

**Теория управления процессом синхронизации колебательных движений
дискового золотника двигателя внутреннего сгорания и частоты
вращения коленчатого вала**

*Драгунов Сергей Сергеевич
ФГБОУ ВО «МЭИ» (НИУ)
инженер 1 категории*

*Комерзан Евгений Владиславович
ФГБОУ ВО «МЭИ» (НИУ)
к.т.н., доцент*

*Меркурьев Игорь Владимирович
ФГБОУ ВО «МЭИ» (НИУ)
д.т.н., доцент, зав. кафедрой робототехники, мехатроники, динамики и
прочности машин.*

Аннотация

В целях повышения удельной мощности и экономичности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) поршневого типа предлагается новый тип механизма газораспределения (МГР) на основе мехатронной конструкции с дисковым золотником, совершающим колебательные движения синхронно с частотой вращения коленчатого вала. Для решения этой задачи предложена теория, суть которой состоит в разработке закона управления движением дискового золотника, который должен находиться в среднем положении, когда закрыто и выпускное и впускное отверстие, в верхней мертвой точке на всех режимах работы ДВС. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 19-08-00367 а.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, механизм газораспределения, дисковый золотник, синхронизация, колебания, кулачки десмодромного типа.

**The theory of controlling the process of synchronizing the oscillatory
movements of the disk spool of an internal combustion engine and the speed
of the crankshaft**

*Dragunov Sergej Sergeevich
National Research University "Moscow Power Engineering Institute"
Engineer of 1 category*

*Komerzan Evgenij Vladislavovich
National Research University "Moscow Power Engineering Institute"
Ph.D., Associate Professor*

Merkur'ev Igor' Vladimirovich

National Research University "Moscow Power Engineering Institute"

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head Department of Robotics, Mechatronics, Dynamics and Machine Strength

Abstract

In order to increase the specific power and economy of a piston-type internal combustion engine (ICE), a new type of gas distribution mechanism (engine timing) based on a mechatronic design with a disk spool that oscillates synchronously with the crankshaft speed is proposed. To solve this problem, a theory is proposed, the essence of which is to develop a law for controlling the movement of the disk spool, which should be in the middle position when both the outlet and inlet are closed, in top dead center on all modes of engine operation.

Key words: internal combustion engine, gas distribution mechanism, disk spool, synchronization, oscillations, desmodrome type cams.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant 19-08-00367 a.

Цель данной работы заключается в коренной модернизации современных поршневых двигателей внутреннего сгорания [1]. Для этого предлагается заменить традиционные впускные и выпускные клапана механизма газораспределения на дисковый золотник, который совершает колебательные движения [2] синхронно с частотой вращения коленчатого вала.

Что это даст? Во-первых, повысится литровая мощность за счет лучшего наполнения цилиндра на такте впуска без использования наддува. Если говорить простыми словами, то выпускное отверстие очень быстро закроется в верхней мертвой точке, а впускное отверстие очень быстро откроется.

Во-вторых, дисковый золотник ни когда не будет перегреваться, поскольку имеет большую площадь контакта с головкой блока цилиндров. А это позволит увеличить степень сжатия, что повысит удельную мощность двигателя.

В-третьих, можно увеличивать максимальную частоту вращения коленчатого вала не опасаясь столкновения золотника с поршнем, поскольку он вращается вокруг своей оси, а это также повысит удельную мощность двигателя.

В-четвертых, элементарно решается вопрос внутренней рециркуляции отработанных газов на частичных нагрузках путем смещения среднего положения золотника в ту область, когда коленчатый вал находится за несколько градусов до верхней мертвой точки. А это обеспечит экологическую чистоту двигателя.

В-пятых, поскольку золотник остается неподвижным на большей части тактов сжатия и рабочего хода, когда давление в цилиндре большое,

контактирующие с головкой блока поверхности золотника не подвергаются износу, а это обеспечит долговечность двигателя.

Итак, закон управления движением золотника должен обеспечить начало открытия выпускного отверстия примерно за 30° до НМТ при работе двигателя на полную мощность. Примерно в середине такта выпуска золотник должен полностью открыть выпускное отверстие, остановиться и начать движение в сторону закрытия выпускного отверстия с тем, чтобы полностью закрыть его в ВМТ.

После прохождения ВМТ золотник должен продолжить движение в сторону открытия впускного отверстия, полностью открыть его примерно в середине такта впуска, остановиться и начать движение в сторону закрытия впускного отверстия. Примерно через 30° после НМТ золотник должен полностью закрыть впускное отверстие и остановиться.

Первоначально такой закон движения был реализован с помощью электропривода магнитоэлектрического типа при выполнении проекта [3], который финансировался Российским фондом фундаментальных исследований по гранту РФФИ 12-08-00012-а и показан на рисунке 1.

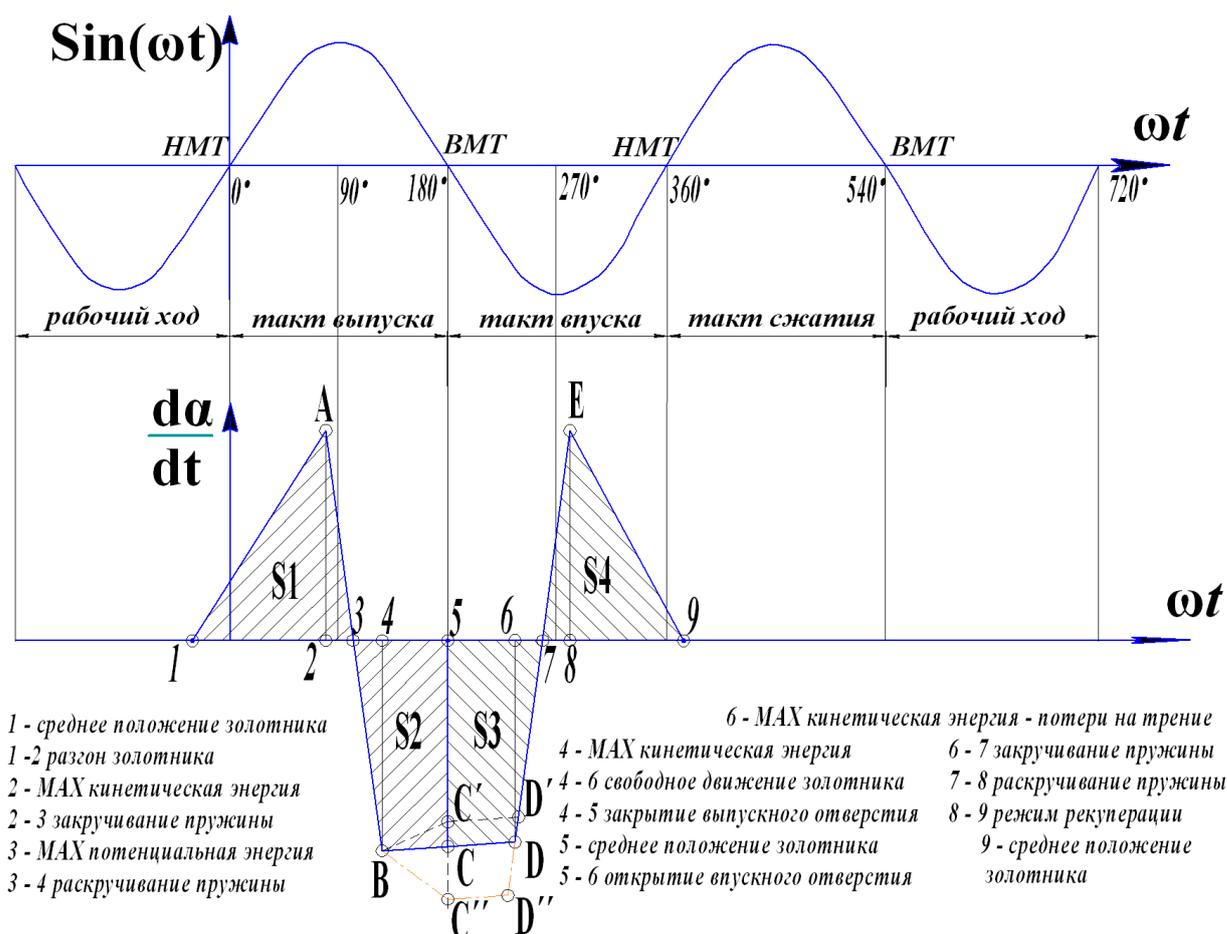


Рисунок 1 - Зависимость угловой скорости золотника $d\alpha/dt$ в зависимости от угла поворота коленчатого вала ωt

На конструкцию МГР, которая показана на рисунке 2, получен патент РФ на полезную модель РФ № 123462 [4]. Однако у данной конструкции

имелись два недостатка. Первый недостаток заключался в ее очень высокой стоимости, связанной с системой рекуперации электроэнергии на обратном ходе исполнительного механизма. Второй недостаток был связан с тем, что наилучшие постоянные магниты в статоре могли обеспечить напряженность поля, при которой максимальная частота вращения коленчатого вала не могла быть больше 3000 об/мин.

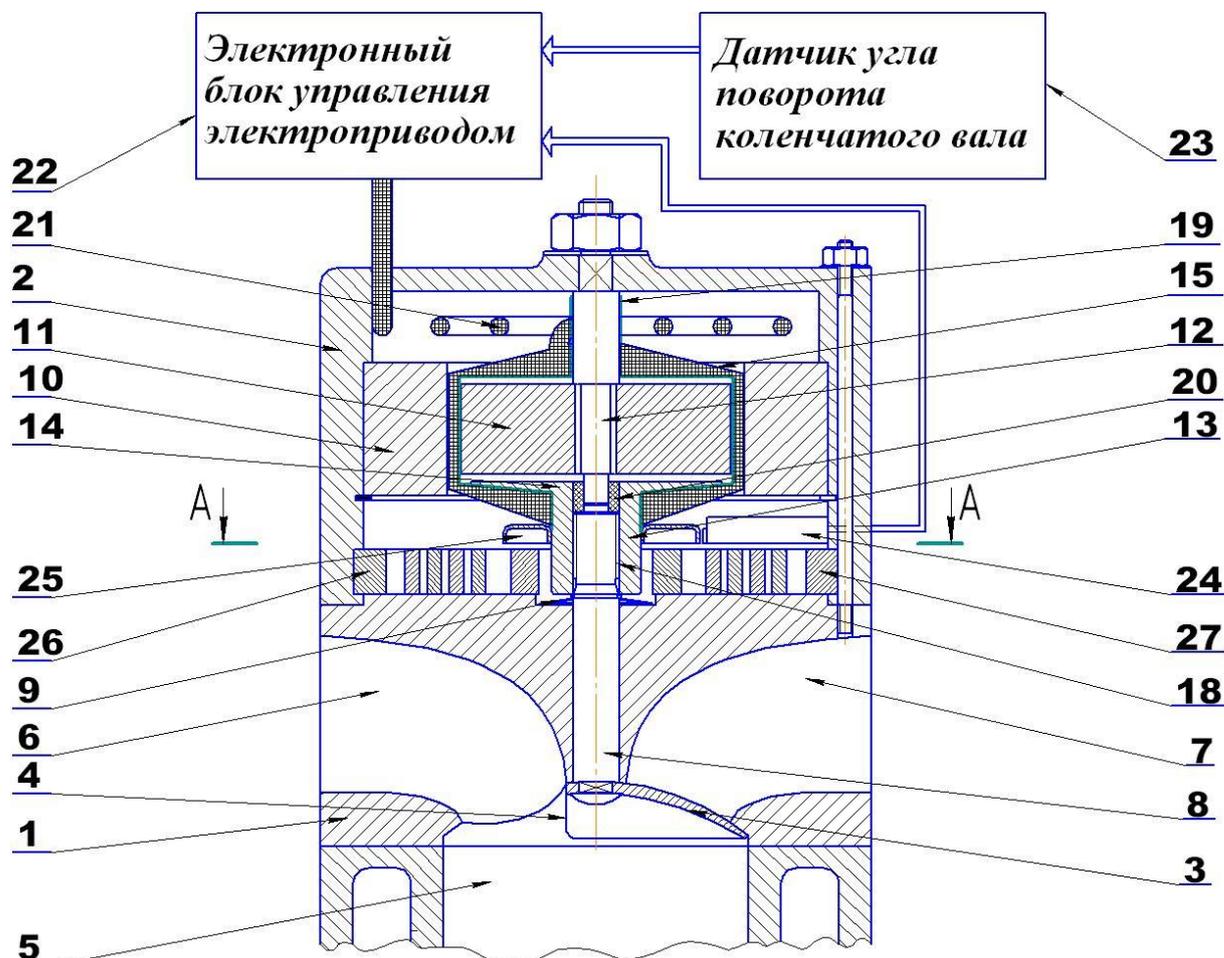


Рисунок 2 - Конструкция с магнитоэлектрическим приводом золотника

Для преодоления этих двух недостатков предлагается использовать новую конструкцию с кулачками десмодромного типа. Закон движения золотника для этого случая представлен на рисунке 3. Движение золотника в сторону открытия происходит под действием первого разгонного кулачка на участке, который отмечен коричневым цветом. Поскольку на этом участке имеется жесткая кинематическая связь кулачка с золотником, то мгновенные значения угловой скорости золотника пропорциональны частоте вращения коленчатого вала. На этом же участке происходит закручивание возвратной пружины в виде спирали Архимеда. Поэтому в момент разрыва кинематической связи золотник начинает движение в сторону закрытия выпускного отверстия под действием пружины.

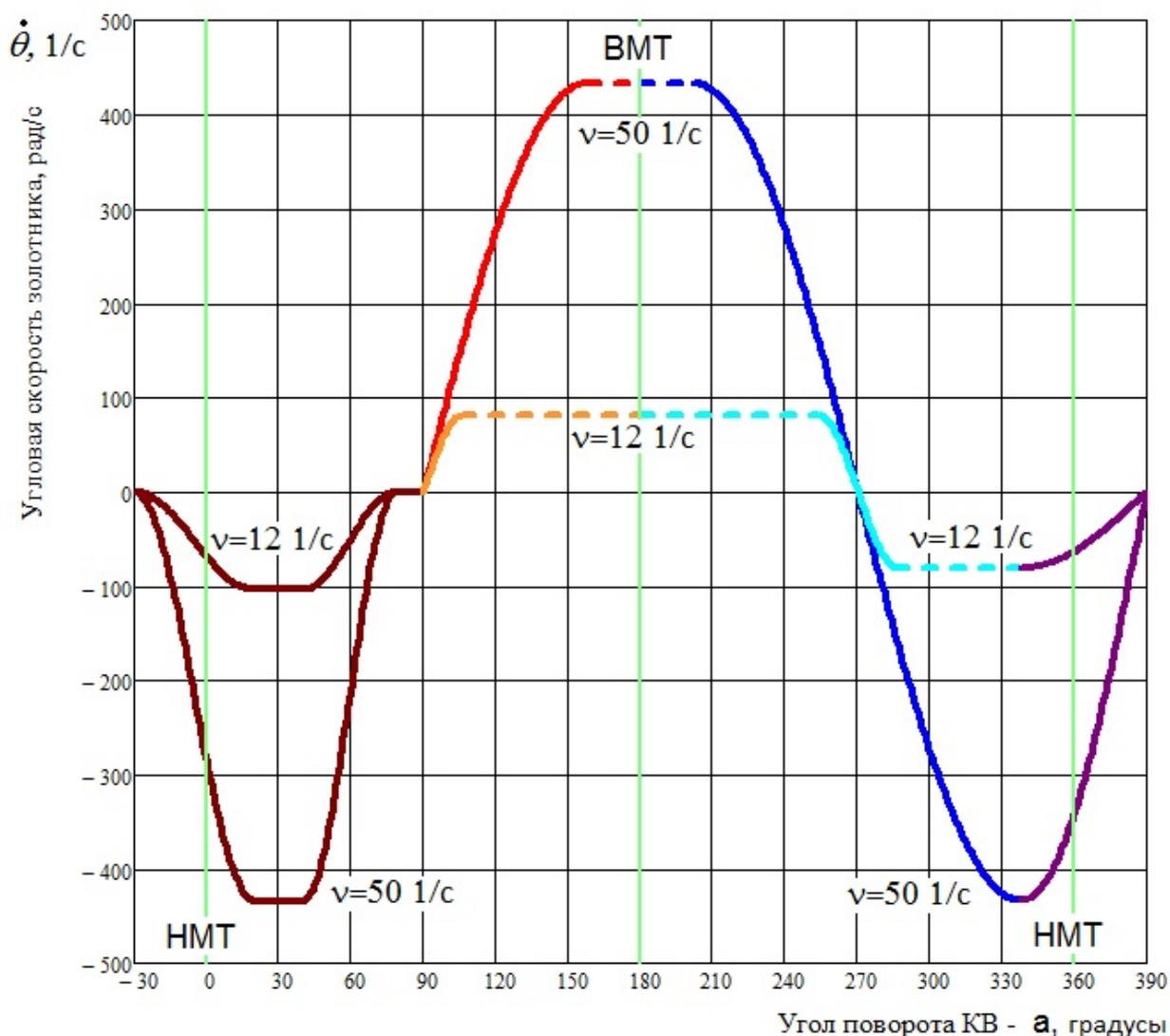


Рисунок 3 - Закон управления движением золотника в МГР мехатронного типа с кулачками десмодромного типа.

Теперь предстоит решить вопрос о том, какова должна быть жесткость возвратной пружины, чтобы золотник оказался в среднем положении в ВМТ. Расчеты показывают, что жесткость пружины должна быть пропорциональна моменту инерции золотника в сборе с возвратной пружиной и рычагом для поворота кулачка и пропорциональна квадрату частоты вращения коленчатого вала.

Поскольку реализовать на практике конструкцию с изменяемой жесткостью пружины в таком большом диапазоне частот практически невозможно, то решить проблему можно не за счет изменения жесткости пружины, а за счет изменения величины потенциальной энергии закрученной пружины. Проще говоря, надо изменять величину угла закручивания пружины на разных частотах вращения коленчатого вала.

Если принять угол поворота золотника в режиме максимальной мощности - 90° , а угол закручивания возвратной пружины на максимальной частоте вращения коленчатого вала - 60° , то золотник должен повернуться на

угол 30° в свободном движении по инерции. В этом случае жесткость возвратной пружины - χ определяется по формуле (1).

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

где J – суммарный момент инерции золотника, возвратной пружины и поворотного рычага, ν – частота вращения коленчатого вала в 1/с.

Поэтому при уменьшении частоты вращения коленчатого вала угол закручивания пружины должен уменьшаться, а угол поворота в свободном состоянии по инерции должен увеличиваться.

Для определения величины угла закручивания возвратной пружины - θ_m необходимо решить уравнение:

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

После преобразований формулы (2) получаем решение в виде:

$$\theta_m = \frac{\pi}{\frac{1}{2\nu} \cdot \sqrt{\frac{\chi}{J}} - \pi + 2}, \quad (3)$$

Движение золотника под действием возвратной пружины начинается в середине такта выпуска и происходит по закону (4) до тех пор, пока пружина полностью раскрутится.

$$\dot{\theta}(t) = -\omega \theta_m \sin(\omega t + \varphi_0) \quad (4)$$

После этого золотник поворачивается по инерции с постоянной угловой скоростью. Если расчеты выполнены по формулам (1) – (4), то золотник окажется в среднем положении в ВМТ при любых частотах вращения коленчатого вала от минимальной до максимальной. На рисунке 4 представлены результаты расчетов.

На рисунке 5 показано изменение положения упоров для внешнего отогнутого конца спиральной пружины, закрепленной на валу золотника. После прохождения среднего положения в ВМТ золотник продолжает свободное движение по инерции в сторону открытия впускного отверстия до того момента, когда отогнутый конец пружины упрется в противоположный упор на стороне такта впуска. С этого момента возвратная пружина начинает закручиваться в обратную сторону, а золотник затормаживается и останавливается примерно в середине такта впуска. Затем пружина начинает раскручиваться, и золотник закрывает впускное отверстие. Эти этапы показаны на рисунке 3 синим цветом для частоты вращения коленчатого вала 50 1/с и голубым цветом для частоты 12 1/с.

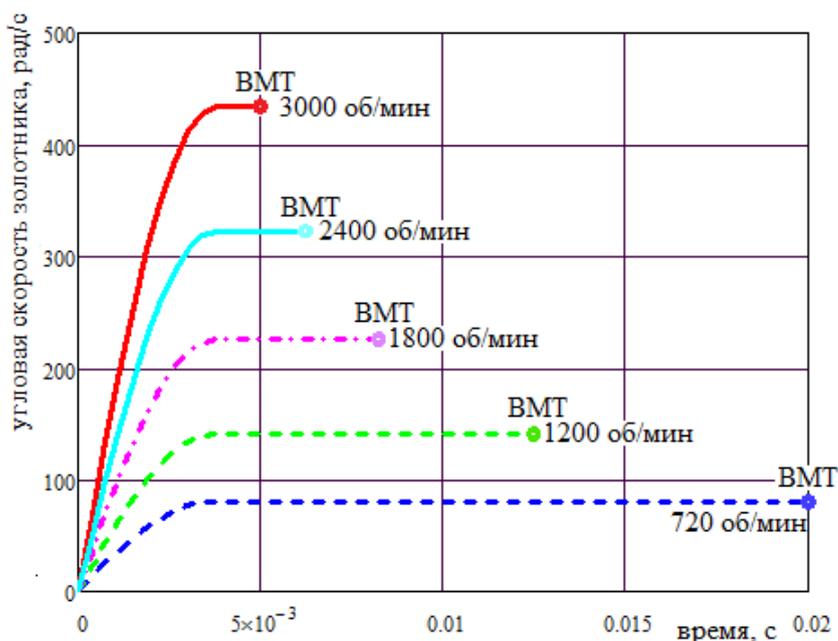


Рисунок 4 - Угловая скорость золотника во второй половине такта выпуска при различных частотах вращения ДВС



Рисунок 5 - Изменение положений упоров для возвратной пружины при изменении частоты вращения

Примерно за 30° до НМТ рычаг на валу золотника коснется второго затормаживающего кулачка, который остановит его в среднем положении, когда закрыты оба отверстия. Этот участок отмечен на рисунке 3 фиолетовым цветом.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант 19-08-00367 а.

Библиографический список

1. Круглов М.Г., Орлин А.С. и др. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / В.П. Алексеев [и др.]; под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1980. 288 с.
2. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем. М.: Мир, 1982. –304с.
3. Dragunov S.S. Improvement of reciprocating internal combustion engines on the basis of new designs timing mechanisms // 2015 5th International Workshop on Computer Science and Engineering: Information Processing and Control Engineering, WCSE 2015-IPCE Information Processing and Control Engineering, Programme. 2015. p. 239–243. URL: http://elibrary.ru/author_items.asp?authorid=634767).
4. Драгунов С.С. и др. Механизм газораспределения двигателя внутреннего сгорания золотникового типа. Патент на полезную модель № 123462 Рос. Федерация: МПК F01L 7/00 (2006/01) / патентообладатель Университет машиностроения - №2012107649.06; заявл. 01.03.2012 ; опубл. 27.12.2012 Бюлл. №36 (<http://poleznayamodel.ru/model/12/123462.html>).