

СИНТЕЗ КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВОГО МЕХАНИЗМА ДВИГАТЕЛЯ С ИЗМЕНЯЕМОЙ СТЕПЕНЬЮ СЖАТИЯ

*Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Беларусь*

В монографии [1] приведен обзор существующих конструкций ДВС с изменяемой степенью сжатия; изменением объема рабочей камеры сгорания, изменением длины и положения поршня изменением параметров механизма привода поршня, изменением размеров разделенной и неразделенной камер сгорания, изменением фаз газораспределения и так далее. Описанные конструкции в работе [1] в основном являются предлагаемыми для исследовательских целей. Методики расчёта механизмов для изменения степени сжатия в работе [1] нет.

В последнее время интерес к ДВС с изменяемой степенью сжатия значительно возрос. В подтверждение этого можно привести статьи в журнале “Авторыеву”. В статье [2] сообщается о конструкции и результатах испытаний легкового автомобиля SAAB-9-5, в котором изменение степени сжатия в цилиндрах ДВС от 8 до 14 осуществляется изменением угла наклона блока цилиндров по отношению к неизменным кривошипно-ползунным механизмам. В статье [3] сообщается об испытаниях двигателей M111 с изменяемой степенью сжатия от 7 до 14 концерна Daimler Chrysler для автомобилей Mercedes-Benz SLK Kompressor, в которых использован кривошипно-коромысловый механизм с изменяемым положением опоры коромысла. Следует отметить, что схема такого изменения степени сжатия ДВС была предложена ранее и разрабатывалась московским институтом НАМИ для отечественных вездеходов, а теперь концерн Daimler Chrysler совместно с НАМИ проводит доработку таких ДВС для автомобилей. Схема рычажно-го механизма привода поршня ДВС с изменяемой степенью сжатия приведена на рис.1.

Такой механизм состоит из вращающегося кривошипа 1 коленвала, сложного шатуна 2 коромысла 3 с неподвижным шарниром D, традиционного шатуна 4 и поршня 5. Неподвижный шатун D установлен в эксцентрик, который может поворачиваться в блоке цилиндров 7, за счёт чего изменяется положение шарнира D и положение поршня 5 в цилиндре, что изменяет степень сжатия. Преимуществом такой схемы на рис.1 является конструктивная простота изменения степени сжатия, лучшая уравновешенность механизма привода, лучшая плавность хода механизма. Недостатком является повышенная сложность конструкции и более низкий КПД по сравнению с традиционными кривошипно-шатунными механизмами. Кроме того, как показал кинематический анализ этого механизма, проведенный нами, угол давления между шатуном 4 и поршнем 5 при размерах в работе [3] изменяется от $+16^\circ$ до -9° , что сохраняет недостаток традиционных кривошипно-ползунных механизмов: появление боковой реакции между поршнем и цилиндром, неоднородный износ поршня и цилиндра двигателя, увеличение овальности цилиндра в процессе работы. Можно также отметить, что методики расчета кривошипно-коромыслового механизма в работе [3] нет. Поэтому задачей данной работы является разработка улучшенной схемы и методики расчета размеров кривошипно-коромыслового механизма ДВС с изменяемой степенью сжатия.

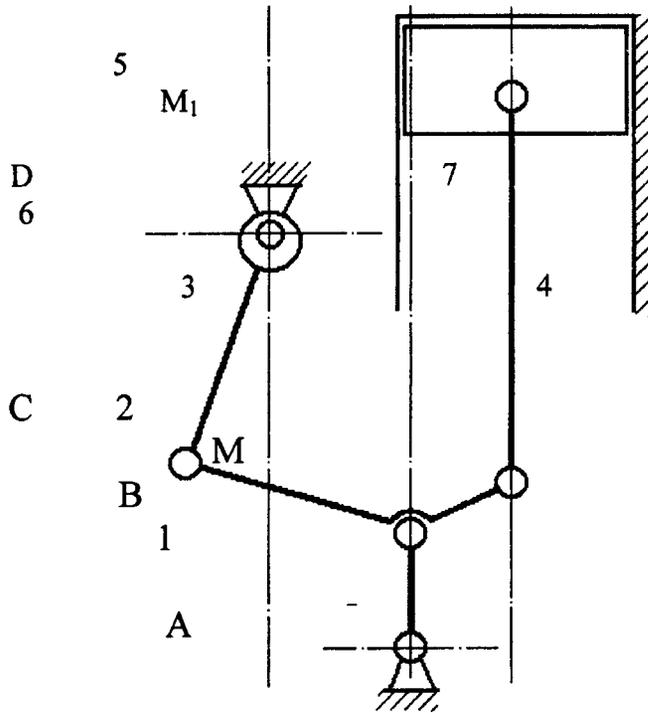


Рис.1 Схема кривошипно-коромыслового механизма ДВС с эксцентриковой изменяемой опорой

Предлагается вместо обычного кривошипно-коромыслового механизма, в котором точка М движется по произвольной кривой, использовать известный прямолинейно-направляющий механизм, в котором точка М движется точно или приближенно по прямой (рис.2). Такие шарнирно-рычажные механизмы приводятся в справочнике [4], методика их аналитического синтеза приведена в монографии [5], а методика численного синтеза на ЭВМ такого механизма использована одним из соавторов в работе [6]. Задача геометрического синтеза направляющего кривошипно-коромыслового механизма заключалась в определении таких его 10-и параметров (рис.2): координат неподвижных точек А и D - x_a, y_a, x_D, y_D ; длин звеньев - a, b, c, ℓ ; углов δ, φ_0 ($n=10$), при которых точка М шатуна 2 движется примерно по прямой в пределах заданного хода Н поршня.

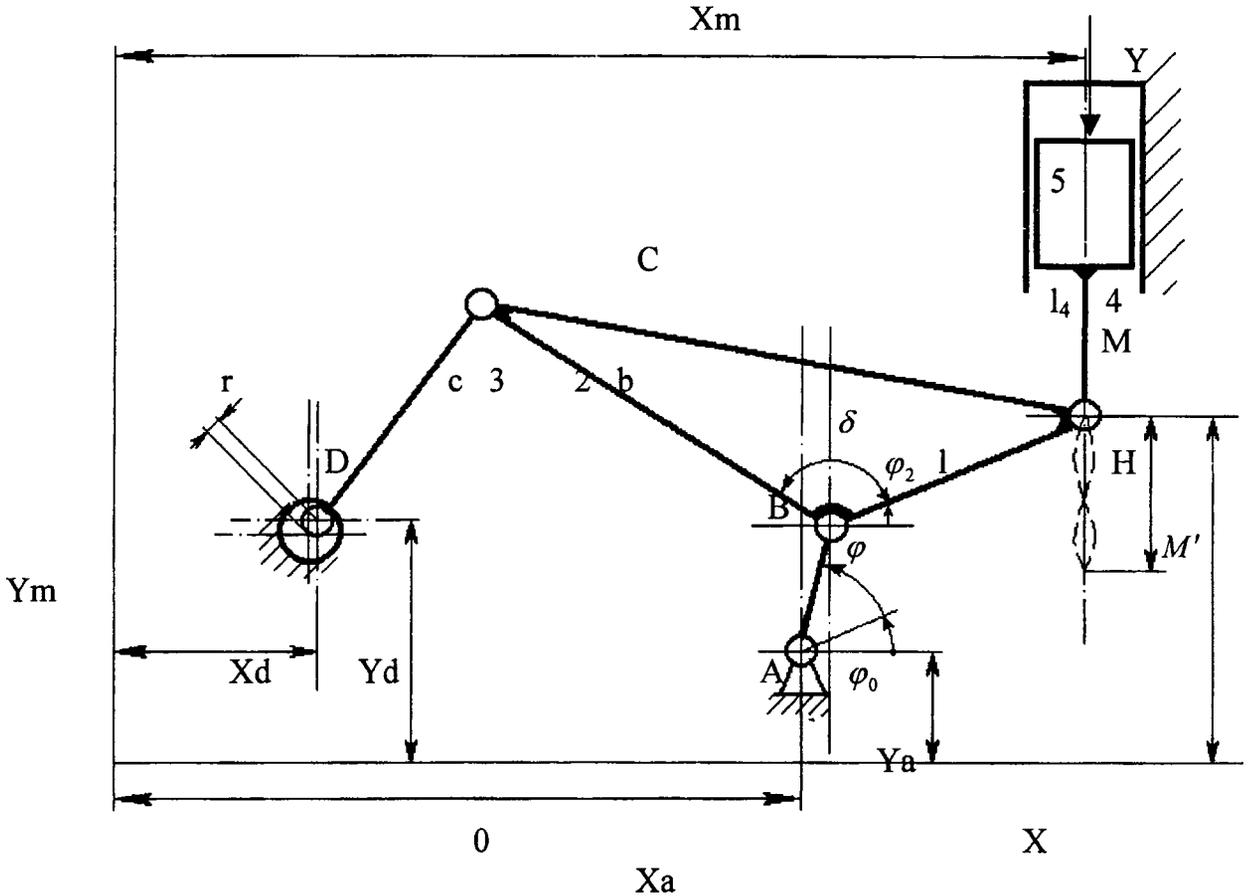


Рис.2 Схема предлагаемого направляющего механизма ДВС.

Для вывода целевой функции направляющего механизма воспользуемся методом условного размыкания контура механизма в точке С, тогда целевая функция запишется так:

$$U(x) = U_1^2 + U_2^2 - c^2, \quad (1)$$

где:

$$U_1 = x_a + a \cos(\varphi_0 + \varphi_1) + \frac{b}{l} \cos \delta [x_m - x_a - a \cos(\varphi_0 + \varphi_1)] - \frac{b}{l} \sin \delta [y_m - y_a - a \sin(\varphi_0 + \varphi_1)] - x_D$$

$$U_2 = y_a + a \sin(\varphi_0 + \varphi_1) + \frac{b}{l} \sin \delta [x_m - x_a - a \cos(\varphi_0 + \varphi_1)] + \frac{b}{l} \cos \delta [y_m - y_a - a \sin(\varphi_0 + \varphi_1)] - y_D$$

Параметры синтеза направляющего механизма вычисляются из условия минимума функции (1), то есть

$$U(x) = \sum_{i=1}^m (U_1^2 + U_2^2 - c^2), \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, m$ - число заданных положений точки М шатуна.

При синтезе на вычисляемые параметры $p \equiv a, b, c, l, x_a, y_a, x_D, y_D, \delta, \varphi_0$ наложены ограничения, определяемые из конструктивных условий $p_{\min} \leq p \leq p_{\max}$, а также ограничение на условие проворачиваемости кривошипа $a + d < b + c$ и на предельные углы давления $[\alpha]$ между шатуном 2 и коромыслом 3:

$$\arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (a + d)^2}{2bc}\right) \leq \frac{\pi}{2} - [\alpha]; \quad \arccos\left(\frac{b^2 + c^2 - (a - d)^2}{2bc}\right) \leq \frac{\pi}{2} - [\alpha];$$

где d – расстояние между точками А и D, определяемое по координатам x_a, y_a, x_D, y_D

Проекция отклонения траектории точки М на оси координат

$$\Delta x_m = x_{mi} - x_m, \quad \Delta y_m = y_{mi} - y_m,$$

где x_{mi}, y_{mi} – требуемые координаты прямолинейной траектории точки М;

x_m, y_m – расчетные координаты точки М механизма в системе координат ХОУ.

При задании траектории точки М учтены три условия: а) точка должна двигаться по прямой линии оси поршня, поэтому $x_m \approx const$; б) прямолинейное движение точки М должно быть таким, чтобы ее ускорение $\ddot{y}(t)$ изменялось по гармоническому закону, что позволит в дальнейшем наиболее просто уравновесить силы инерции поступательных масс поршня со штоком (или шатуном 4); в) максимальный ход точки М должен быть равен заданному ходу Н поршня, то есть $y_{m \max} - y_{m \min} \approx H$.

Число точек оптимизации выбрано $m=13 > n=10$ (через 30° положения кривошипа 1). По заданному ходу $H=86$ мм демпфированным методом наименьших квадратов использованием стандартной программы «Оптимизатор» в результате синтеза получены следующие оптимальные параметры механизма: $a=30,1$ мм; $b=148,314$ мм; $c=149,17$ мм; $l=213,38$ мм; $x_a=148,67$ мм; $y_a=-10,9$ мм; $x_D=-8,93$ мм; $y_D=151,999$ мм; $\delta=1,0007$ рад; $\varphi_0=0,7018$ рад. Максимальное отклонение точки М от прямой составило $\Delta x_m=1,49$ мм, что обеспечивает максимальный угол давления между шатуном 4 и поршнем 5 $\alpha_{\max}=0,43^\circ$ при длине шатуна (или штока) 4 $l_4=200$ мм.

Таким образом, предлагаемый направляющий кривошипно-коромысловый механизм при такой же конструкции, как и существующий в работе [3] позволяет свести практически до минимума угол давления между шатуном и поршнем, что устранит контактную реакцию между поршнем и шатуном и тем самым овалность приработавших цилиндров и поршней. Кроме того, такой механизм позволяет сделать более простую конструкцию по сравнению с предложенной в работе [3], так как отпадает необходимость в шарнире (или подшипнике) между шатуном и поршнем, и делать шатун 4 в идее штока совместно с поршнем 5 (как показано на рис. 2). Такая конструктивная схема позволит повысить долговечность цилиндрично-поршневой группы ДВС.

Литература. 1. Демидов В.П. Двигатели с переменной степенью сжатия. – М.: Машиностроение, 1978. – 136с. 2. Голованов Л. SAAB: есть идеи!//Авторыевю. – 2000. №21. – с.22-24. 3. Еремкин В. Экспортный вариант.//Авторыевю.-2002.- №2 – с.52-53. 4. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике. Том 1.: - М.: Наука. Физматгиз, 1970 – 608с. 5. Блох З.Ш. Приближенный синтез механизмов. Изложение, применение и развитие метода академика П.Л. Чебышева. - М.: Машгиз, 1948. – 171с. 6. Астахов Э.И., Кудин В.В. Оптимальный синтез направляющего механизма привода и т.п.//Теоретическая и прикладная механика. – 1981. – Вып. 8. – с.86-90.