Рудаков Иван Николаевич, Ульев Павел Валерьевич, Ульева Оксана Олеговна,
Михайлов Александр Сергеевич, Хомутков Сергей Юрьевич

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СХЕМ РОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2011/4/18.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2011. № 4 (47). С. 87-89. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2011/4/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

Список литературы

1. **Галдина В. Д., Гриневич Н. А., Соколов Ю. В.** Улучшение свойств дорожных битумов добавками полимерных модификаторов // Тезисы докладов II Международной научно-технической конференции «Автомобильные дороги Сибири». Омск: Изд-во СибАДИ, 1998. С. 129-131.
2. **ГОСТ 9128-97. Смеси асфальтобетонные дорожные, аэродромные и асфальтобетон: технические условия**: взамен ГОСТ 9128-84; введ. 01.01.99. М.: Минземстрой России; ГУП ЦПП, 1998. 24 с.
3. **Полякова С. В.** Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве // Наука и техника в дор. отрасли. 1999. № 1. С. 19-21.
4. **Полякова С. В.** Применение модифицированных битумов в дорожном строительстве // Применение полимерно-битумных вяжущих на основе блок-сополимеров типа СБС. М., 2001.
5. **Порадек С. В.** Еще раз о проблеме качества при модифицировании битумов полимерами типа *SBS* // Наука и техника в дор. отрасли. 2000. № 3. С. 9-10.
6. **Руденский А., Смирнов Н.** Композиционные резинобитумные материалы широкого применения для всех климатических зон // Дороги России XXI века. 2002. № 3. С. 86-88.

УДК 62

Иван Николаевич Рудаков, Павел Валерьевич Ульев, Оксана Олеговна Ульева,
Александр Сергеевич Михайлов, Сергей Юрьевич Хомутков
Тамбовский государственный технический университет

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ СХЕМ РОТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ©

Появление кривошипно-шатунного двигателя сто с небольшим лет назад сыграло выдающуюся роль в развитии техники. Прежде всего позволило эффективно преобразовать тепловую энергию в механическую. Положило начало эре автомобилей и летательных аппаратов тяжелее воздуха. Наконец, вытеснило паровую машину в судостроении и на железнодорожном транспорте. И на протяжении ста лет этот тип двигателя, образно говоря, продолжает свое триумфальное шествие, побеждая всех конкурентов. А конкурентов у него было немало, по крайней мере, более двух десятков. Есть они и сейчас. Приведем основные три причины, по которым можно судить о лидерстве кривошипно-шатунных двигателей:

1) достаточно надежный и сравнительно несложный механизм преобразования движения;

2) исключительно простое и эффективное уплотнение поршня в цилиндре;

3) большие возможности для реализации тех форм камеры сгорания, которые способствуют наилучшему протеканию рабочего процесса.

В итоге полностью удовлетворяется основное требование, предъявляемое к двигателям - надежность работы. И вместе с тем у кривошипно-шатунного двигателя есть существенные недостатки. Основные из них:

1) наличие «мертвых» положений поршня, в которых поршень меняет направление своего движения;

2) сравнительно большие размеры и вес.

Первое обстоятельство приводит к значительным инерционным нагрузкам и, кроме того, снижает приемистость двигателя; второе является как-будто не столь принципиальным, но, эксплуатационные данные показывают, что снижение массы автомобиля примерно на 50 кг дает возможность экономить в городских условиях движения 0,1 л горючего на 100 км. От массы автомобиля зависит величина сил, необходимых для движения автомобиля, мощность, генерируемая для создания этих сил, и потребление энергии для получения этой мощности. Расчеты показывают, что 70% энергии расходуется в стабильном режиме.

Следовательно, у кривошипно-шатунного двигателя появляются конкуренты. Среди них следует выделить два: роторный двигатель с планетарным движением ротора-поршня, известный как двигатель Ванкеля, и двигатель с круговым параллельным движением ротора-поршня, которому австралийский инженер Сейрич дал название «орбитального».

Оба двигателя относятся к семейству роторно-поршневых, и не случайно. В данном типе двигателей имеет место бесшатунное преобразование кругового движения ротора-поршня во вращательное движение выходного вала. Таким образом, устраняются «мертвые» положения поршня и на отсутствии шатуна экономятся размеры двигателя. Требуемые достоинства налицо. Но возникают другие недостатки, и набор этих недостатков оказывается весьма обширным. Кроме того они трудно преодолимы. И все же не настолько, чтобы заставить отказаться от поисков грядущего «роторного». Надо только понять каким он должен быть. С этой целью попробуем разобраться в сложном процессе развития схем двигателей роторного типа. Родоначальником роторных двигателей следует считать простейший «коловратный» двигатель, который состоит из эксцентрикового вала, вращающегося в опорных подшипниках, и подпружиненных лопаток, перемещающихся в пазах статора. Это двигатель роторного типа в чистом виде. Эксцентрик служит ротором и при вращении изменяет объём замкнутого между лопатками пространства.

© Рудаков И. Н., Ульев П. В., Ульева О. О., Михайлов А. С., Хомутков С. Ю., 2011

Он представляет собой диск, вращающийся вместе с валом около смещенной относительно его центра оси вала. Отсюда вытекает название «коловратный». Не вдаваясь в специальные вопросы конструирования двигателей внутреннего сгорания и, особенно, связанные с организацией рабочего процесса, будем рассматривать недостатки этой и последующих схем пока только с позиций механики. Основным недостатком является расположение лопаток в статоре, приводящее к нерациональному использованию сил инерции лопаток. Лопатки совершают поступательное перемещение и в положении, близком к их максимальному вхождению в статор, возникают наибольшие силы инерции, стремящиеся оторвать лопатки от ротора-эксцентрика. При этом возникает опасность нарушения замкнутости рабочих камер. Чтобы этого не произошло, чтобы обеспечить замыкание лопаток на эксцентрике, необходимо ставить жёсткие пружины, сила упругости которых превышала бы силы инерции лопаток. Но эта же сила упругости в других положениях лопаток будет излишне нагружать поверхности контакта лопаток и эксцентрика и, вследствие этого, приводить к их интенсивному разрушению.

Избежать указанного недостатка можно если лопатки будут перемещаются в пазах ротора-эксцентрика и вращаться вместе с ним. Возникающие при вращении центробежные силы инерции лопаток способствуют обеспечению постоянного контакта лопаток со статором. Нагружение зоны контакта можно сделать более благоприятным, но... возникают большие скорости скольжения концов лопаток относительно статора и оказывается возможным интенсивный износ контактирующих поверхностей. Можно ли бороться с недостатком? Оказывается можно. Для этого достаточно посадить на эксцентриковый вал диск с прорезями для лопаток и придать диску планетарное движение. В итоге диск будет вращаться вместе с эксцентриком относительно оси вала и одновременно относительно собственной оси, совпадающей с осью эксцентрика. Такой диск будет выполнять функции ротора-поршня. Эксцентриковый вал в этом случае может быть заменен обычным коленчатым. Для обеспечения планетарного движения служит зубчатый механизм, включающий зубчатое колесо, закрепленное соосно на роторе-поршне, зубчатое колесо, неподвижно установленное в статоре, и эксцентриковый (коленчатый) вал. Зубья колес образуют внутреннее зацепление. Но недостатки этим полностью не устраняются. Остаются неоправданно большие размеры ротора и конструкции в целом из-за дополнительного удлинения пазов с целью размещения пружин. Кроме того от размеров ротора зависит масса противовесов, уравновешивающих «вредные» силы инерции ротора-поршня, вызывающие колебания двигателя. Значит надо убрать силовые пружины. Это можно сделать так, находящиеся в роторе-поршне концы лопаток связать штырями с направляющими пазами, изготовленными в боковых крышках рабочих камер. Тогда силы инерции лопаток будут восприниматься штырями и пазами. А как быть с замыканием лопаток на статоре? Придется в лопатках сделать пазы и разместить в них небольшие и легкие пластины, которые все-таки необходимо подпружинить. Зато теперь уменьшился ротор и нагрузка на лопатки и статор, то есть в конечном итоге их износ. Казалось можно на этом остановиться, но... из-за износа теперь уже направляющих пазов увеличится их ширина и лопатки начнут «болтаться». В конечном итоге штыри сломаются и двигатель выйдет из строя. Как же быть?

Очевидно, надо лопатки закрепить независимо друг от друга на эксцентриковом валу с возможностью вращения. А чтобы ротор-поршень мог выполнять планетарное движение, ввести шарнирные элементы, имеющие прорези для лопаток. Теперь, кажется, удовлетворены все основные требования, которые целесообразно предъявить к схеме роторно-поршневого двигателя. К схеме - да, а к конструкции? - далеко нет. Например, лопатки могут быть закреплены на валу только сбоку от ротора- поршня и при этом утоплены в ротор-поршень. Конструктивно очень сложная задача. К тому же мы ещё ничего не говорили о боковом уплотнении ротора-поршня и лопаток, а оно выполняется, как и радиальное, с помощью подпружиненных элементов. Таким образом, реализация итоговой схемы наталкивается на чрезвычайные трудности.

Значит надо упростить конструкцию, сохранив содержащийся в ней замысел. Самое рациональное - закрепить лопасти на роторе- поршне жёстко и посмотреть какую траекторию будут описывать их концы. А внутреннюю полость статора выполнить в соответствии с этой траекторией. Действительно, такая конструкция реализуема, если концы лопаток образуют правильный многоугольник. Кривая, которую описывают вершины многоугольника, совершающего планетарное движение, называется эпитрохоидой. Если взять самый простой многоугольник - треугольник. Именно эта схема легла в основу двигателя инженера Ванкеля. В отличие от других схем она была реализована в промышленном варианте в середине 60-х годов. Появление двигателя Ванкеля вызвало бум в автомобильной промышленности. Ему прочили блестящую победу над обычным поршневым. Ведущие автомобильные фирмы спешили приобрести, и за немалые суммы, лицензии у патентодержателя - западногерманской фирмы. Так, американская фирма «Дженерал моторс» только за право изготавливать и реализовывать на внешнем рынке автомобили с двигателем Ванкеля заплатила 30 млн. долларов. И это без приобретения технологии. Но вскоре выяснилось, что двигатель Ванкеля требует значительных доводочных работ. У него оказался большой расход топлива и интенсивный износ рабочей поверхности статора. Доводочный срок растянулся на многие годы и стоил фирмам больших затрат. Постепенно обнаружилось, что лопатки радиального уплотнения совершают вибрирующее движение, которое трудно устранить. В результате этого на поверхности статора «насекаются» рифления. Растянутая форма камеры сгорания не способствует хорошему протеканию рабочего процесса. Большие тепловые деформации искажают форму статора. Л фирмы одна за другой начали сворачивать работы. Все фирмы, за исключением японской «Тойо когио». Она-то и продолжает выпуск двигателей Ванкеля, конкурирующие способности которых обеспечиваются дорогостоящей технологией их изготовления. У нас в стране доработкой

двигателя Ванкеля занимается Волжский автозавод. Однако сейчас мнение специалистов однозначно: двигатель Ванкеля не оправдал возлагавшихся на него надежд. Значит с роторными покончено? Или начать как бы все сначала? А как? Вернемся к рассмотренным ранее схемам. Все они имеют общий признак - скользящий контакт лопаток со статором или ротором. А если лопатки закрепить и на статоре и на роторе с возможностью вращательного или поступательного движения? Они тогда тоже разделят рабочее пространство на изолированные камеры. Ротору же следует придать такое движение, чтобы объёмы камер менялись. В итоге получим симбиоз роторного и кривошипно-поршневого двигателей, «золотую середину». При таком принципе действия шатуны по-прежнему отсутствуют, а рабочий процесс будет организован так же, как в цилиндре поршневого двигателя. И осуществить такое движение ротора можно. Надо ротор разместить на эксцентриковом валу и одну лопатку жёстко закрепить на роторе. Остальные лопатки закрепить шарнирно. И неподвижная, и подвижные относительно ротора лопатки будут перемещаться в прорезях шарниров, установленных в статоре. Можно пойти ещё дальше. Закрепить на роторе все лопатки. Одна из них, попрежнему пусть совершает движение в разрезном шарнире статора. Чтобы обеспечить движение других лопаток, необходим двойной эксцентриковый шарнир в статоре, состоящий из разрезного шарнира и эксцентричного с ним шарнира. Эта схема положена в основу конструкции двигателя, разработанной финскими изобретателями Хейнола, Кейхманиеми, Пайоненом. Казалось бы просто и хорошо. Но опять только казалось бы. На самом деле неподвижно закрепленные на роторе лопатки не позволяют эффективно изменять объём рабочих камер, появляются большие застойные зоны. Вывод - лопатки надо сделать подвижными, например, закрепить в роторе шарнирно. Но как тогда задавать движение ротору-поршню? И каким может быть это движение? С точки зрения равномерности наиболее выгодным следует считать круговое параллельное движение, то есть движение при котором все точки ротора-поршня двигаются по круговым траекториям одного и того же радиуса. Этот радиус должен быть равен величине эксцентриситета эксцентрикового вала. Достичь этого можно, например, так - сделать два отверстия в роторе-поршне (одно - по центру, другое - в любом месте), в центральном отверстии разместить эксцентрик выходного вала, а в смещенном отверстии разместить эксцентрик с той же величиной эксцентриситета, что и у эксцентрика, установив вал эксцентрика в одной из боковых крышек статора. Лучше поставить три таких эксцентрика. Тогда они скомпенсируют погрешности изготовления и возьмут на себя только часть нагрузки. Каждый из эксцентриков образует вместе с ротором и эксцентриковым валом механизм параллельных кривошипов. Имеются и другие способы сообщать ротору круговое параллельное движение.

Двигатель с круговым параллельным движением ротора-поршня получил название «орбитального». Теперь все лопатки модно сделать подвижными относительно ротора и статора. С ротором лопатки соединяются шарнирно. В статоре устанавливаются разрезные шарниры, которые служат направляющими для лопаток. Для перемещения лопаток в статоре делаются пазухи. Лопатки при такой схеме совершают сложное движение на плоскости. Однако, наличие пазух нежелательно, так как туда могут прорываться газы из рабочих камер.

Чтобы избавиться от этого, можно лопаткам задать поступательное перемещение в пазах статора. В этом случае для перемещения концов лопаток в роторе необходимо также сделать пазы, в которые ввести штыри, установленные на концах лопаток.

Такую схему реализовал австралийский инженер Сейрич. Но этот вариант оказался неудачным из-за сложной конструкции уплотнений лопаток в роторе и явной неспособности обеспечить надежное соединение лопаток с ротором. При частоте вращения эксцентрикового вала свыше 4000 I/мин штыри ломались и двигатель выходил из строя.

Итак, мы познакомились с эволюцией схем двигателей, объединенных названием «роторные». Правда, мы не коснулись тех схем бесшатунных двигателей, которые условно также относят к роторным на том основании, что они содержат вращающиеся детали, посредством которых осуществляется изменение рабочего объёма. Ясно одно, штурм кривошипно-шатунного двигателя продолжается и одним из главных закономерных претендентов следует назвать «орбитальный».

УДК 62

Иван Николаевич Рудаков, Павел Валерьевич Ульев, Оксана Олеговна Ульева,
Александр Сергеевич Михайлов, Сергей Юрьевич Хомутков
Тамбовский государственный технический университет

УСЛОВИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ МАСЛЯНОГО СЛОЯ В КУЛАЧКОВОЙ ПАРЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА©

Обеспечение существования масляного слоя в контакте кулачка и толкателя газораспределительного механизма (ГРМ) двигателя внутреннего сгорания является важнейшей задачей его работоспособности.

© Рудаков И. Н., Ульев П. В., Ульева О. О., Михайлов А. С., Хомутков С. Ю., 2011