

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

И.В. Меркурьев, merkuryeviv@ya.ru



РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

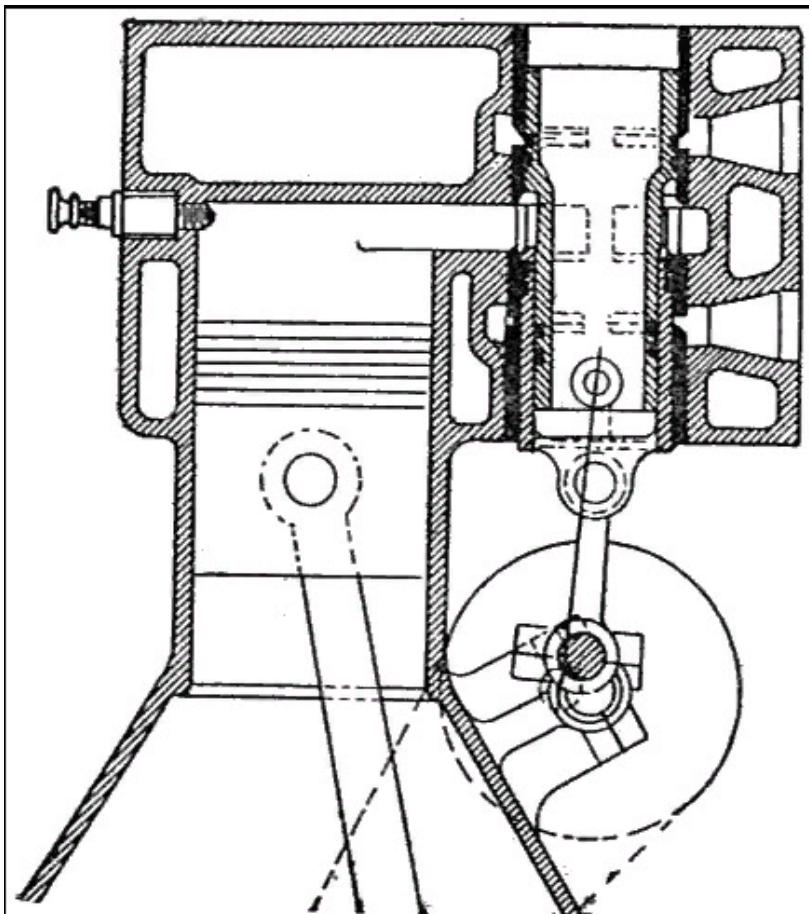


Работа выполнена при финансовой
поддержке РФФИ по гранту 19-08-00367

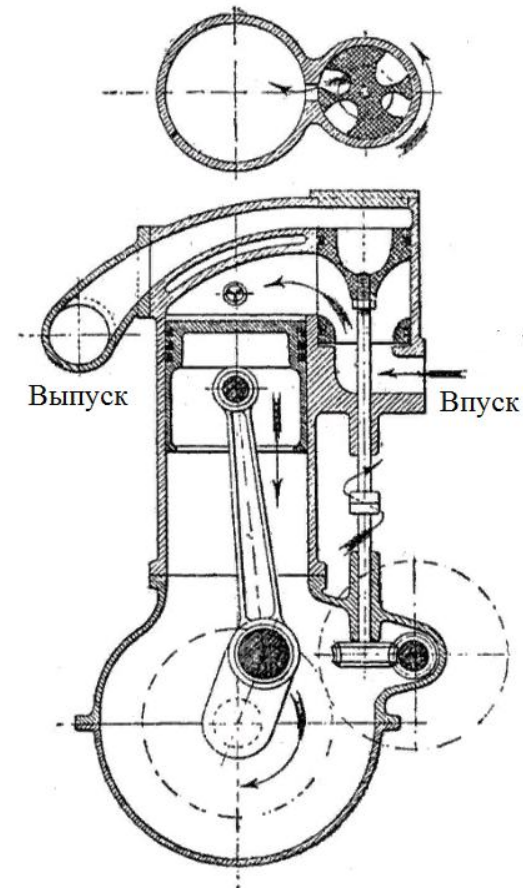
История развития механизмов газораспределения (МГР):

1 - МГР золотникового типа

Возвратно-поступательного типа



Вращающегося типа



ДИСКОВЫЙ ЗОЛОТНИК С ИМПУЛЬСНЫМ ВРАЩЕНИЕМ

Filed March 16, 1945

2 Sheets-Sheet 1

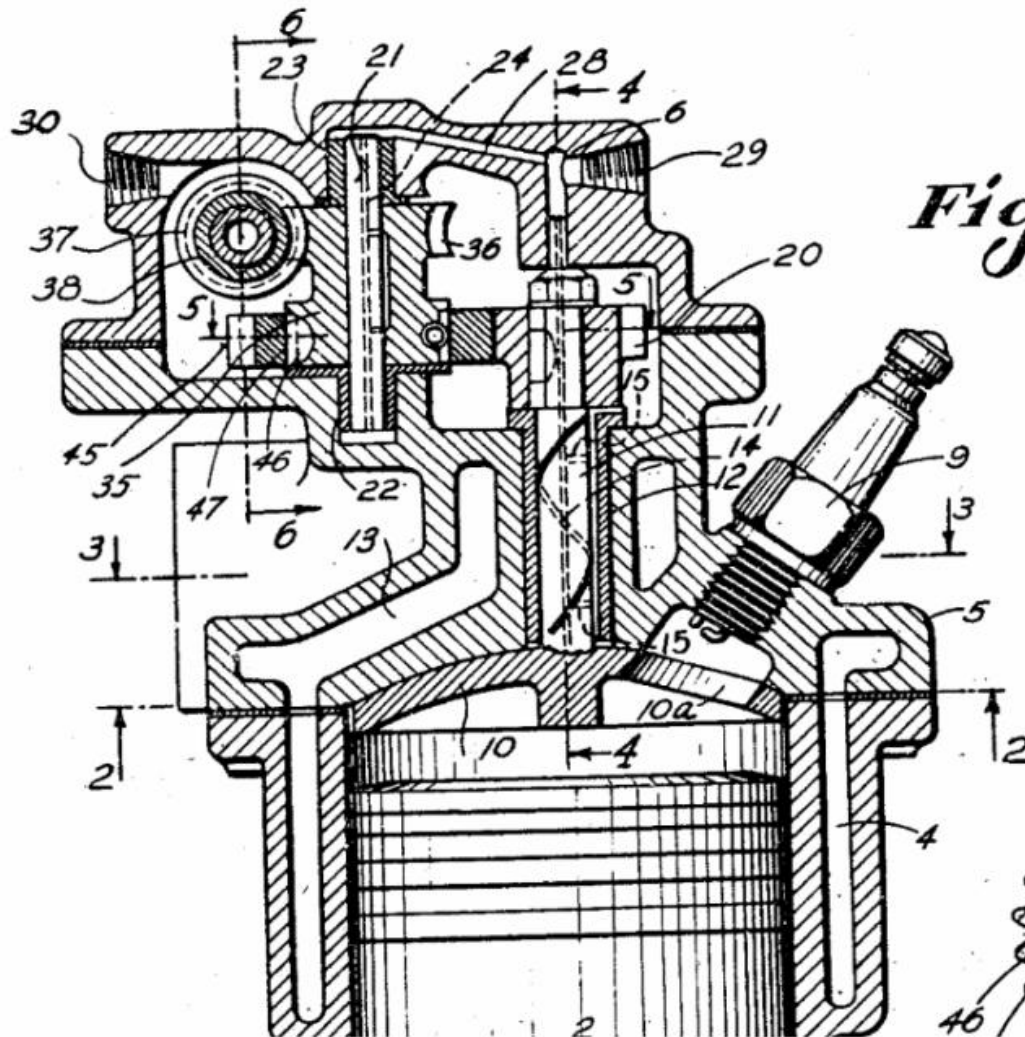


Fig. 1

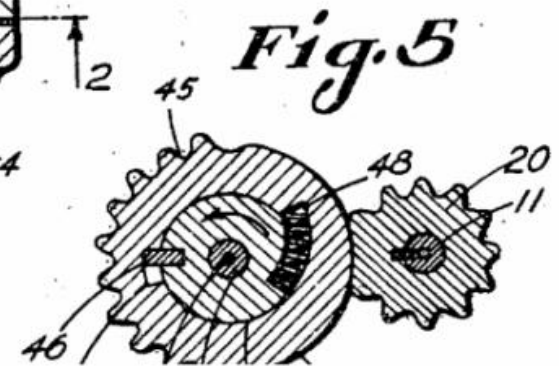
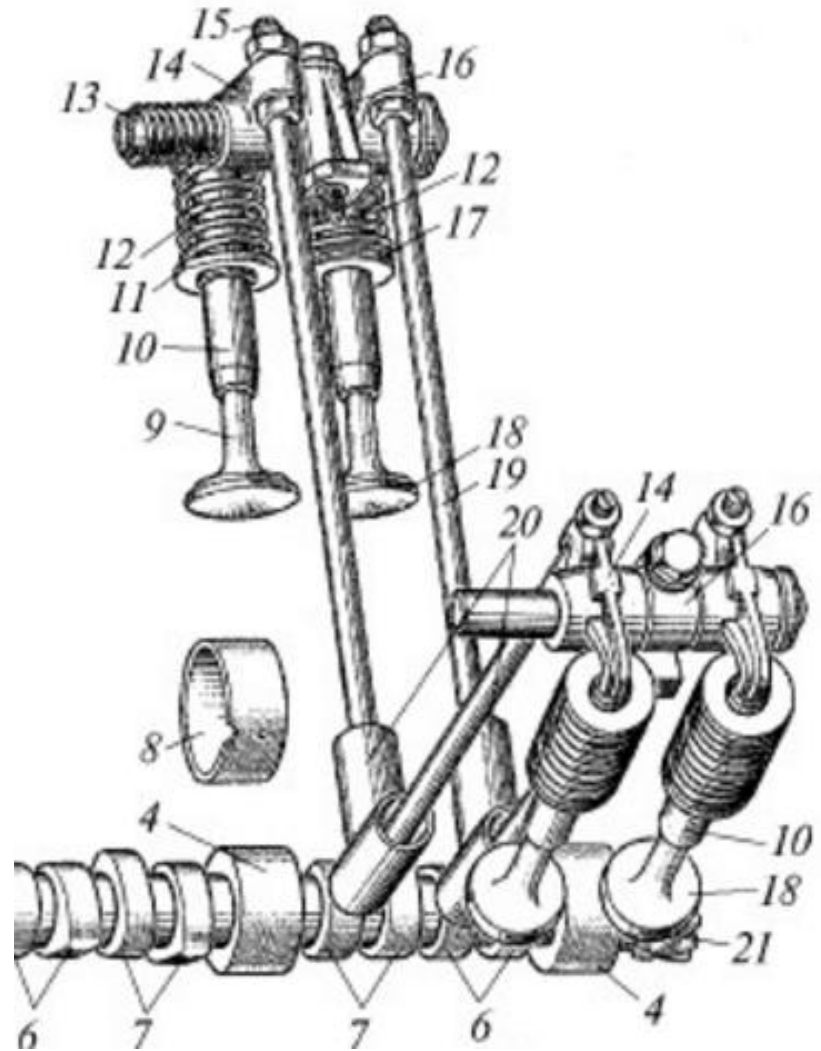
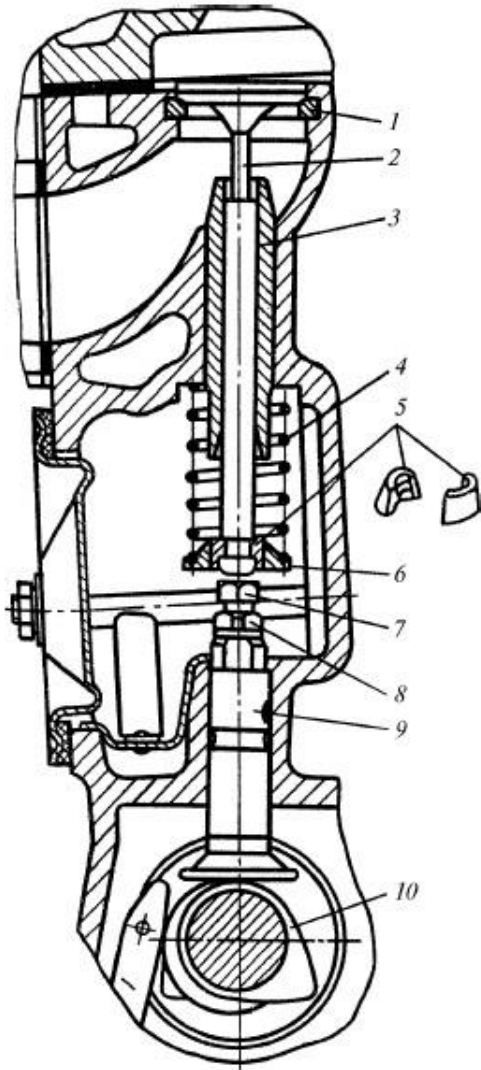


Fig. 5

2 - МГР клапанного типа

Нижнеклапанный

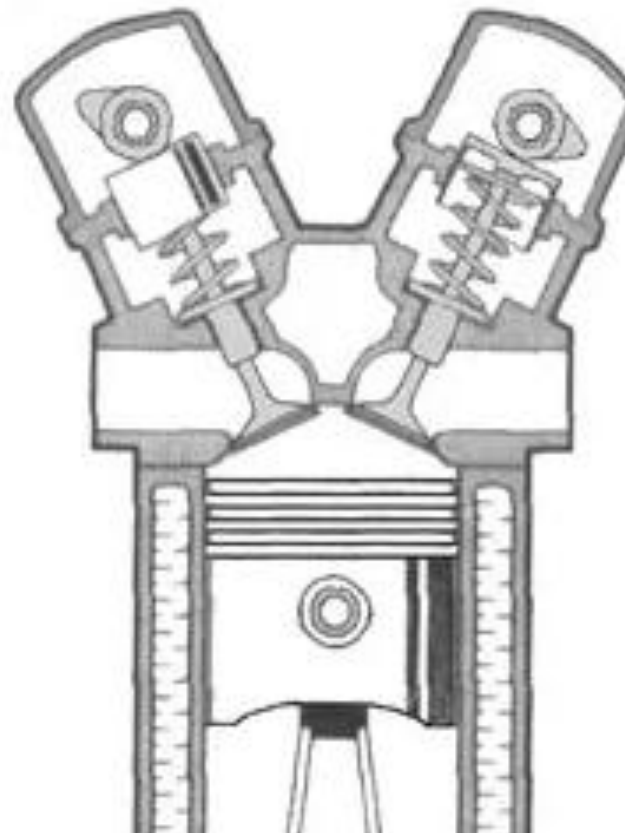
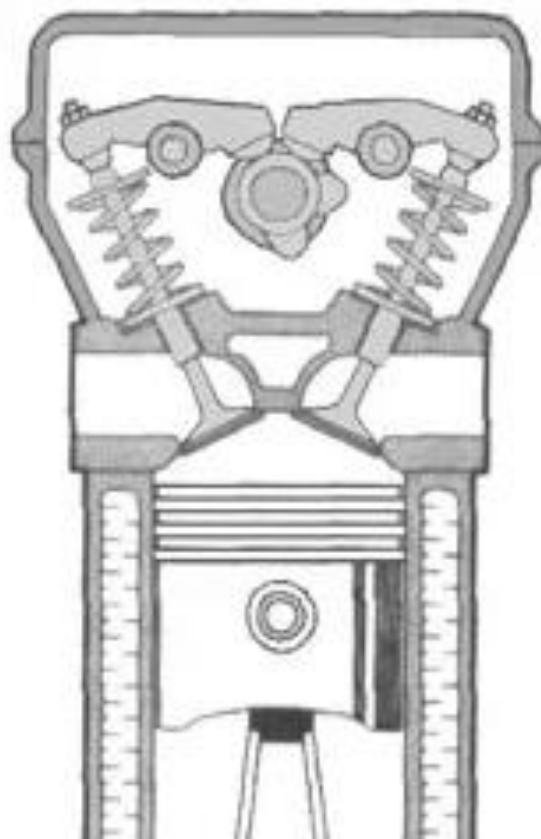
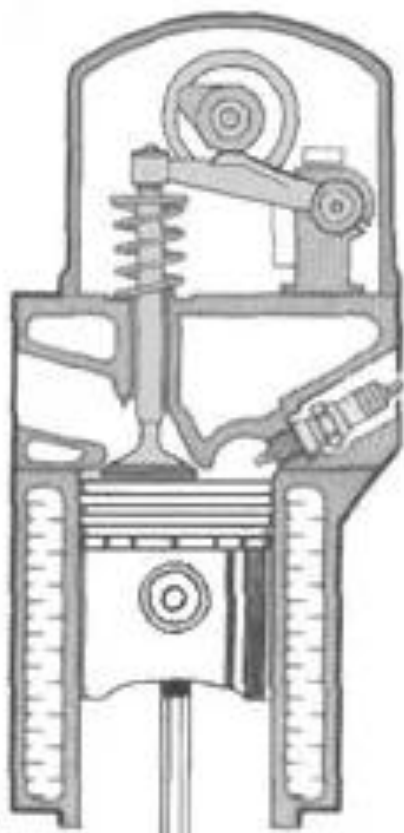
Верхнеклапанный - ОНУ



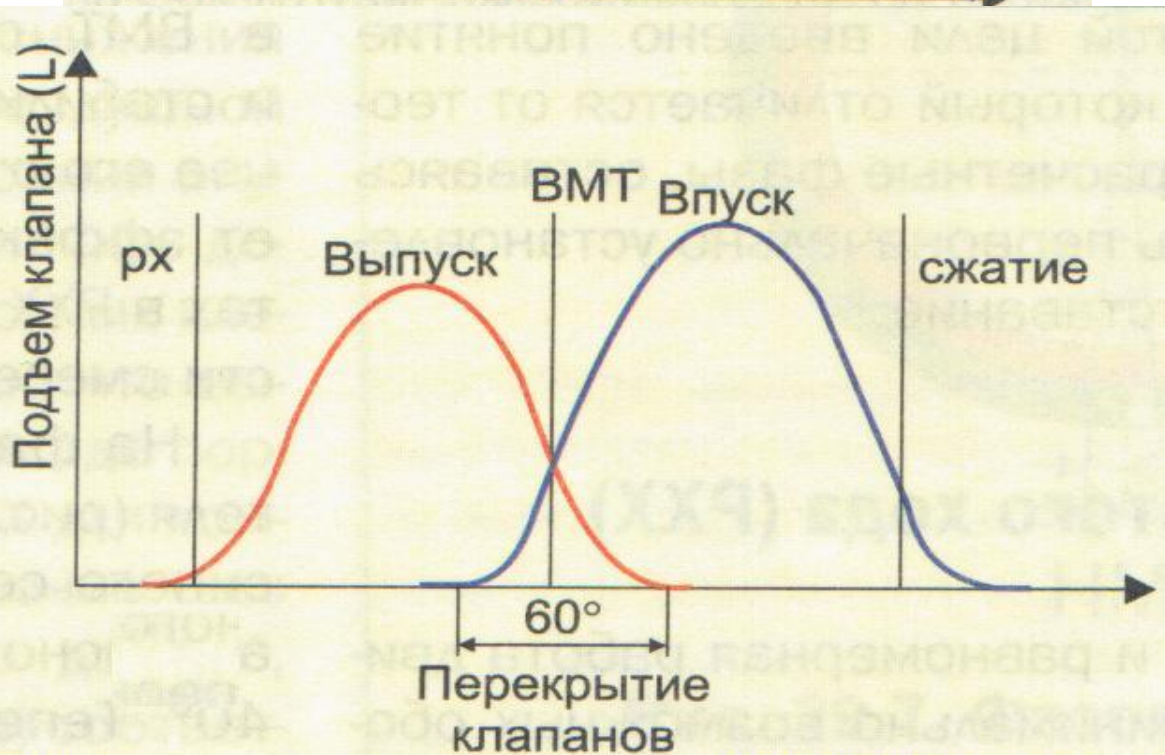
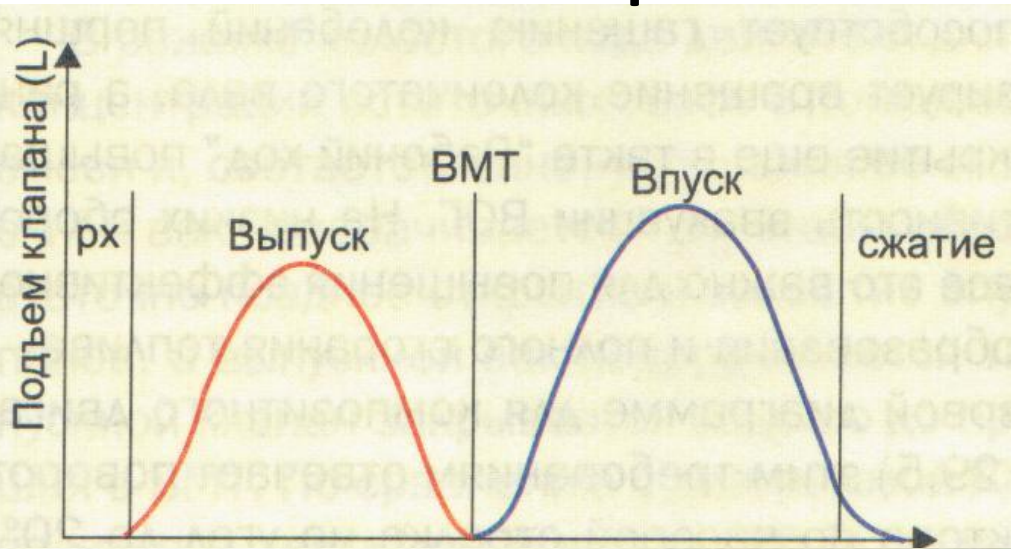
МГР клапанного типа с верхним расположением распредвала

СОНС

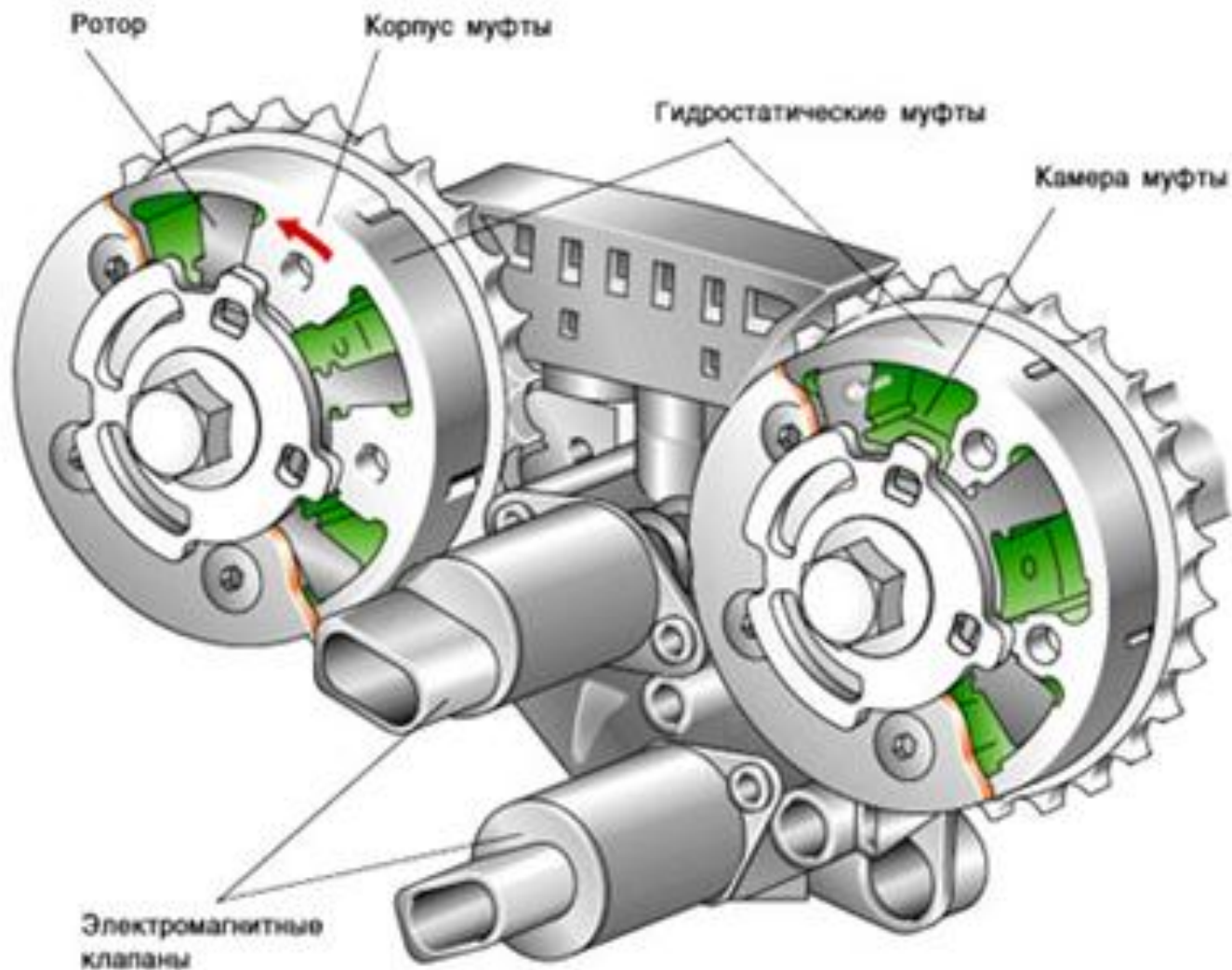
ДОНС



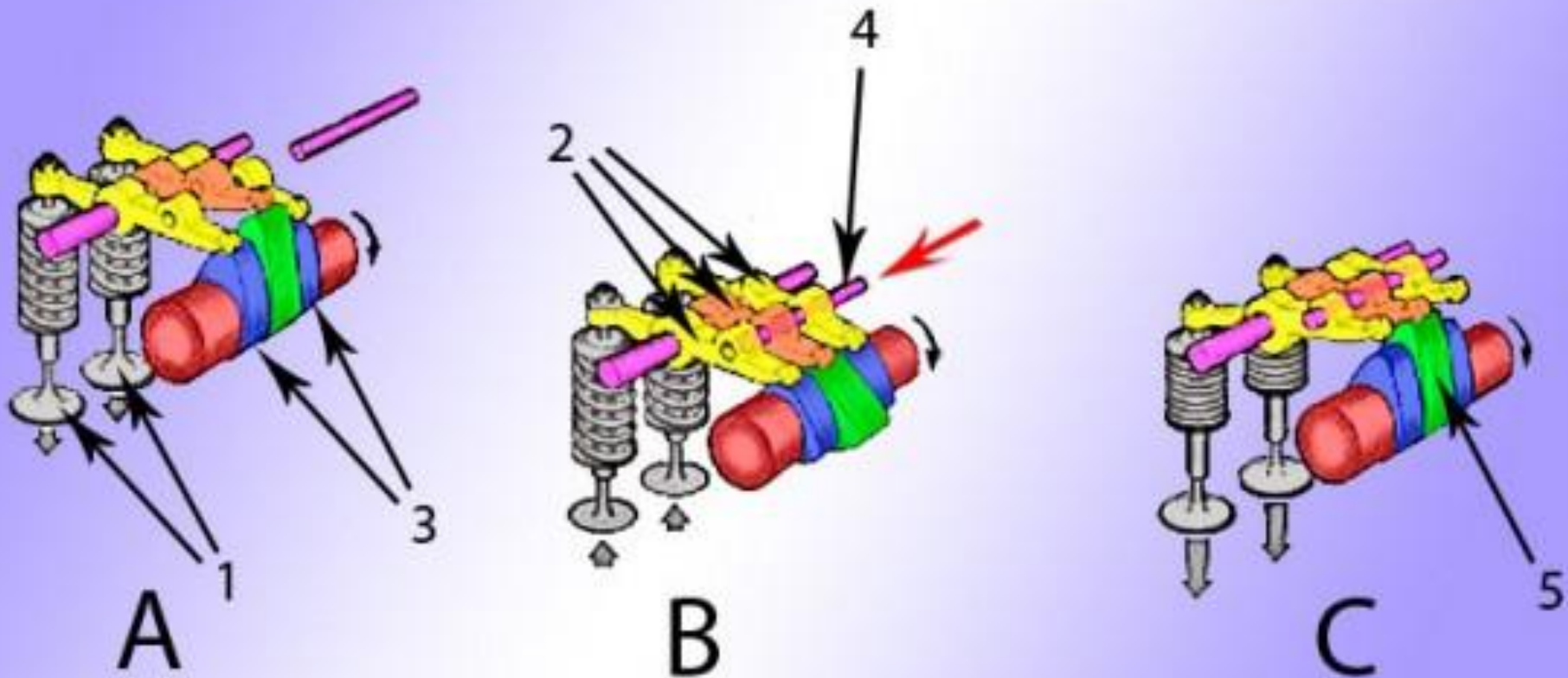
Изменяемые фазы газораспределения



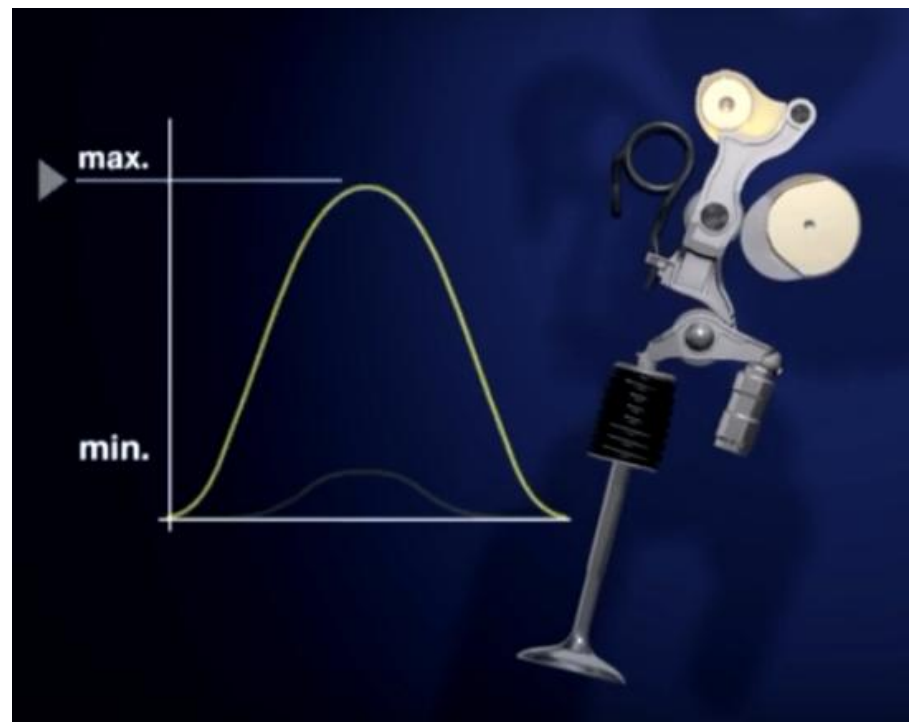
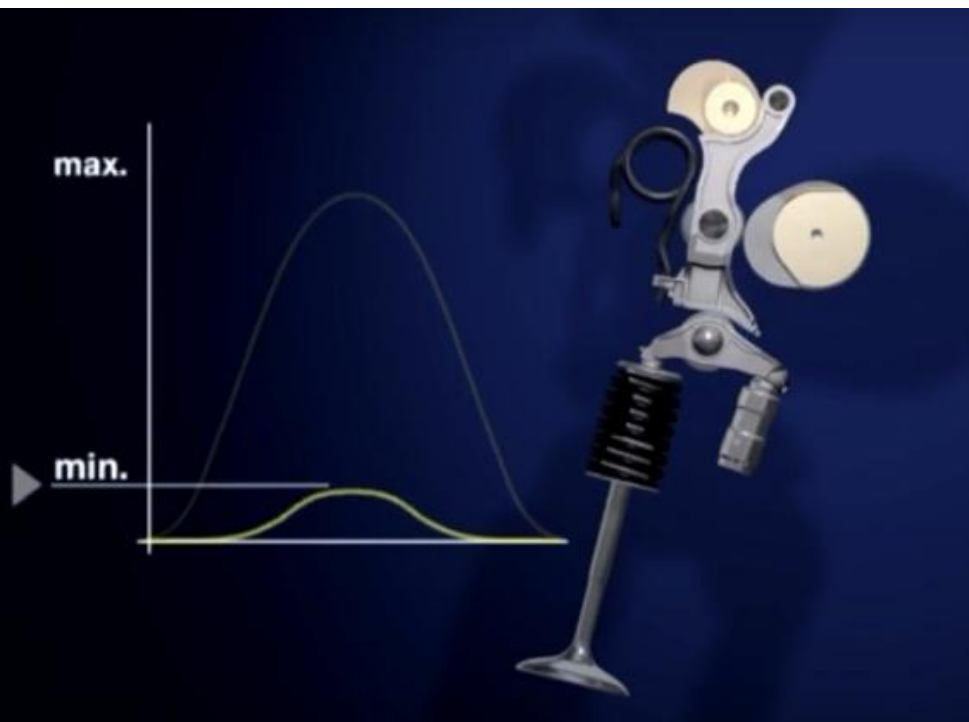
Принцип изменения фаз основан на повороте распредвала - VVT-i, Dual VVT-i



Система изменения фаз газораспределения с разной формой кулачков



Система с изменением величины хода впускного клапана Valvetronic BMW без дрессельной заслонки



Электромагнитный привод клапанов (безвальная конструкция)



Двойное преобразование энергии

Двигатель
внутреннего
сгорания

Генератор
электро-
энергии

Безвальный
механизм
газораспределения
с электромагнитами

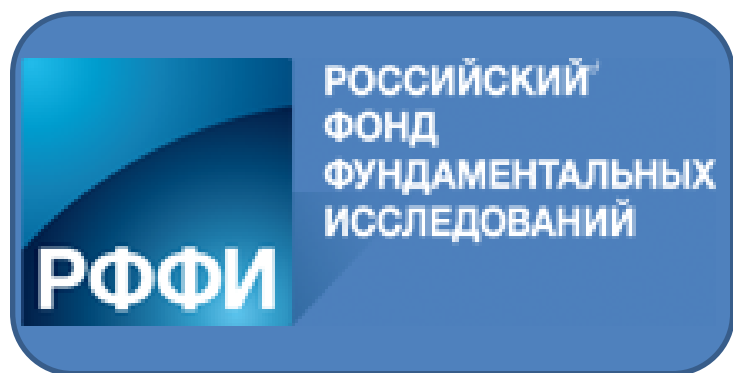
$\eta = 0.8$

$\eta = 0.5$

$\eta = 0.4$

Рекуперация отсутствует
Низкий КПД

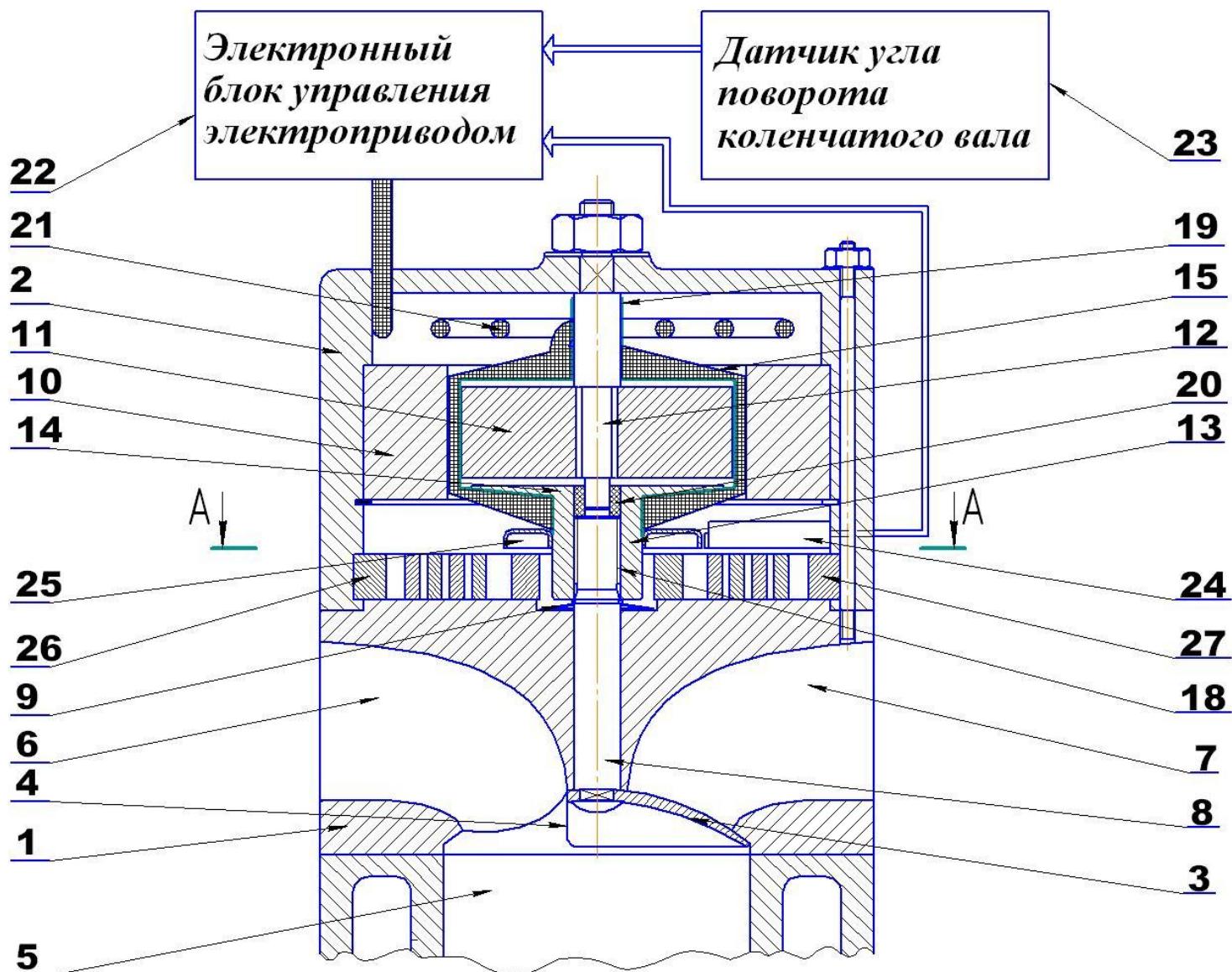
Повышение КПД безвальной
конструкции МГР с электроприводом
возможно на основе электропривода
магнитоэлектрического типа с
использованием рекуперации
электроэнергии на обратном ходе
исполнительного механизма



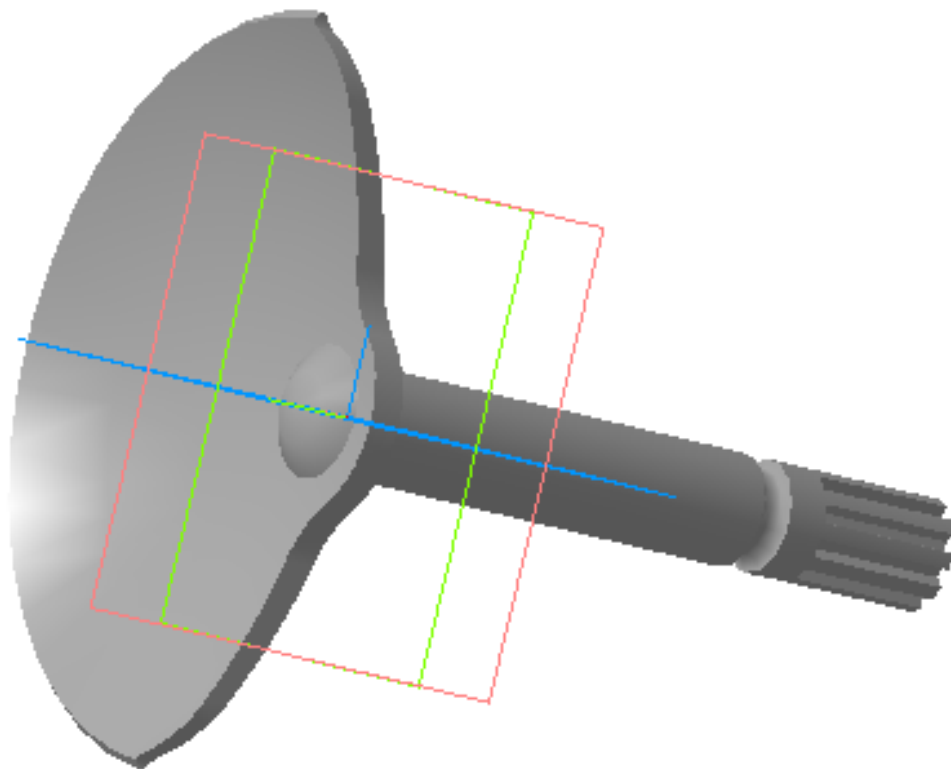
ГРАНТ 12-08-00012-а



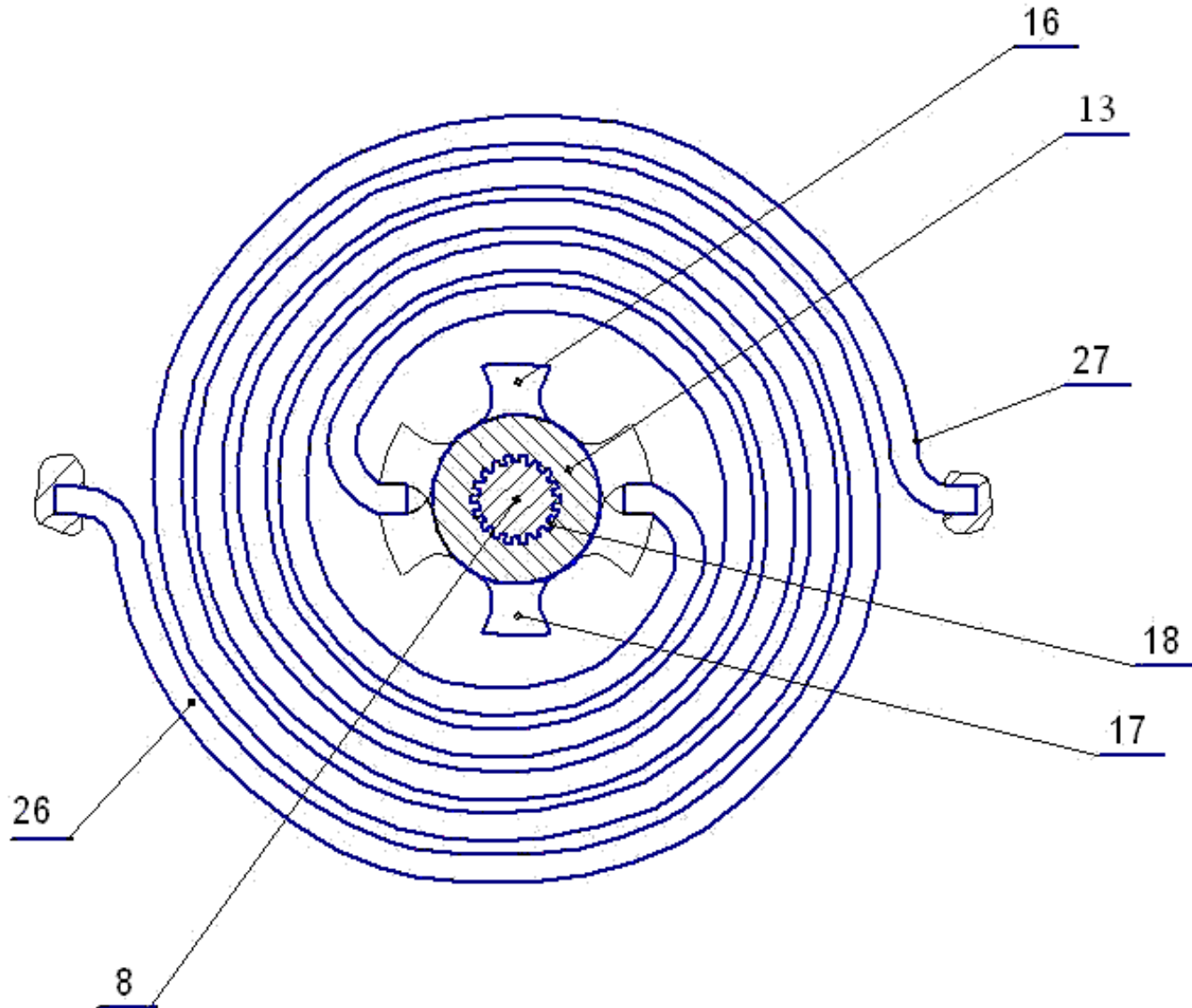
Конструкция МГР с поворотным золотником по патенту РФ на полезную модель № 23462



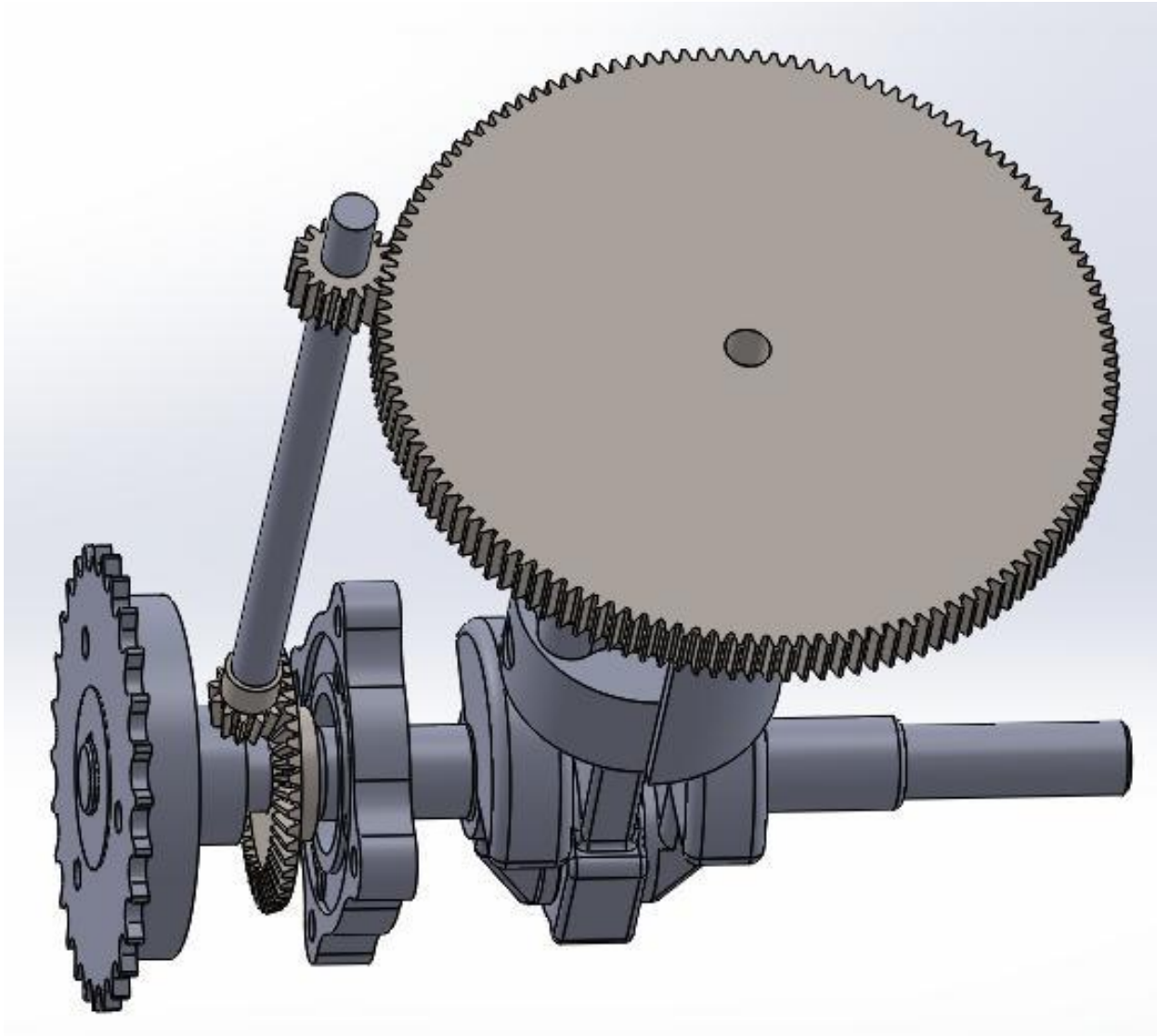
ДИСКОВЫЙ ЗОЛОТНИК



Возвратные пружины



Новая конструкция МГР на основе мехатроники



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

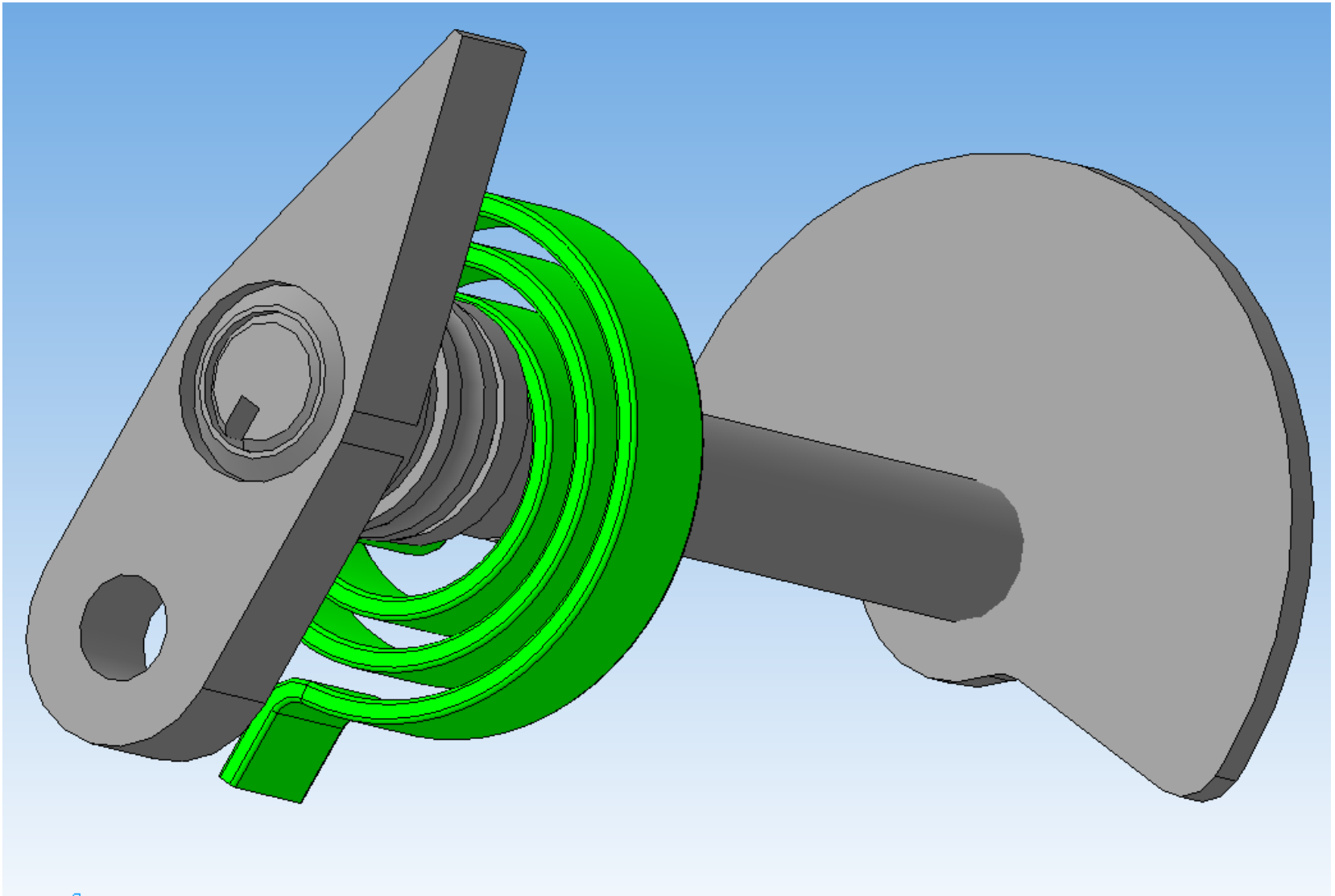


График движения золотника

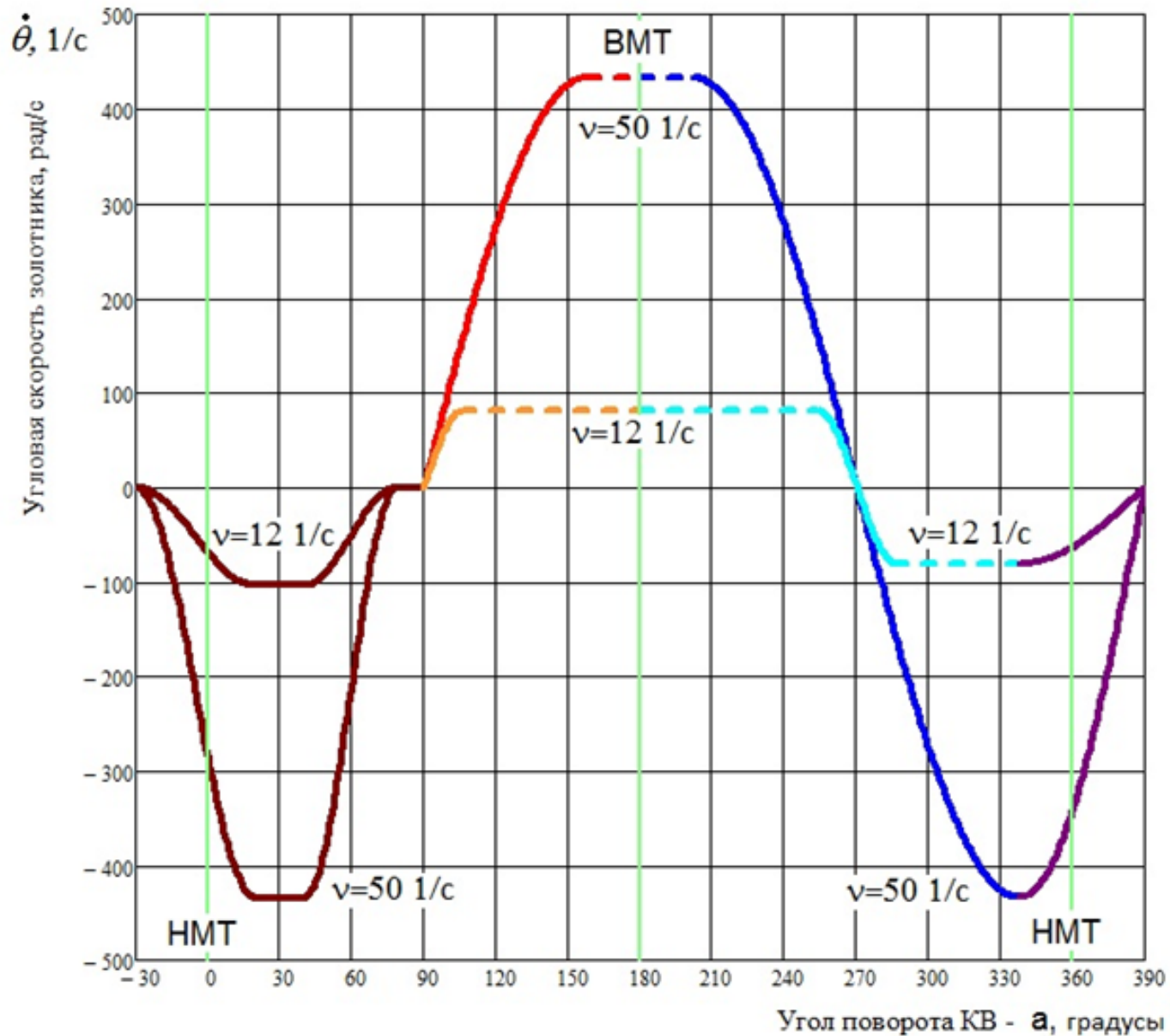


Схема перемещения упоров возвратной пружины



**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° 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_{Π} - 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°

Угол закручивания пружины для
максимальной частоты КВ - 60°

Угол поворота золотника по инерции - 30°

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

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

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

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

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

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 - θ_m .
Тогда угол поворота золотника в
свободном движении по инерции
будет $\pi/2 - \theta_m$.

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

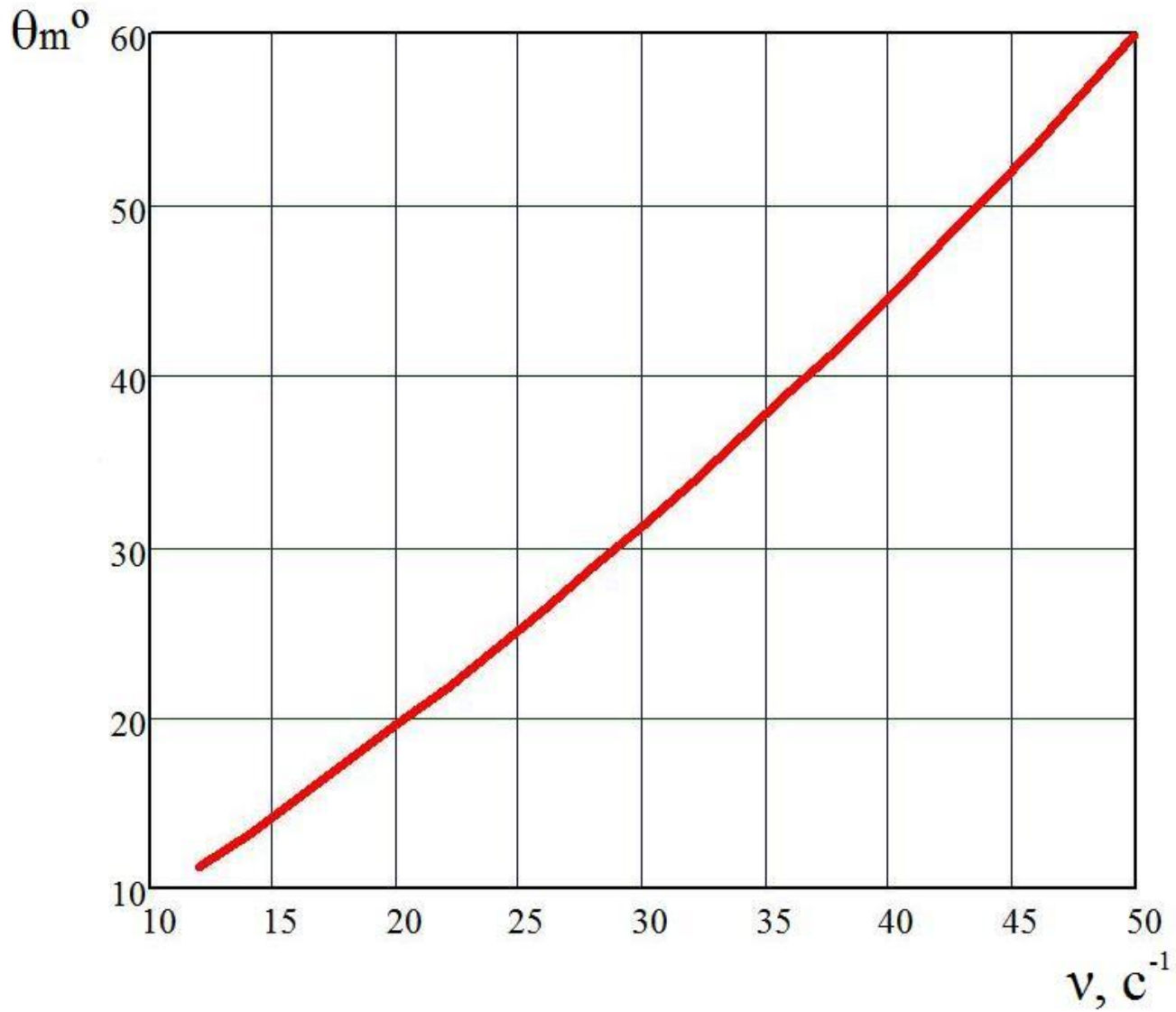
(10)

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.

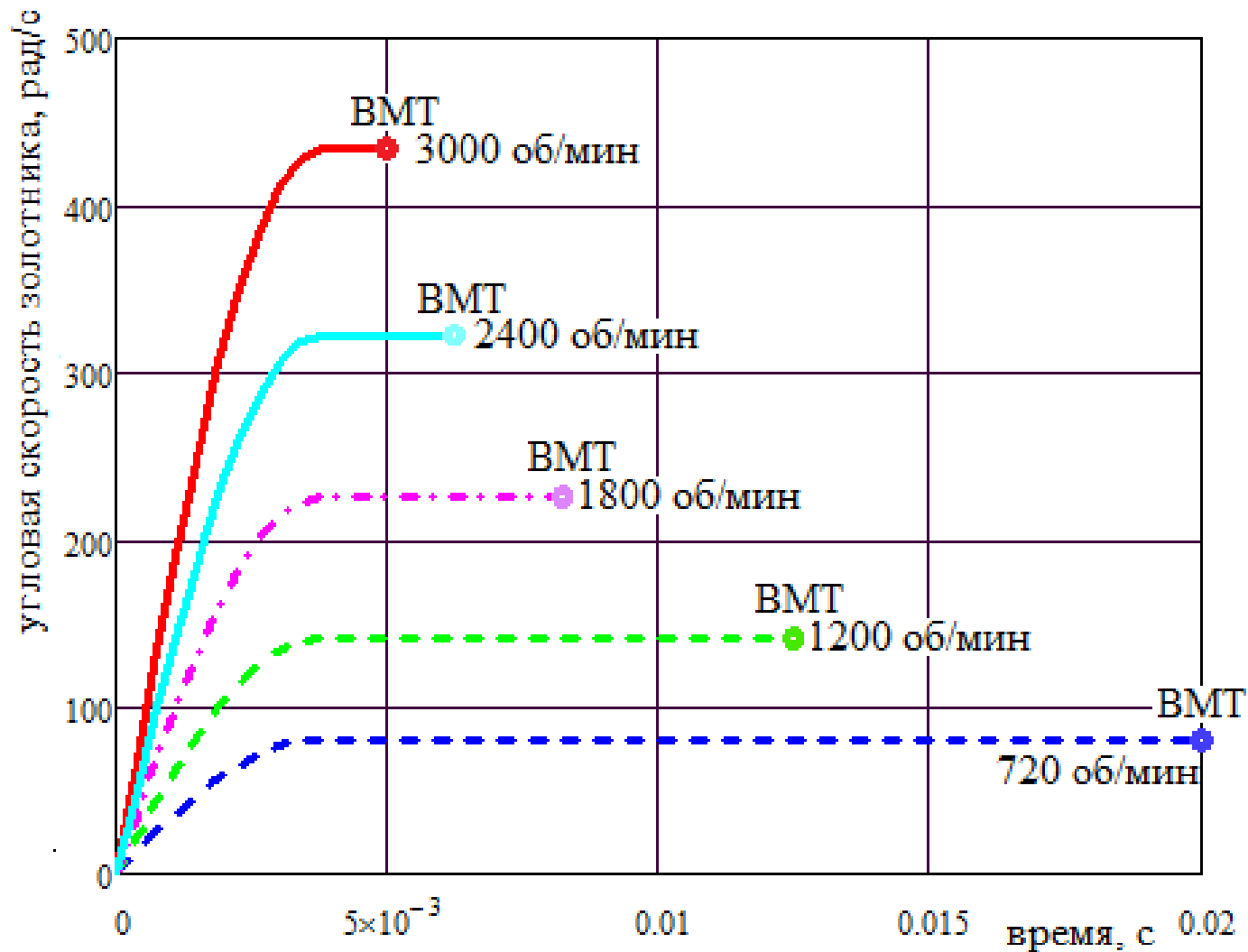
Поэтому энергозатраты на регулировку минимальны.

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 θ_m – максимальный угол закручивания пружины, ω – 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.**