

УДК 621.4

**А.Ж. МУРЗАГАЛИЕВ, В.Г. НЕКРАСОВ, М.К. КУАНЫШЕВ,
А.Т. МУХТАРОВ, А.К. КАУКАРОВ***Актюбинский государственный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ДВУХТАКТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассматривается вопрос о создании конкурентноспособного двухтактного двигателя. В настоящее время имеются предпосылки для создания эффективного двухтактного двигателя, как прямоточная продувка, клапанно-щелевая система газораспределения при многоклапанном механизме, гидравлическое управление клапанами, дизельный цикл при высокой степени сжатия и др. Для реализации комплекса перспективных технических решений требуется конструктивная база, на основе которой может быть сконструирован двухтактный двигатель. В качестве таковой выбран кривошипно-кулисный кинематический механизм преобразования движения. Механизм разгружает поршень от боковых сил, позволяет изолировать цилиндр от масляного картера, используя подпоршневой объем в качестве продувочного насоса. Это потребовало разработки и исследования цилиндропоршневой группы на основе твердой смазки. Выполнено также совершенствование скользящего подшипника с улучшенными качественными показателями на основе применения теплопроводного и антифрикционного материала меди и графита.

Ключевые слова: двухтактный двигатель, кривошипно-кулисный механизм, твердая смазка, подшипник скольжения, антифрикционный материал, графит.

Введение

В настоящее время единственным типом автомобильного двигателя является поршневой четырехтактный двигатель внутреннего сгорания. Известно, что двухтактные двигатели имеют литровую мощность в 1,5-1,7 раза большую, чем четырехтактные. По мнению ряда специалистов, в частности, Союза немецких инженеров, перспективен двухтактный двигатель. Ряд автомобильных компаний уже разработали двухтактные двигатели автомобильного типа («Фиат», «Крайслер», «Орбитал» и др.). В то же время конкурентноспособного двухтактного двигателя до настоящего времени не создано.

Анализ проблемы создания двухтактного двигателя

Какие имеются предпосылки для создания двухтактного двигателя с высокими качественными показателями? Во-первых, такой двигатель должен быть дизельным. Качество двухтактного двигателя в первую очередь зависит от продувки. Этому удовлетворяет прямоточная продувка. Она реализуется при клапанно-щелевой системе газообмена при управлении впуском продувочного воздуха через окна в нижней части цилиндра, открываемых поршнем, и выпуском через клапаны в головке цилиндра. Такие двигатели были разработаны в начале XX века, под-

робно исследовались и производились серийно (ЯАЗ-204, ЯАЗ-206). Уже хорошо отработанные многоклапанные системы позволяют иметь низкое сопротивление выпускного тракта и высокую частоту вращения, как один из факторов форсирования двигателей, что позволило освоить производство высокооборотных дизельных двигателей. В настоящее время осваивается повышенная степень сжатия, вплоть до 40-50. Высокая степень сжатия при корректировке фаз газораспределения и инъекции позволяет реализовать высокоэффективный изобарный дизельный цикл при умеренном давлении сгорания в цилиндре и пониженном шуме.

Таким образом, имеются апробированные научно-технические предпосылки для создания высокоэффективного двухтактного двигателя. Но как всякий двигатель, он должен создаваться на определенной конструктивной базе. В настоящее время поршневые двигатели выполняются с тронковым кривошипно-шатунным кинематическим механизмом. Особенностью такого механизма является передача на поршень боковой силы, что влечет повышенное трение в цилиндропоршневой группе и износ гильзы цилиндра, снижению технико-экономических показателей и сокращению ресурса двигателя. Согласно мнению некоторых специалистов, «эволюционный путь совершенствования двигателей на основе кривошипно-ползунного механизма в настоящее время практически исчерпан».

Известен кривошипно-кулисный механизм преобразования движения. Кривошипно-кулисный механизм имеет три кинематических узла, два узла скольжения и один узел вращения. Он разгружает поршень от боковых сил, снижая потери на трение и повышая механический КПД двигателя, задавая поршню строго синусоидальный закон движения. Особенно эффективен кривошипно-кулисный механизм при применении противолежащих цилиндров. Механизм известен с начала XX века, но только в последнее время его применили в США, а в Германии только в 90-е годы XX века начали производить двухтактные оппозитные двигатели с таким механизмом [1]. Следовательно, большого опыта в применении кривошипно-кулисного механизма нет.

Постановка задачи и результаты исследований

Учитывая положительные свойства кривошипно-кулисного механизма преобразования движения [2] и малый опыт его использования в двигателестроении, была поставлена задача исследования такого механизма. Для этого был выполнен единичный модуль механизма (рис. 1), на котором были проведены исследования [3].

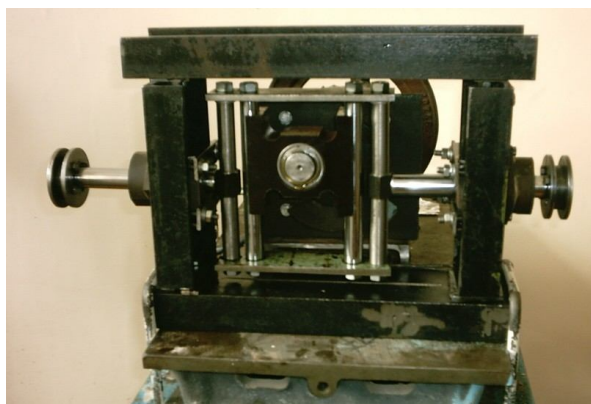


Рис. 1. Опытный единичный модуль кривошипно-кулисного механизма

В процессе исследований были разработаны теоретические зависимости для расчета механизма, они подчиняются синусоидальному закону. Оценивалось влияние закона движения кулисы на термодинамические показатели. Получено, что синусоидальный закон обеспечивает повышение термического КПД примерно на 1% выше, чем для кривошипно-шатунного механизма. Проводился подбор материала для выполнения кулисы. Оценка проводилась по параметрам прочности, жесткости и массы при сравнении стали, алюминиевого и магниевого сплава [1]. Преимуществом по комплексному параметру обладает сталь.

Увеличенная масса движущихся элементов приводит к перераспределению сил на поршень, она снижает суммарную силу на поршень в первой половине рабочего хода и в момент импульсного возникновения давления сгорания, но во второй половине рабочего хода, когда сила от давления газов уменьшается, инерционная сила создает дополнительный вращательный момент на валу двигателя [4]. Расчет для двигателя при суммарной массе кулисы со штоками и поршнями 4 кг показал, что снижение усилия на поршень в первой половине хода составляет 10-15%, а во второй фазе движения от 90 до 180° усилие почти удваивается. При этом суммарный момент силы за весь рабочий ход практически не меняется.

На опытной установке проводилось исследование работоспособности механизма, его надежности, работы скользящих подшипников поршневых штоков и качество уплотнения штоков. Скользящие опоры представляли собой штоки поршней, движущиеся в меднографитовых втулках (рис. 2).



Рис. 2. Линейный подшипник скольжения, слева – поршневой шток (сталь, цементирование), справа – втулка (меднографит)

В опытах при принудительной обкатке механизма в течение 300 часов не обнаружено изменения размеров штока и втулки (рис. 3).

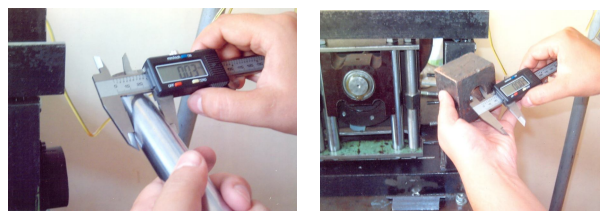


Рис. 3. Контроль износа поршневого штока и втулки кривошипно-кулисного механизма

Кривошипно-кулисный механизм с линейно движущимся возвратно-поступательно штоком позволяет изолировать цилиндр от масляного картера двигателя. Учитывая возможные радиальные микроремещения штока, было разработано виброустойчивое уплотнение штока.

Уплотнение представляет собой блок разрезных колец по диаметру штока в количестве двух, при положении разрезов со сдвигом друг от друга. Кольца выполнены из антифрикционного материала – фторопласта. Кольца вставлены в обойму из эластичного

материала – резины и обжимаются стягивающими кольцевыми пружинами. Весь блок уплотнительных элементов установлен в жестком корпусе (рис. 4).

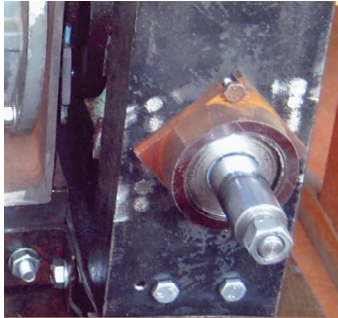


Рис. 4. Внешний вид уплотнения поршневого штока

Радиальные микроперемещения и вибрация штока не нарушает плотности уплотнения, так как эти перемещения компенсируются упругостью резины. Проверка на герметичность проводилась при подаче масла в узел линейного подшипника скольжения и оценке наличия протечек масла на наружной стороне уплотнения (рис. 5).

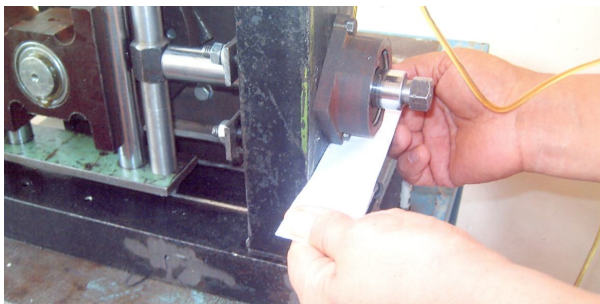


Рис. 5. Проверка герметичности уплотнения штока путем оценки наличия протечек масла на бумаге

Применение разработанного кривошипно-кулисного механизма преобразования движения требует решения вопроса снижения трения поршня в цилиндре. Обычные системы подачи капельного масла из картера, либо принудительная подача масла по штоку поршня, в данном случае не применимы ввиду повышенного расхода масла и образования особо токсичного компонента в отработавших газах двигателя – бензпирена. В связи с этим была разработана и исследована оригинальная конструкция поршневого уплотнения без жидкой смазки [5, 6]. Уплотнение поршня в изолированной от картера цилиндропоршневой группе выполнено на основе твердой смазки – графита.

Поршневое уплотнение представляет собой два кольца в одном пазу на поршне. Кольца выполнены из бронзы или стали. Каждое кольцо выполнено из двух полуколец, стыкующихся при помощи ступенчатого стыка (рис. 6).



Рис. 6. Компрессионные кольца поршневого уплотнения, слева – два полукольца одного полного кольца, справа – полукольца для комплектного поршневого уплотнения

Замки полуколец сдвинуты относительно друг друга на 90° , поэтому пакет колец в количестве двух образует герметичный контакт. На наружной цилиндрической поверхности колец имеется кольцевой паз, заполненный графитом. Выбран состав антифрикционного материала – 75% графита и 25% связующего – жидкого стекла. Материал для заполнения пазов, так же, как и кольца с графитовым заполнением проверялся на прочность, термостойкость. Получено, что при 900°C кольца сохраняют работоспособность.

Согласно расчетам, потери на трение с применением уплотнения из разработанных колец меньше, чем в стандартном уплотнении со смазкой. В опытах усилие сдвига комплекта опытных колец составило 58% от усилия для стандартного уплотнения.

Для испытания уплотнения в двигателе была выполнена опытная установка на основе двигателя УД-2М. Для этого был выполнен крейцкопфный узел, что позволило испытывать уплотнения в условиях, которые возникают при применении кривошипно-кулисного механизма (рис. 7).



Рис. 7. Опытный стенд для исследования сухого поршневого уплотнения на базе модернизированного двигателя УД-2М

Проверка компрессии в двигателе показала, что разработанные кольца обеспечивают компрессию на уровне ее паспортного значения.

В исследовании интенсивности износа уплотнительных колец получен ресурс узла поршневого уплотнения более 3000 мото-часов. При этом, в отличие от работы стандартного уплотнения, показатели экономичности двигателя не меняются, так как герметичность поддерживается на постоянном уровне, независимо от износа колец.

В кривошипно-кулисном кинематическом механизме кривошипный подшипник внутри кулисного камня работает в тяжелых условиях импульсных нагрузок.

Изучение процессов трения и износа в подшипниках скольжения показало, что одним из определяющих факторов является температура фрикционного контакта. В связи с этим большое значение имеет теплопроводность материала в узле трения.

В настоящее время в подшипниках скольжения двигателей применяются вкладыши с покрытием алюминивно-оловянным сплавом. Сравнение теплофизических свойств этого сплава и меди показало, что применение меди повышает качественные показатели подшипников, снижая интенсивность износа и увеличивая ресурс.

На машине трения были проведены сравнительные опыты подшипников скольжения со стандартными вкладышами и стальным валом, с медными вкладышами, с медными вкладышами и предварительным омеднением меди [7]. Получено, что медный вкладыш увеличивает ресурс подшипника скольжения в несколько раз.

Предварительное фрикционное омеднение шейки стального вала снижает интенсивность износа на 40% по сравнению с парой стального вала и медного подшипника.

Далее была разработана конструкция подшипника с внедрением графита в поверхность скольжения ячеистым методом. Для этого на медном вкладыше засверливались лунки 3х3 мм, которые заполнялись графитовой массой на связующем жидком стекле (рис. 8).



Рис. 8. Опытный вкладыш подшипника скольжения из меди с внедрением графита

В расчетном режиме подшипник с графитом работает как обычный без проявления графита. Но в экстремальном режиме при возникновении гранич-

ного трения интенсивность износа вкладыша с графитом составила около 40% от величины износа по сравнению с чисто медным вкладышем.

Заключение

Выполнен комплекс работ, в котором рассмотрено применение кривошипно-кулисного кинематического механизма для компоновки на его базе двухтактного двигателя. Бесшатунный кривошипно-кулисный механизм позволяет компоновать двухтактный четырехцилиндровый двигатель в виде двух кулисно-поршневых модулей, работающих в противофазе. Одновременно проходящие такты в диагонально расположенных цилиндрах обеспечивают сбалансированность двигателя, а также обуславливают применение трехпорного коленчатого вала с концевыми подшипниками качения и с одним средним подшипником скольжения.

Применение полученных результатов исследований позволяют создать двухтактный двигатель с высокими качественными показателями.

Литература

1. Мищенко, Н.И. *Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Н.И. Мищенко. – Донецк: Лебедь, 1998. – 228 с.*
2. Некрасов, В.Г. *Механизм преобразования движения поршневого двигателя [Текст] / В.Г. Некрасов // Вестник машиностроения. – 2006. – С. 83 – 86.*
3. *Исследование кривошипно-кулисного механизма преобразования движения [Текст] / В.Г. Некрасов, М.К. Куанышев, А.Ж. Мурзагалиев, Т.М. Мендебаев, А.К. Мухтаров // Научно-технический прогресс, техника, технология и образование: сб. – Актобе. – 2010. – С. 344 – 348.*
4. Некрасов, В.Г. *Масса поршня и ее влияние на процессы в двигателе [Текст] / В.Г. Некрасов // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 10 – 12.*
5. *Новая концепция цилиндропоршневой группы [Текст] / В.Г. Некрасов, А.Ж. Мурзагалиев, М.К. Куанышев, А.Т. Мухтаров, А.К. Каукаров // Вестник АГУ. – Актобе, 2008. – С. 33 – 41.*
5. *Исследование сухого уплотнения поршня в цилиндре [Текст] / А.К. Каукаров, А.Ж. Мурзагалиев, В.Г. Некрасов, Т.М. Мендебаев // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2010. – № 6. – С. 54 – 55.*
6. Некрасов, В.Г. / *Исследование и совершенствование подшипников скольжения двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.Г. Некрасов, М.К. Куанышев, Н.К. Надиров // Машины, технологии, материалы. – София. - 2007. – № 2-3. – С. 43 – 45.*

Поступила в редакцию 30.05.2012

Рецензент: д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник ТОО НЕТРОЭН-НТ В.И. Барков, Алматы, Казахстан.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ СТВОРЕННЯ ДВОТАКТНОГО ДВИГУНА

А. Ж. Мурзагалиєв, В.Г. Некрасов, М.К. Куанишев, А.Т. Мухтаров, А.К. Каукаров

Розглядається питання про створення конкурентоздатного двотактного двигуна. В даний час є передумови для створення ефективного двотактного двигуна. Для реалізації комплексу перспективних технічних рішень потрібна конструктивна база, на основі якої може бути скомпонований двотактний двигун. Таким вибраний кривошипно-кулісний кінематичний механізм перетворення руху. Механізм розвантажує поршень від бічних сил, дозволяє ізолювати циліндр від масляного картера, використовуючи підпоршневий об'єм як продувальний насос. Це зажадало розробки циліндропоршневої групи на основі твердого мастила. Виконано також вдосконалення ковзаючого підшипника на основі застосування теплопровідного і антифрикційного матеріалу міді і графіту.

Ключові слова: двотактний двигун, кривошипно-кулісний механізм, тверде мастило, графіти.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION IN THE FIELD OF CREATION OF TWO-STROKE ENGINE

A.Z. Murzagaliyev, V.G. Nekrassov, M.K. Kuanishev, A.T. Muhtarov, A.K. Kaukarov

It is considered the question about creation competitive two-stroke engine. At present there are prerequisites for creation the efficient two-stroke engine, as uniflow scavenging, valve slit system of gas distribution by many valves mechanism, hydraulic management valves, diesel cycle under high degree of the compression and others. For realization of the complex of the perspective technical decisions is required constructive base, on base which can be configured two-stroke engine. As such may be chose crankshaft slip kinematics mechanism for transformation of the motion. The mechanism unloads the piston from lateral forces, allows to insulate the cylinder from oil carter, using under piston volume as scavenging pump. This has required the development and studies cylinder-piston group on base of hard lubrication. It is executed also improvement sliding bearing with perfected qualitative factor on base of the using heat-conducting and antifriction materials as copper and graphite.

Key words: two-stroke engine, crankshaft slip mechanism, hard lubrication, sliding bearing, graphite.

Мурзагалиєв Ахмет Жакеевич – канд. техн. наук, декан технического факультета Актюбинского государственного университета им. К. Жубанова, Актобе, Казахстан, e-mail: akhmet-zhakiyevich@mail.ru.

Некрасов Вадим Георгиевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» АГУ им. К. Жубанова, e-mail: vadim.nvg@mail.ru.

Куанышев Мурат Кулынтаевич – канд. техн. наук, зав.каф. «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» АГУ им. К. Жубанова, e-mail: k-murat@mail.ru.

Мухтаров Абзал Танжибаевич – инженер, зам. декана технического факультета АГУ им. К. Жубанова, e-mail: abzal-75@mail.ru.

Каукаров Алтынбек Кубашевич – ст. преподаватель кафедры «Автомобильный транспорт и организация дорожного движения» АГУ им. К. Жубанова, e-mail: altynbek-79@mail.ru.