

Результаты расчёта двигателя мотоцикла Yamaha YZF-R1 представлены в виде графика крутящего момента на рис.3,б. Такой порядок чередования вспышек позволил получить коэффициент неравномерности $\mu=4,9$.

Литература:

1. Двигатели внутреннего сгорания. Кн. 2. Динамика и конструирование: Учебник для ВУЗов/В.Н. Луканин, И.В. Алексеев, М.Г. Шатров и др. – М.: Высш.шк., 2005. – 400 с.

2. Девянин С.Н. Методические рекомендации по использованию программы «Кинематика и динамика ДВС» на ПЭВМ в курсовом и дипломном проектировании. Тракторы и автомобили. Ч.1. Двигатели.– М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004.– 16 с.

3. Фомин В.М., Савастенко А.А. Методическое руководство для курсового и дипломного проектирования по курсу «Конструкция и расчет ДВС» Тема «Динамический расчет ДВС». – М.: Изд-во РУДН. – 1992. – 16 с.

4. А. Воронцов «Год большого скачка», журнал «Мото». – М.: Изд-во «За рулем», №2, 2009г. – с. 58-60

КРИВОШИПНО-КУЛИСНЫЙ КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕХАНИЗМ ДВС С ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППОЙ НА ОСНОВЕ ТВЕРДОЙ СМАЗКИ

Каукаров А. К., Некрасов В. Г., Мурзагалиев А. Ж., Куанышев М.К., Мухтаров А. Т. (Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова);
Каракеев А. К. (Павлодарский государственный университет им. С.Торайгырова).

Современные поршневые двигатели автотракторного типа выполняются исключительно с кривошипно-шатунным механизмом преобразования энергии тронковой конструкции. Особенностью такого кинематического механизма является наличие боковой силы, действующей на поршень. Ввиду этого потери на трение в цилиндро-поршневой группе (ЦПГ) являются основными механическими потерями в двигателе. Смазка гильзы маслом из картера приводит к угару масла, потере маслом смазывающих свойств и появлению токсичных компонентов в отработавших газах.

Делались попытки устранить недостатки тронковой схемы. Но в силу различных причин предлагавшиеся схемы не нашли применения в двига-телестроении. В то же время требования по повышению экономичности, улучшению экологических характеристик, продлению ресурса и снижению эксплуатационных затрат двигателей диктуют необходимость пересмотра кинематики поршневого двигателя. На основании анализа для подробного исследования был принят кривошипно-кулисный механизм (ККМ). ККМ относится к классическим вариантам механизмов для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала двигателя [1]. Двигатели с ККМ исследовались в США, Германии, на Украине. Но пока они не применяются в двигателестроении, несмотря на ряд положительных свойств. ККМ разгружает поршень от боковых сил, перенося их на направляющие в картере двигателя. Он позволяет изолировать масляный картер от горячего цилиндра. При выполнении механизма этого типа сокращаются габариты двигателя ввиду отказа от тронка поршня [2, 3]. Перспективна компоновка кривошипно-кулисного модуля двигателя по оппозитной схеме, при креплении к единой кулисе штоков от двух оппозитно расположенных цилиндров. Такое решение использовалось немецкой фирмой «Фич», а также другими исследователями [4]. При этом для придания прямолинейного возвратно-

поступательного движения поршня целесообразно применение не специальных направляющих и ползунов, а использование штоков поршней и втулок в стенках картера. Среди других особенностей необходимо отметить увеличенную массу движущихся частей, включая кулису с кулисным камнем, а также два поршня со штоками.

Для оценки работоспособности принятого варианта было выполнено исследование КKM и его элементов. Опытный механизм разрабатывался на типовые параметры двигателей с ходом поршня 72 мм. Кривошипный подшипник применен с диаметром шейки вала 48 мм, штоки поршней имели диаметр 25 мм. В качестве направляющих штоков использовались меднографитовые втулки с длиной 50 мм. Снаружи корпуса штоки уплотнялись разработанными виброустойчивыми уплотнениями. Учитывая, что цилиндр изолирован от масляного картера, была разработана конструкция поршневого уплотнения на основе твердой смазки для ЦПГ без использования смазочной жидкости.

Комплексное исследование включало следующие этапы:

- исследование и совершенствование подшипников скольжения;
- разработка конструкции и исследование поршневого уплотнения на основе твердой смазки на опытном двигателе;
- теоретическое исследование КKM и оценка его влияния на термодинамику в двигателе;
- исследование кривошипно-кулисного модуля на опытном стенде;
- оценка надёжности и работоспособности уплотнений штоков;
- компоновка перспективных схем двигателей с использованием кинематики на основе КKM.

В результате исследования получены следующие результаты.

Исследования подшипников скольжения показали, что среди ряда факторов, влияющих на фрикционное взаимодействие в подшипнике скольжения, одним из определяющих являются теплофизические свойства материалов. Применение чистой меди для опорных поверхностей подшипника вместо алюминиево-оловянного сплава в подшипниках серийного изготовления приводит к снижению объёмной интенсивности изнашивания для медных вкладышей почти в пять раз, чем для серийных вкладышей [5].

Предварительное фрикционное омеднение шеек стального вала обеспечило дополнительно снижение интенсивности изнашивания до 40 %.

Внедрение графита в режиме жидкостного трения практически не проявляется на показателях работы подшипника в режиме жидкостного трения. Но при переходе на граничный режим трения графит снижает интенсивность изнашивания почти до 40 % от варианта без использования графита [6].

Для ЦПГ, работающей в условиях изоляции её от масляного картера, была разработана конструкция поршневого уплотнения на основе твёрдого антифрикционного материала. Уплотнение представляет собой комплект из двух колец, выполненных из меди или медного сплава, расположенных в одной проточке поршня. Каждое из колец выполнено из двух полуколец со ступенчатым стыком полуколец, разжимаемых пружинами. Сдвиг стыков колец на 90° относительно друг друга обеспечивает герметичность уплотнения. На цилиндрической поверхности колец имеется кольцевая проточка, заполненная твердым антифрикционным материалом на основе графита.

Исследование, проведенное на двигательном стенде с диаметром цилиндров и ходом поршня 72 мм, показало, что усилие на сдвиг поршней с твёрдой смазкой

составляет 60 % от значений для стандартного уплотнения; уплотнение обеспечивает заданную компрессию. По результатам исследования интенсивности изнашивания рабочих поверхностей компрессионных колец разными методами межремонтный ресурс разработанного и исследованного сухого поршневого уплотнения составляет более 3000 моточасов. Во время эксплуатации показатели ЦПГ (компрессия, потери на трение) остаются стабильными [7, 8].

Теоретические исследования ККМ показали, что в нём реализуется синусоидальный закон движения поршня. Это положительно отражается на термодинамике процесса в момент сгорания, так как увеличивает время подвода теплоты при постоянном объёме. Увеличенная масса движущихся частей снижает ударные нагрузки на подшипники кинематического механизма в момент сгорания топлива, а также является причиной увеличения вращательного момента во второй половине рабочего хода поршня [9].

Исследование единичного модуля ККМ на экспериментальном стенде показало, что при применении оппозитной схемы и использовании в качестве направляющих для придания линейного движения поршням втулок поршневых штоков, выполненных из медно-графитового композита, обеспечивает низкий износ и большой ресурс, что является следствием высоких антифрикционных качеств медно-графитового композита в условиях жидкостной смазки, а также малых радиальных нагрузок ввиду большого плеча сил в рассматриваемой кинематической схеме, равной сумме хода поршня и размера кулисы вдоль оси цилиндров с учётом технологических зазоров между движущимися деталями механизма и корпусом [10].

Надёжность уплотнения на отсутствие протечек масла проверялась при подводе масла во втулки линейного скольжения поршневых штоков с внутренней стороны стенок картера по наличию протечек масла на наружной стороне корпуса при помощи индикации протечек бумажными пробниками. Проверка уплотнений показала, что конструкция виброустойчивого уплотнения штоков в виде пакета колец из антифрикционного материала – фторопласта (два и более) с одним радиальным разрезом, вставленных в обойму из эластичного материала, обеспечивает плотность уплотнения при допустимых радиальных перемещениях штока и высоких скоростях его возвратно-поступательного движения.

Таким образом, комплексное исследование ККМ и его составных элементов показало работоспособность и высокую надёжность их.

Кроме отмеченных положительных свойств (возможное сокращение габаритов двигателя, разгрузка поршня от боковых сил, изоляция цилиндра от масляного картера) ККМ позволяет компоновать схемы многопоршневых двигателей, отличающихся рядом положительных свойств. Уравновешенный двигатель требует применения двух оппозитных кривошипно-кулисных модулей, работающих в противофазе и имеющих четыре цилиндра. При этом коленчатый вал выполняется трёхпоршным, с одним промежуточным подшипником и двумя концевыми подшипниками.

Применение двух ККМ, сдвинутых по расположению оси цилиндров на 90° с передачей усилий от оппозитной пары цилиндров на одну кривошипную шейку позволяет компоновать восьмицилиндровые сбалансированные двигатели, а при сдвиге осей на 60° и передаче усилий на одну кривошипную шейку от трёх оппозитных блоков цилиндров позволяет компоновать 12-цилиндровые двигатели. При этом число коренных подшипников остается равным трём.

Использование подпоршневового объёма в качестве воздушного компрес-сора даёт возможность применить двухтактный цикл при предельно простом выполнении индивидуальных продувочных насосов для каждого цилиндра, а также максимальной уравновешенности четырехцилиндровых единичных блоков цилиндров ввиду одновременного действия сил от давления сгорания на разных сторонах оппозитного блока цилиндров. Высокая уравновешенность двухтактного двигательного модуля, состоящего из четырех цилиндров, сблокированных в два двухцилиндровых блока с оппозитно расположенными цилиндрами, а также необходимость всего трёх коренных подшипников, позволяет использовать в качестве концевых подшипники качения; и только центральный подшипник выполнять подшипником скольжения, используя его для подвода масла в кривошипные подшипники, расположенные в ползунах поперечного скольжения кулисы. Это существенно упрощает конструкцию двигателя.

Таким образом, кривошипно-кулисный кинематический механизм открывает дополнительные возможности для совершенствования поршневых двигателей.

Литература:

1. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике. В 7 томах. М.: Машиностроение, 1979. Том 1. - 496 с.

2. Некрасов В. Г. Механизм преобразования движения поршневого двигателя / Вестник машиностроения (Москва). -2005. №8. -С. 83-86.

3. Некрасов В. Г. Виртуальный шатун // Автомобильная промышленность (Москва). -2006. -№ 1. -С. 25-26.

4. Мищенко Н. И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания. Т. 1. Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания. -Донецк: Лебедь, 1998. -228 с.

5. Некрасов В. Г., Куанышев М. К., Надиров Н. К. Исследование и совершенствование подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания // Машины, технологии, материалы (Болгария: София). -2007. -№ 2-3. -С. 43-45.

6. Инновационный патент № 21802 KZ, МКИ F01M 9/12. Подшипник скольжения двигателя внутреннего сгорания / Н. К. Надиров, В. Г. Некрасов и М. К. Куанышев; АГУ им. К. Жубанова. № 2007/0482.1; Заявл. 11.04.2007; Опубл. 15.10.2009 // Бюл. 2009.-№ 10.

7. Исследование сухого уплотнения поршня двигателя внутреннего сгорания / А. К. Каукаров, М. К. Куанышев, В. Г. Некрасов и А. Ж. Мурзагалиев // Вестник Актобинского государственного университета. -Актобе. -2009. -№ 4. -С. 85-93.

8. Поршень двигателя внутреннего сгорания. Положительное решение о выдаче инновационного патента РК от 20.08.2010 по заявке № 1473.1 KZ, МКИ F01M 9/12 от 14.12.2009 / А. К. Каукаров, В. Г. Некрасов, А. Ж. Мурзагалиев, М. К. Куанышев и А. Т. Мухтаров.

9. Некрасов В. Г. Масса поршня и ее влияние на процессы в двигателе // Автомобильная промышленность. -2006. -№ 2. -С. 10-12.

10. Исследование кривошипно-кулисного механизма преобразования движения / А. Т. Мухтаров, М. К. Куанышев, А. Ж. Мурзагалиев и др.//Материалы межд. науч.-практ. конф. «Научно-технический прогресс: техника, технологии и образование» (Актобе, 25-26 июня 2010 г.). -Актобе: Редакционно - издательский отдел АГУ им. К. Жубанова, 2010. -С. 344-349.