электроприводом  
возможно на основе электропривода  
магнитоэлектрического типа с  
использованием рекуперации  
электроэнергии на обратном ходе  
исполнительного механизма



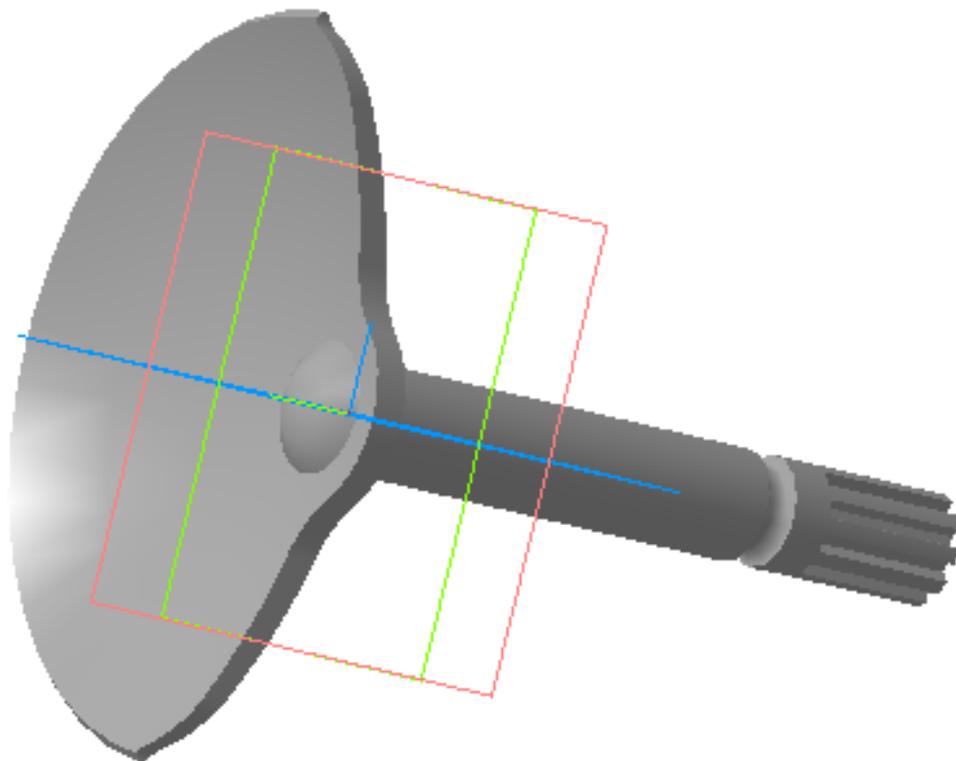
ГРАНТ 12-08-00012-а



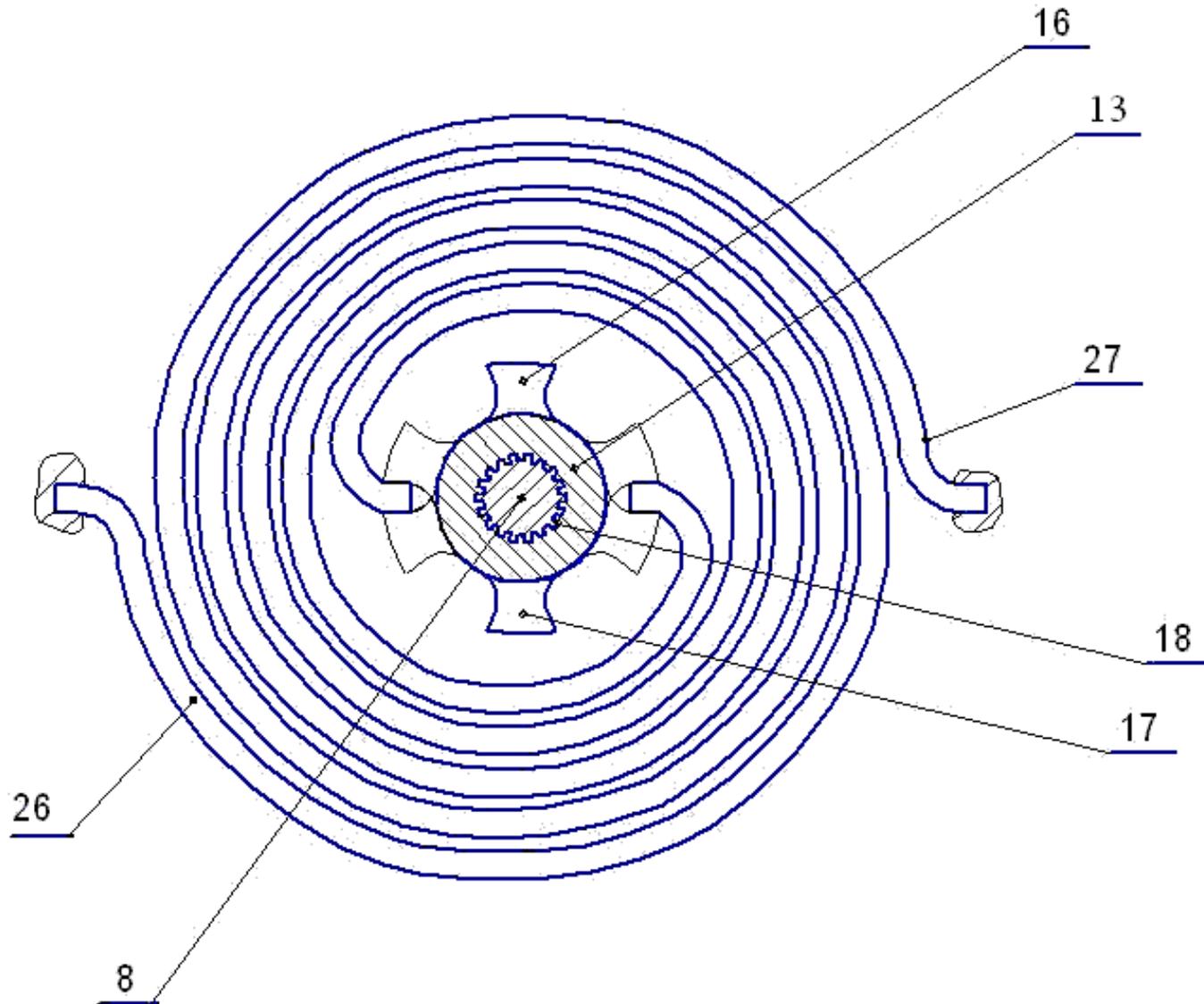
# Конструкция МГР с поворотным золотником по патенту РФ на полезную модель № 23462



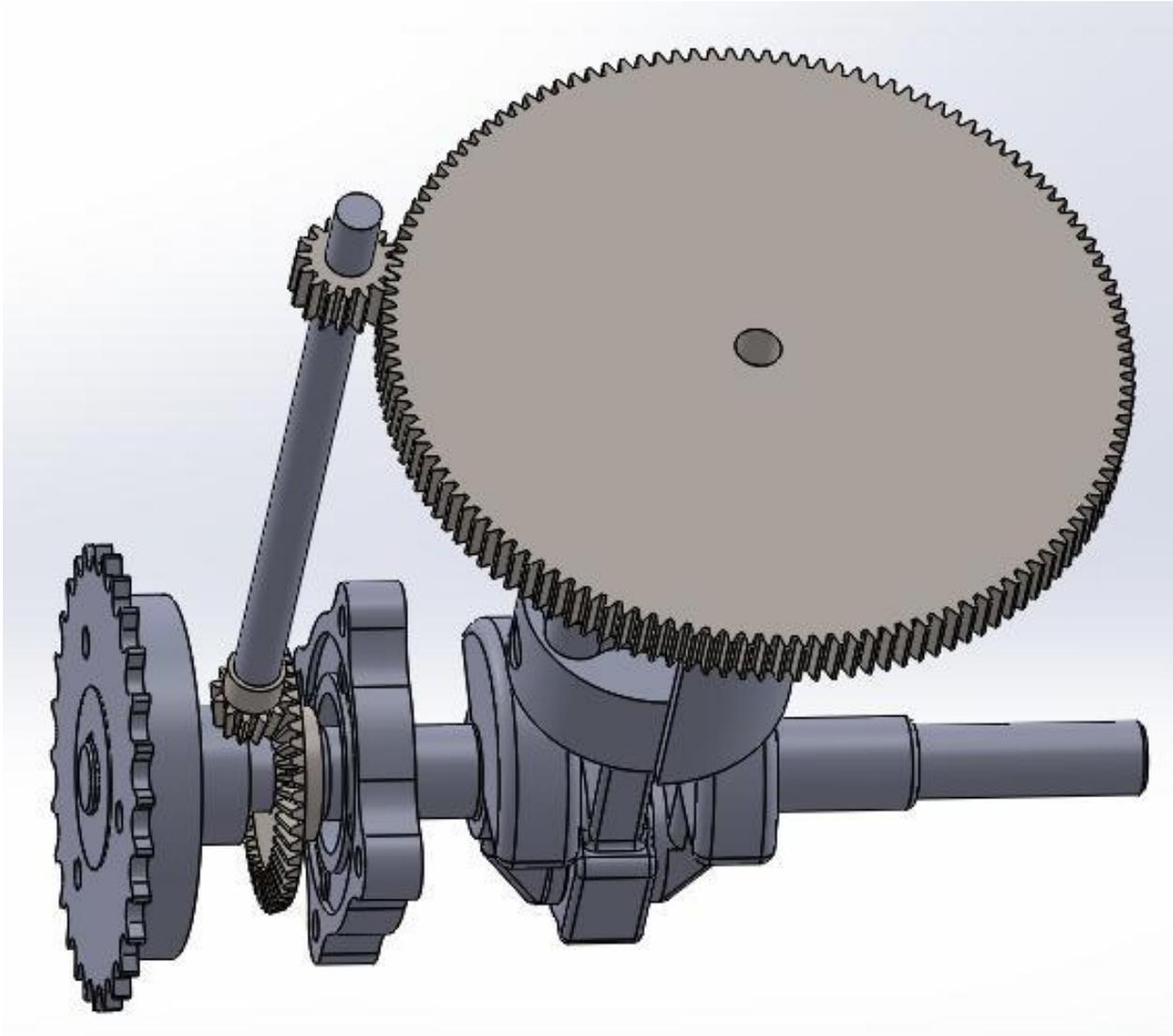
# ДИСКОВЫЙ ЗОЛОТНИК



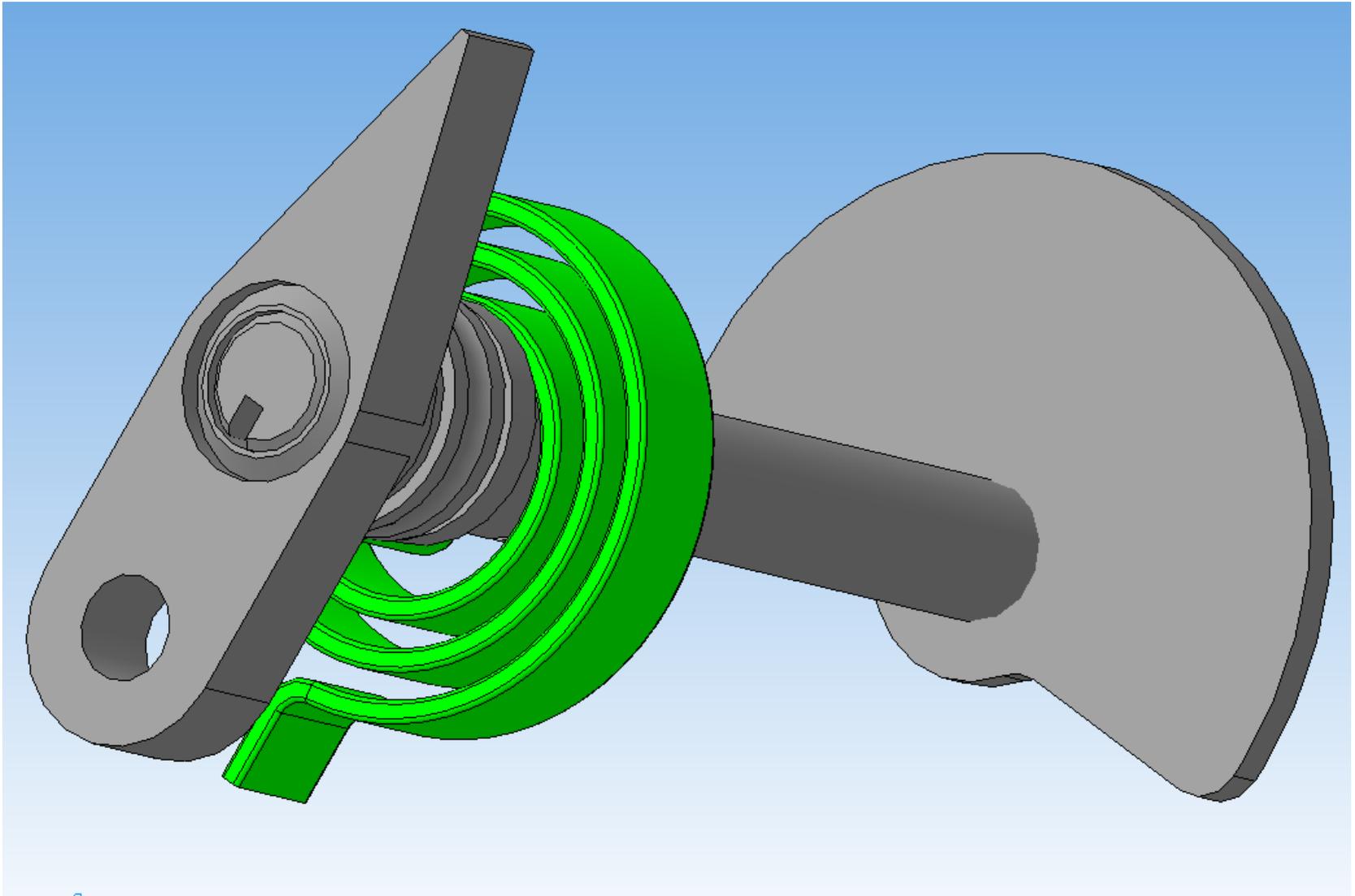
# Возвратные пружины



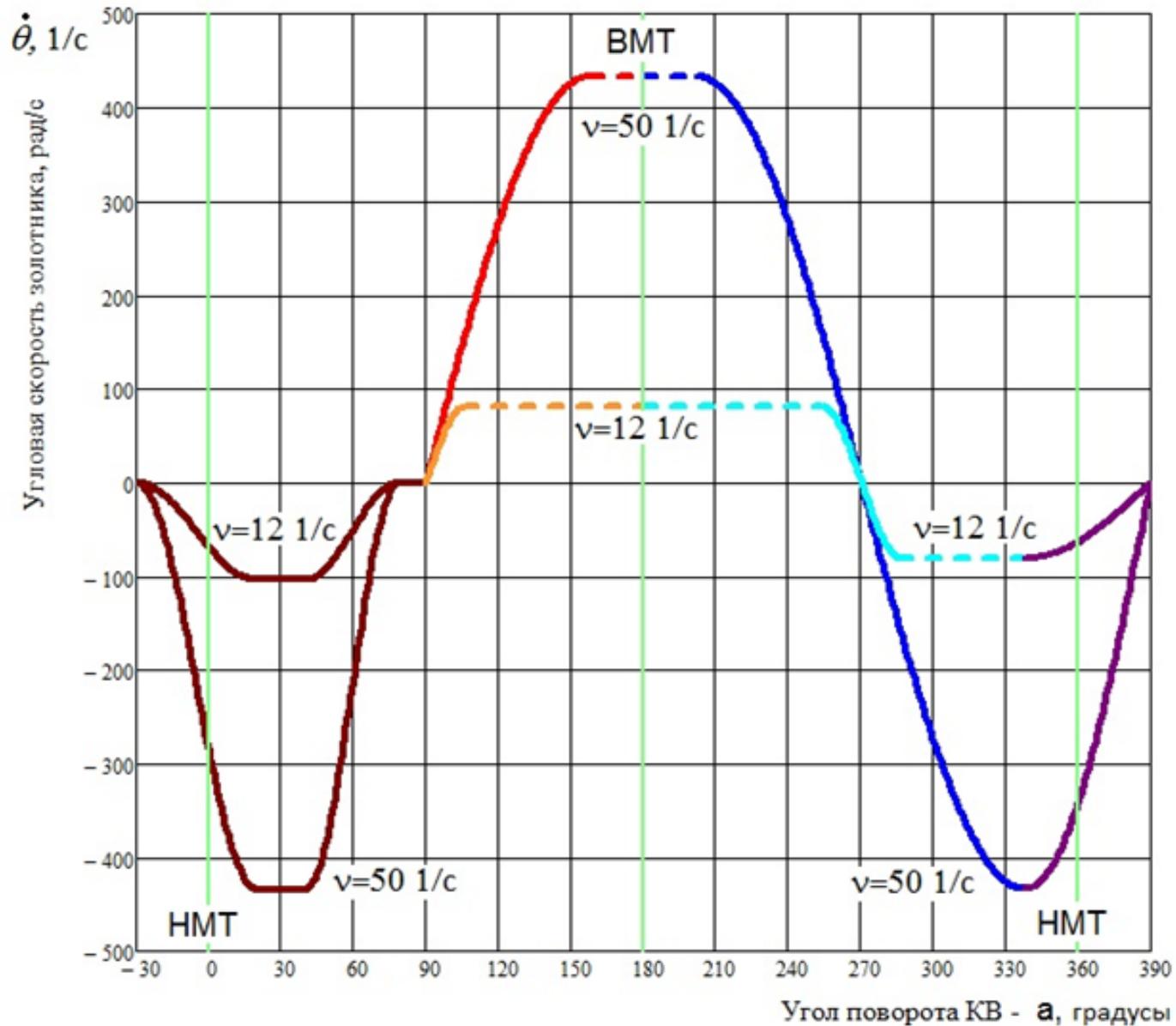
# Новая конструкция МГР на основе мехатроники



В качестве возвратной пружины используется спиральная пружина в виде спирали Архимеда, закрепленная на валу золотника.



# График движения золотника



# Схема перемещения упоров возвратной пружины



**Методика расчета  
жесткости  
возвратной пружины**

$$J \cdot \ddot{\theta} = -\chi \cdot \theta$$

Решением этого уравнения является  
гармоническая функция:

$$\theta = \theta_m \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Собственная частота колебаний золотника:

$$\omega = (\chi / J)^{0,5}.$$

Период собственных колебаний

$$T = 2\pi / \omega.$$

Время поворота коленчатого вала на угол в  $90^\circ$  при максимальной частоте коленчатого вала обозначим -  $T_{90}$

$$T_{90} = T / 4 = 1 / 4 \cdot v_{\max} \quad (1)$$

$$T_{90} = T_{\text{spr}} + T_{\text{free}} \quad (2)$$

# гармоническое движение золотника

$$T = 2\pi(J / \chi)^{0,5}$$

$$T_{\text{spr}} = T / 4 = (\pi / 2) \cdot (J / \chi)^{0,5}$$

(3)

$E_k$  - кинетическая энергия  
золотника

$E_{\Pi}$  - потенциальная энергия  
полностью закрученной пружины

$$E_k = \frac{J \cdot \dot{\theta}^2}{2} = E_{\Pi} = \frac{\chi \cdot \theta^2}{2}$$

(4)

Полный угол поворота золотника –  $90^\circ$

Угол закручивания пружины для  
максимальной частоты КВ -  $60^\circ$

Угол поворота золотника по инерции -  $30^\circ$

$$\dot{\theta}_{60} = \theta_{60} \sqrt{\frac{\chi}{J}} \quad (5)$$

$$T_{free} = \frac{\theta_{30}}{\dot{\theta}_{60}} \quad (6)$$

$$T_{free} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{J}{\chi}} \quad (7)$$

$$T_{90} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{J}{\chi}} + \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{J}{\chi}} \quad (8)$$

$$\chi = 16 \left( \frac{1}{2} + \frac{\pi}{2} \right)^2 \cdot \nu^2 \cdot J \quad (9)$$

**Вывод:**

**Жесткость возвратной пружины  
должна быть пропорциональна  
квадрату частоты вращения  
коленчатого вала.**

**Решение проблемы возможно**

**за счет уменьшение угла  
закручивания возвратной пружины  
при уменьшении частоты вращения  
коленчатого вала путем  
перемещения упоров для выступа  
возвратной пружины с помощью  
системы автоматического  
регулирования**

Обозначим угол закручивания  
возвратной пружины как -  $\theta_m$ .  
Тогда угол поворота золотника в  
свободном движении по инерции  
будет  $\pi/2 - \theta_m$ .

$$\frac{\frac{\pi}{2} - \theta_m}{\theta_m} \sqrt{\frac{J}{\chi}} + \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{J}{\chi}} = \frac{1}{4 \cdot \nu}$$

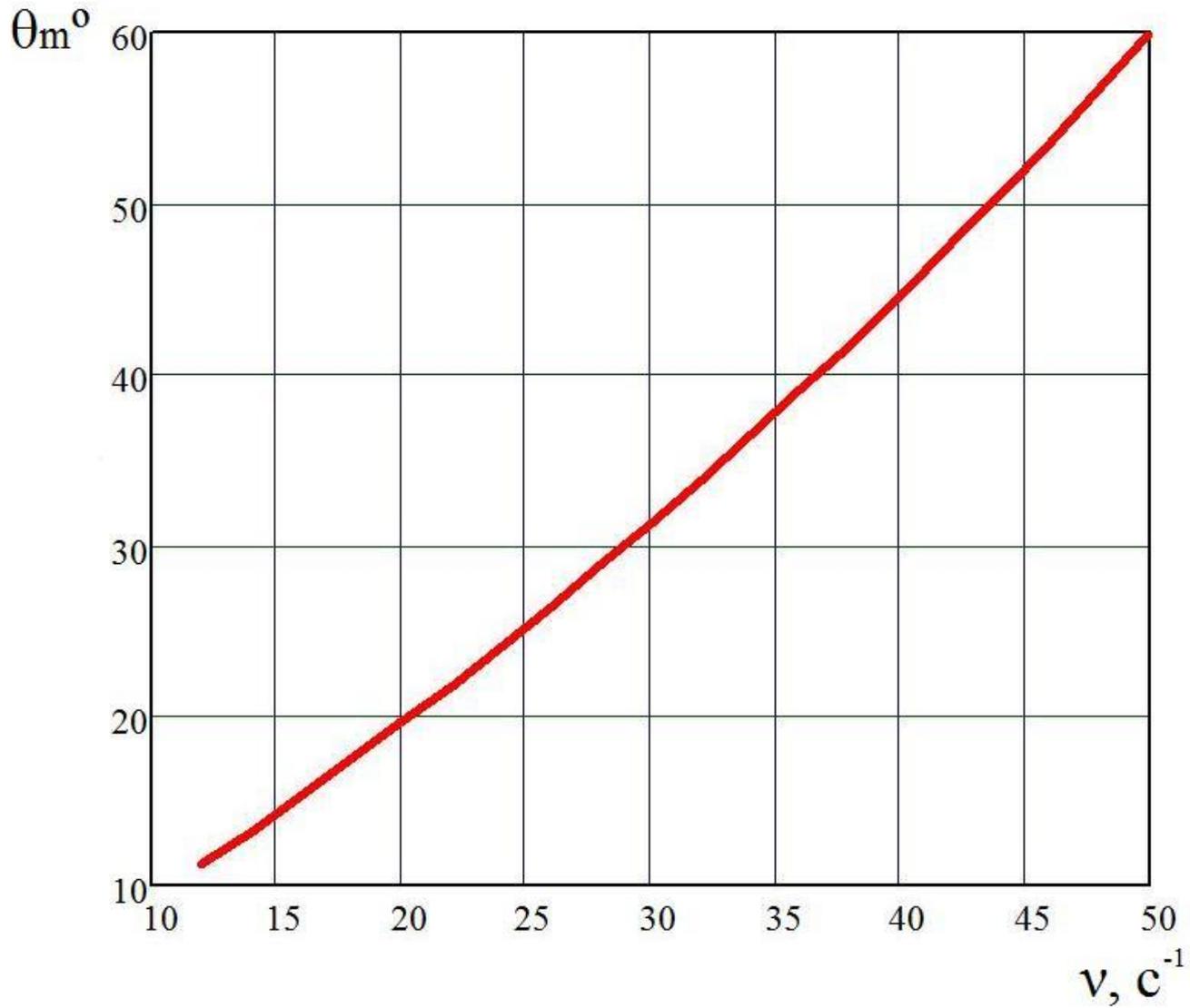
(10)

## Решение уравнения (10)

$$\theta_m = \frac{\pi}{\frac{1}{2\nu} \cdot \sqrt{\frac{\chi}{J} - \pi + 2}}$$

(11)

# График зависимости



Система автоматического регулирования изменяет положение упора для возвратной пружины при изменении частоты вращения во время такта сжатия и такта рабочего хода, когда золотник остается неподвижным и возвратная пружина не имеет контакта с упором.

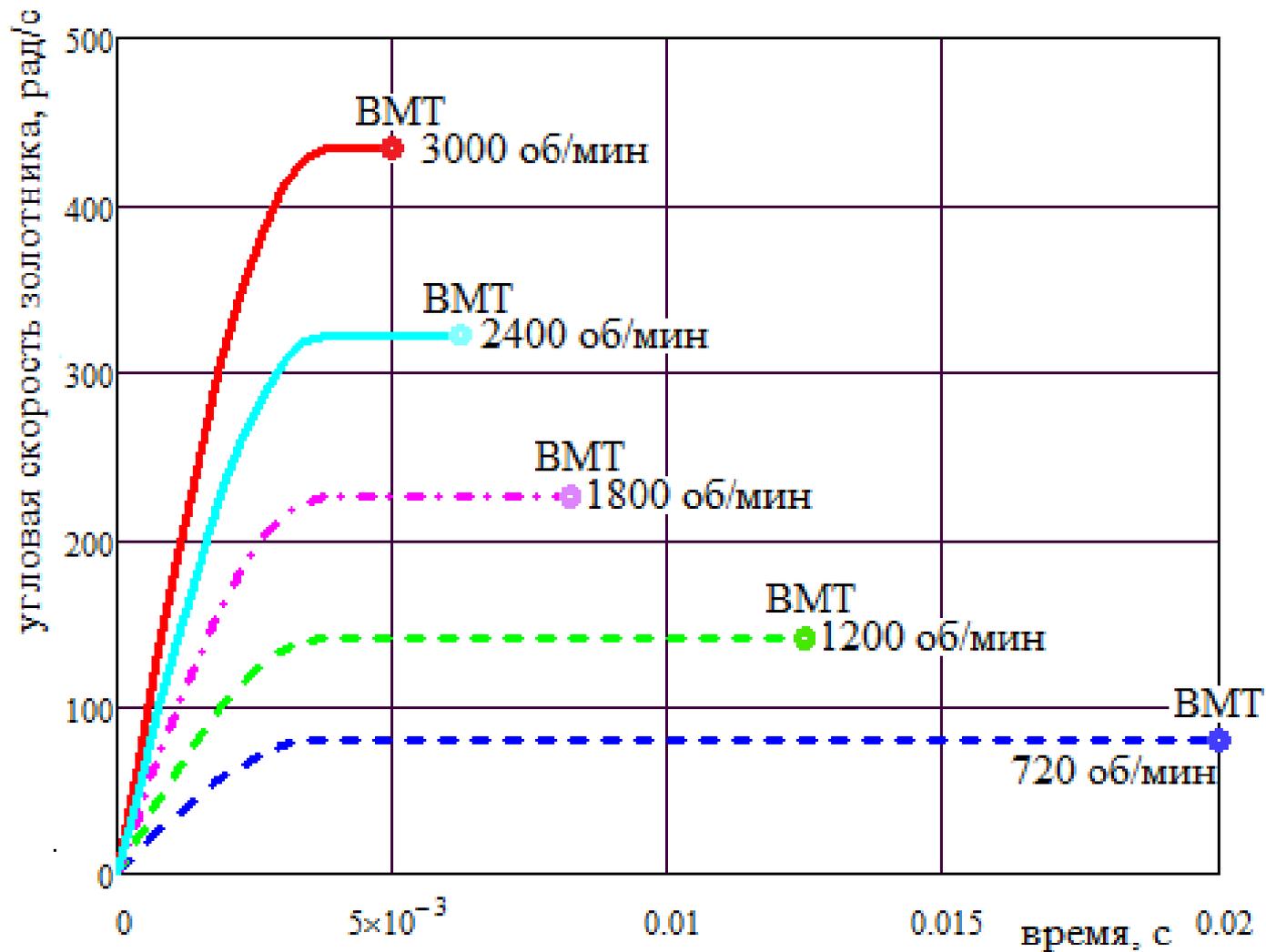
Поэтому энергозатраты на регулировку минимальны.

На участке разгона золотника под действием закрученной пружины угловая скорость золотника определяется по формуле:

$$\dot{\theta}(t) = -\omega\theta_m \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Где  $\theta_m$  – максимальный угол закручивания пружины,  $\omega$  – собственная частота колебаний золотника:

# Угловая скорость золотника во второй половине такта выпуска при различных частотах вращения ДВС



# Заключение

Полученные результаты позволяют выполнить расчет жесткости возвратной пружины и необходимый диапазон регулировки угла закручивания пружины для различных частот вращения коленчатого вала при установке рычага регулировки на полную мощность.

**Благодарю  
за внимание.**