**Леферов Александр Александрович. Формирование облика и создание демонстрационного двигателя внутреннего сгорания с качающимися рабочими органами : Дис. ... канд. техн. наук : 05.07.05 Москва, 2005 139 с. РГБ ОД, 61:06-5/1809**

**61:06-5/1809**

Московский Авиационный Институт (Государственный Технический Университет)

*На правах рукописи*

Лефёров Александр Александрович

ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА И СОЗДАНИЕ ДЕМОНСТРАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С КАЧАЮЩИМИСЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

05.07.05

Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук профессор Гилевич Дмитрий Дмитриевич

Москва - 2005

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 6

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

КОНСТРУИРОВАНИЯ ДВС С КАЧАЮЩИМИСЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ 24

1. Существующие и предлагаемые конструкции ДВС с КРО 24
2. Классификация двигателей с КРО 28
3. Конструктивные особенности

двигателей с КРО 39

ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДВС С КАЧАЮЩИМИСЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ .... 45

1. Структурный анализ механизмов ДВС с КРО. Формирование расчетной схемы математической модели кинематики механизма 45
2. Свойства кинематической схемы ДВС с КРО... 57
3. Кинематический анализ ДВС с КРО.

Характерные параметры математической модели. Частные случаи кинематической

схемы механизма 68

1. Выводы 81

ГЛАВА 3. ДЕМОНСТРАЦИОННЫЙ МОДЕЛЬНЫЙ ДВС С

КАЧАЮЩИМИСЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ 82

1. Назначение и основные параметры 82
2. Конструкция 83
3. Кинематическая схема 90
4. Газораспределение 96

ГЛАВА 4. ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ 105

* 1. Испытания и полученные экспериментальные данные 105
  2. Проблемы и особенности, выявленные при испытаниях 118

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 123

Выводы 132

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 134

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

*Л -* кинематическая постоянная КШМ *R* - радиус кривошипа или эксцентриситет *L -* длина шатуна для КШМ и длина тяги или радиус направ­ляющей для ДВС с КРО *г* - длина рычага поршня или коромысло *R' -* расстояние от оси вращения выходного вала до оси кача­ния поршня *Vh -* рабочий объем одной поршневой полости *VH -* рабочий объем двигателя *і -* число поршневых полостей *£г -* степень сжатия геометрическая £д - степень сжатия действительная *п -* частота вращения, об/мин

£пд - действительная степень сжатия продувочной полости *Fn -* эффективная площадь поршня

*Dnp -* приведенный диаметр поршня *S -* ход поршня *I -* ширина поршня *h -* радиальная длина поршня *Г] -* радиус втулки поршня *г2 —* внешний радиус поршня *гСр -* средний радиус поршня *у* - угловой ход поршня

1. *-* ось вращения выходного вала
2. *-* центр направляющей
3. *-* качающаяся ось поршня
4. *-* ось качания поршня

*со -* частота вращения вала, рад/с

~5~

*Q* - частота вращения ротора, рад/с

*(р* - угол поворота выходного звена от нулевого положения *Р* - угол поворота рычага от нулевого положения, соответст­вующий углу *(р х, у* - координаты оси качания поршня *(р0 -* угол начального положения выходного вала *р0 -* начальный угол наклона рычага поршня *Л(р -* разность углов начального положения вала соответствую­щих в.м.т. и н.м.т.

*Фрасш ~* длительность хода расширения по углу поворота вала ***(рсж*** *-* длительность хода сжатия по углу поворота вала Лр - коэффициент симметричности ходов

ВВЕДЕНИЕ

Исследование посвящено схеме ДВС, с альтернативным криво­шипно-шатунному[[1]](#footnote-1) механизму (КШМ), механизмом преобразования энергии газов в работу на валу. Данная тема предлагает сформиро­вать облик ДВС, в котором используется кинематическая схема с ка- чающимися рабочими органами (КРО), и такое решение требует подробного пояснения.

Принципиальное отличие ДВС с КРО от поршневого двигателя с классическим КШМ в том, что поршень совершает возвратно­вращательное движение и функционально исключен из кинематиче­ской цепи механизма. Поясню фразу «функциональное исключение поршня из кинематической цепи»: в ДВС с КШМ поршень является звеном механизма - ползуном, т.е. без него механизм не будет суще­ствовать, а в ДВС с КРО механизм будет существовать и без поршня. Поршень в ДВС с КРО является конструктивным элементом, воспри­нимающим давление газа, а для преобразования его в механическую работу поршень жестко связан с качающимся звеном преобразующе­го механизма.

Как будет показано ниже, возвратно-вращательное движение поршня и снятие с него функции звена механизма дает конструктору большую по сравнению с КШМ свободу в проектировании двигателя и его рабочего цикла.

Актуальность темы определена тремя основными тезисами:

1. Свобода в проектировании рабочего цикла двигателя с КРО позволяет повысить наполнение и приблизить процесс сго­

рания к подводу тепла при постоянном объеме и тем самым получить максимальные мощность, экономичность и к.п.д. рабочего цикла.

1. Функциональное исключение поршня из кинематической цепи преобразующего механизма позволяет создать конст­рукцию с высоким механическим к.п.д.
2. В сравнении с двигателями, использующими кривошипно­шатунный механизм с возвратно-поступательным движени­ем ведущего звена, схема ДВС с КРО позволяет применять решения, более эффективно использующие объем и массу конструкции, т.е. снижающие удельную массу двигателя.

Тезис №1 Подавляющее большинство двигателей внутреннего сгорания, поршневых компрессоров и ряд других изделий в качестве механизма преобразующего движение поршня во вращение выходно­го вала использует кривошипно-шатунный механизм. Известны аль­тернативные механизмы: механизм П.Л. Чебышева [42, С. 19], меха­низм С.С. Баландина [42, С.22], крейцкопфный механизм, двигатель Ф. Ванкеля [4] и другие механизмы, использующие различные ком­бинации шатунов, рычагов, кривошипов, ползунов и зубчатых пере­дач. На базе этих механизмов создано и создается вновь небольшое, по сравнению с двигателями с КШМ, количество ДВС и других изде­лий. Закон движения поршня в центральном КШМ, для упрощения получения законов скорости и ускорения поршня, описывается раз­ложением его точной, полученной из геометрических соотношений, функции в сокращенный до двух членов биномиальный ряд [8]. Раз­ложение реальных функций по биному Ньютона при расчетах без ис­пользования быстродействующих персональных компьютеров обес­печило простоту вычислений при допустимой потере точности.

Простота расчета и конструкции центрального КШМ предопреде­лили конструктивный облик современного двигателя внутреннего сгорания.

Для двигателей с возвратно-вращательным движением поршня нет такого как для ДВС с КШМ приспособленного к расчету цикла и отработанного на практике описания механизма.

Двигатель с качающимися рабочими органами имеет сложную по сравнению с применяемой для описания КШМ математическую мо­дель кинематической схемы. Сложность заключается в том, что алго­ритм определения закона движения рабочего органа описывается ря­дом промежуточных функций и имеет логические ветвления.

Изучение опыта создания моделей ДВС с КРО на предприятии, рассмотрение патентной документации, проведение стендовых и хо­довых в составе транспортного средства, испытаний модельного дви­гателя выявили конструктивные решения не являющиеся целесо­образными. Первое - *применение параллельной схемы механизма с консольной опорой качающегося поршня*, которая была реализована в модельном двигателе и встречается в ряде патентов. Такая схема по­требовала внесения целого набора корректировок в геометрию лопат­ки (поршня), при этом изгибающие ось лопатки нагрузки не позволи­ли обеспечить гарантированный зазор между лопаткой и поверхно­стями рабочей полости. Дополнительно к трению лопатки изгиб оси увеличивал потери трения в опоре лопатки. Изгиб оси лопатки при­водил к некоторой непараллельное™ осей роликов и направляющей, что ухудшало условия работы подшипников и повышало механиче­ское сопротивление. Консольное крепление лопатки при двунаправ­ленном движении линии уплотнений не позволяет выполнить замк­нутый компрессионный периметр простой конфигурации, что услож­нило задачу обеспечения достаточного уровня компрессии. Второе - *подвижный газовый стык.* Применялся в четырехтактной модели разработанной на предприятии и широко распространен в конструк­циях представленных в патентной литературе. Основную сложность при реализации подвижного газового стыка вызывает организация уплотнения. Другими минусами подвижного газового стыка являются воздействие газовой силы непосредственно на опоры ротора, слож­ность организации горения и большая поверхность теплоотвода при подвижной стенке камеры сгорания. Третье - *сложный или незамк­нутый компрессионный контур.* Значительная часть патентов посвя­щенных двигателям с качающимися рабочими органами имеет слож­ный компрессионный контур с переменным периметром или с линией уплотнения перемещающейся по обеим деталям образующим уплот­няемый стык. Изначально лопатка модельного двигателя имела не­замкнутый компрессионный контур, в который пришлось вводить дополнительные контактные поверхности. Доработка позволила дос­тичь герметичности достаточной для демонстрационных запусков, но не соответствующей поршням цилиндрической формы. Четвертое - другой причиной невысоких значений компрессии было примененное в модельном двигателе и нередко встречающееся в патентной доку­ментации *двунаправленное движение линии уплотнений поршня*, ко­торое вызывает перекос элементов уплотнения в канавке и тем самым обусловливает утечки рабочего тела.

~ 129 ~

На основе анализа патентной литературы и изученных конструк­ций ДВС с КРО, опыта проектирования, доработки и испытаний мо­дельного роторно-турбинного двигателя, в целях раскрытия темы диссертации определены рекомендуемые конструктивные реше­ния. Первое - в качестве варианта преобразующего механизма, для достижения наименьшего механического сопротивления рекоменду­ется применять *кривошипно-коромысловый механизм* для стандарт­ной схемы двигателя и в роторной схеме *двухкривошипный.* Звенья данных механизмов входят в низшие вращательные кинематические пары. Современная промышленность имеет большой опыт проекти­рования и отработанную технологию изготовления обеспечивающие достижение низкого коэффициента трения вращательных пар. Второе - *применение одноплоскостной схемы механизма* минимизирует из­гибающие моменты силовой схемы механизма, обеспечивая мини­мальные механические потери энергии при преобразовании движения поршня. Механизмы, построенные на вращательных парах по одно­плоскостной схеме, обеспечат для двигателя с КРО частичные конст­руктивную и технологическую преемственность с классическими ДВС с КШМ. Третье - *разделенный рабочий объем.* Конструктивное разделение общего объема на объемы с одной подвижной стенкой - поршнем, обеспечивает надежную герметизацию неподвижного газо­вого стыка, постоянный по длине периметр компрессионного контура простой формы, минимизацию поверхностей теплоотвода. Кроме то­го, отдельные для каждого объема камеры сгорания обеспечивают лучшие по сравнению с объединенным объемом условия сгорания. Четвертое рекомендуемое решение - *прямоугольное сечение поршня.* Прямоугольное сечение (в патентной литературе и среди рассмотрен­ных конструкций нередко встречаются поршни торообразной формы) имеет более высокую технологичность, т.е. не требует разработки уникального оборудования, для изготовления самого поршня и дета-

лей корпуса организующих рабочий объем. Технологичность, в свою очередь, упрощает подготовку массового производства. Прямоуголь­ная конфигурация поршня позволяет применить уплотнения состоя­щие из нескольких компонентов спроектированных в соответствии с условиями работы. Это важно, так как вследствие возвратно­вращательного характера движения поршня, уплотнительный пери­метр, по длине, имеет различную скорость движения и по разному подвержен действию поля центробежных сил. Пятое решение касает­ся движения линии уплотнений, целесообразным предполагается *применение однонаправленного двиэюения.* При однонаправленном движении обеспечивается четкое прилегание уплотнения к поверхно­сти уплотнительной канавки. Конструкция поршня, реализующая од­нонаправленное движение линии уплотнений минимизирует площадь поверхности теплоотвода и массу поршня. Шестым решением явля­ется рекомендация о *применении материалов и опыта* организации компрессионного контура на двигателях *Ф. Ванкеля.* Компрессион­ный контур поршня двигателя Ф. Ванкеля является многокомпонент­ным и имеет пространственную схему с криволинейными уплотне­ниями, однако современный уровень производства позволяет серийно выпускать двигатели Ф. Ванкеля. Компрессионный контур поршня ДВС с КРО реализуется в одной плоскости, имеет сходные условия работы, но сравнительно простую конфигурацию. Таким образом, компрессионные элементы ДВС с КРО имеют преемственность с двигателем Ф. Ванкеля, но при этом более технологичны.

В завершении необходимо обозначить и прокомментировать про­блемы требующие проведения дополнительных исследований для обеспечения развития ДВС с КРО как отдельного направления двига- телестроения.

Наиболее приоритетная задача следующего этапа - получить экс­периментальное подтверждение перспективных свойств механизма

-131-

выявленных в настоящем исследовании теоретическими методами. Выявленные особенности и свойства механизма ДВС с КРО предпо­лагают, что механизм ДВС с КРО имеет относительно КШМ наибо­лее распространенного в ДВС, более выгодную позицию по ряду па­раметров. Это повышенный индикаторный к.п.д., низкие механиче­ское сопротивление, уровень вибрации и уровень механического шу­ма, лучшие литровая мощность, удельная масса и удельный расход. Данные заключения синтезированы теоретически на основе анализа результатов исследования и проведения аналогии с КШМ. Таким об­разом, приоритетной задачей последующих исследований является экспериментальное подтверждение выявленных теоретическим путем перспективных свойств ДВС с КРО.

Следующей по приоритетности задачей является проведение от­дельных исследований для оптимизации параметров характеризую­щих рабочий процесс и параметров характеризующих геометрию де­талей двигателя. Необходима оптимизация процесса в рабочей полос­ти формы сектора кольца: выбор геометрии полости, размещение и выбор органов газообмена, выбор формы и расположения камеры сгорания. Также требуется оптимизация геометрических параметров характеризующих рабочий объем с точки зрения минимизации инер­ционных нагрузок и поверхности теплообмена. Отдельный вопрос - оптимизация привязки поршня к качающемуся рычагу с целью обес­печения гарантированного минимального зазора между поршнем и поверхностями рабочего объема. Необходимы исследования по вы­бору оптимальных материала, геометрии и схемы уплотнений ком­прессионного пояса поршня. Для оптимизации рабочего процесса требуется исследование влияния различной симметричности ходов сжатия и расширения на параметры двигателя.

В качестве суммы выявленных фактов и полученных эмпириче­ских данных сформулированы выводы.

Выводы

1. Решена проблема систематизации существующей информации по ДВС с КРО:

* разработаны охватывающие все многообразие схем двигателей с КРО классификация и необходимая терминология, которые формали­зуют описание двигателей с КРО и обеспечивают возможность кор­ректного сравнения по формальным признакам;
* выявлены конструктивные особенности схемы и свойства меха­низма принадлежащие всему семейству двигателей с качающимися рабочими органами.

1. Выявлена и теоретически обоснована перспективность развития данного направления в моторостроении (см. рис. 68):

* способность получить больший индикаторный к.п.д. (до 20% по отношению к ДВС с КШМ) и соответствующее снижение удельного расхода за счет приближения процесса сгорания к подводу тепла при постоянном объеме;
* при равных условиях (рабочем объеме, степени сжатия, типе ра­бочего цикла, скоростном режиме) способность получить большую мощность (до 22% по отношению к ДВС с КШМ) за счет высокой эффективности цикла и лучшего наполнения;
* возможность создавать компактные преобразующие механизмы обладающие меньшей массой и большей жесткостью, за счет свойст­ва масштабируемости;
* возможность получения высокого механического к.п.д., за счет оптимальных условий смазки пар трения кинематической схемы и меньшего коэффициента трения пары «рабочий орган - корпус»;
* отсутствие механического износа поршня, за счет движения с гарантированным зазором;

- 133-

* возможность обеспечить минимальный расход масла через уп­лотнения поршня, так как при движении поршня с гарантированным зазором потребность поверхностей рабочего объема в смазке мини­мальна;
* пониженные механические шум и вибрации, за счет отсутствия перекладок поршня и отсутствия соударений поршня с корпусом.

1. Разработана, применена и проверена при создании модельного демонстрационного двигателя методика расчета кинематики меха­низма с КРО. Расчет универсальный и позволяет описывать движение поршня в любых двигателях выполненных по схеме с КРО.
2. Модельным роторно-турбинным двигателем, разработанным при непосредственном личном участии автора, работа ДВС с КРО продемонстрирована, в том числе публично на международном авиа­космическом салоне в г. Жуковском «МАКС-2003».
3. Решена проблема формирования обобщенного облика ДВС с КРО: определены рекомендуемые и не целесообразные конструктив­ные решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов С.В., Чижков Ю.П. Электрооборудование автомоби­лей. Учебник для ВУЗов./ - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2003. - 384 с.: ил.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин: Учеб. Для втузов. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Главная редак­ция физико-математической литературы, 1988. - 640 с.
3. Басс Б.А. Свечи зажигания. Краткий справочник. - М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. - 120 с.
4. Бениович B.C., Апазиди Г.Д., Бойко А.М. Ротопоршневые дви­гатели./ -М., «Машиностроение». 1968. 151 с.: ил.
5. Борзе Д.Д. Сгорание в поршневых двигателях/ - М.: Машино­строение, 1969. - 248 с.
6. Васильев Б.Н. К вопросу о механических потерях в автомо­бильных двигателях// Академия наук СССР лаборатория двига­телей. Поршневые двигатели внутреннего сгорания. Труды конференции по поршневым двигателям/ - М.: Изд-во акаде­мии наук СССР, 1956. - С.229-236.
7. Вибе И.И. Новое в рабочем цикле двигателей. Скорость сгора­ния и рабочий цикл двигателя/ - Свердловск.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной лите­ратуры, 1962. - 272 с.
8. Двигатели внутреннего сгорания. Том I. Рабочие процессы в двигателях и агрегатах / А.С. Орлин, Г.Г. Кашин, Б.Г. Либро- вич и др. Под ред. А.С. Орлина./ - М.: Государственное научно- техническое издательство машиностроительной литературы, 1951.

~ 135-

1. Двигатели внутреннего сгорания. Том II. Конструкции и расчет / А.С. Орлин, Д.Н. Выбурнов, И.И. Костыгов и др. Под ред.
2. С. Орлина./-М.: Государственное научно-техническое изда­тельство машиностроительной литературы, 1955. - 536 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Учеб­ник для студентов втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н.Вырубов,

С.И.Ефимов, Н.А.Иващенко и др.,: Под ред. А.С.Орлина, М.Г.Круглова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машинострое­ние, 1984. - 384 с.

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа порш­невых и комбинированных двигателей. Учебник для студентов вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания». /
2. П. Алексеев, В.Ф. Воронин, М.Г. Круглова./ - 4-е изд., пере­раб. и доп./ - М.: Машиностроение, 1990. - 28 с.
3. Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания / В.М.Кондрашов, Ю.С.Григорьев, В.В.Тупов и др. - М.: Маши­ностроение, 1990.-272 с.
4. Каталог легковых автомобилей 2004 г: Автожурнал XXI век. - М.: ООО Изд-во «Премьера», 2004. - 368 с.
5. Коловратный двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2026498 С1 / Данилишин Григорий Михайлович. - №4863966/06; Заявл. 12.07.1990; Опубл. 10.01.1995 Бюл. № 1 - 6 с.
6. Кузин Ф.А. Диссертация: Методика написания. Правила оформления. Порядок защиты. Практическое пособие для док­торантов, аспирантов и магистрантов. - М.: «Ось-89», 2000. - 320 с.

~136~

1. Ларсен Рональд У. Инженерные расчеты в Excel.: Перевод с английского. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. - 544 с.
2. Лефёров А.А. Сравнение рабочих циклов ДВС с различными преобразующими механизмами с учетом закона изменения объема при расчете процесса сгорания. - М.:, 2005. - Деп. в ВИНИТИ. 27.05.05, *№7S3-B200S.*
3. Мишин И.А. Долговечность двигателей/ - М.: Машиностоение, 1968.-260 с.
4. Моргулис Ю.Б. Двигатели внутреннего сгорания (теория, кон­струкция и расчет)/ - М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1959. - 344 с.
5. Мотоцикл теория, конструкция, расчет / С.Ю.Иваницкий, Б.С.Карманов, В.В.Рогожин, А.Т.Волков. - М.: Машинострое­ние, 1971.-408 с.
6. Объемная роторная машина: А.С. SU 1255718 А1 / Е.Г.Гребень и В.В.Геращенко, Могилевский машиностроительный инсти­тут. -№3864139/25-06; Заявл. 05.03.85; Опубл. 07.09.86. -Бюл. №33.-3 с.
7. Орлин А.С. Двухтактные легкие двигатели. - М.: Г осударст­венное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1950. - 320 с.
8. Путинцев С.В., Аникин С.А., Лисинь Сунн. Влияние баланса механических потерь на стратегию моделирования трибологи­ческих процессов в поршневых машинах// Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двига­телей: Материалы XI Международной научно-практической конф. 27-29 мая 2003 г. - Владимир, 2003. - С.137-140.

~ 137 ~

1. Росс Твег. Системы зажигания легковых автомобилей. Устрой­ство, обслуживание и ремонт./ - М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002.-96 с.
2. Ротоно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2033542 С1 / Булулуков Владимир Алексеевич. - №5014279/06; Заявл. 14.11.1991; Опубл. 20.04.1995 Бюл. №11 - 9 с.
3. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2030606 С1 / Ю.М.Дюрягин и А.А.Домарацкий. - №4330194/23; Заявл. 16.10.1987; Опубл. 10.03.1995 Бюл. №7- Зс.
4. Роторно-поршневой двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2109966 С1 / Борик Амбрацунович Айрапетян. - №94044474/06; Заявл. 21.12.94; Опубл. 27.04.98 Бюл. №12 -4 с.
5. Роторно-турбинный двигатель внутреннего сгорания Ю.М. Лужкова: Евразийский патент №001184 / Лужков Ю.М. - №200000636; Заявл. 01.03.2000; Per. 13.09.2000. Опубл. 2000.10.30 Бюл. №5.
6. Роторно-турбинный двигатель внутреннего сгорания Ю.М. Лужкова: Евразийский патент №003841 / Лужков Ю.М. - №200100510; Заявл. 02.28. 2001; Per. 06.17.2003. Опубл.
7. Бюл. №5.
8. Роторно-турбинный двигатель внутреннего сгорания Ю.М. Лужкова: Евразийский патент №004117 / Лужков Ю.М. - №200200032; Заявл. 10.04. 2001; Per. 09.08.2003. Опубл.
9. Бюл. №6.

~ 138 ~

1. Роторный двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2014479 С1 / Георгий Георгиевич Соломонов. -№4788845/06; Заявл. 05.02.90; Опубл. 15.06.1994 Бюл. №11 - 5 с.
2. Роторный двигатель: Патент РФ RU 2063526 С1 / А.В.Староверов и В.В.Староверов. -№94006058/06; Заявл. 22.02.94; Опубл. 22.02.94 Бюл. № 19 - 6 с.
3. Руководство по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту автомобилей BMW серии 7 выпуска 1977-1986 г. И 1986-1994 г. - М.: Фолио, 2003. - 216 с.
4. Рык Г.М. Эффективность анодирования поршней тракторных двигателей/-М.: Машиностроение, 1965 №5.
5. Синтез плоских механизмов / И.И.Артоболевский, Н.И.Левитинский и С.А.Чекркудинов./-М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. - 1084 с.
6. Системы поршневых и комбинированных двигателей / А.С. Орлин, В.П. Алексеев, Д.Н. Выбурнов и др. Под ред. А.С. Ор­лина./ - 4-е изд., перераб. И доп./ - М.: Машиностроение, 1973.
7. Способ работы двигателя внутреннего сгорания и двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2076218 С1 / Сергеев Михаил Григорьевич. - №92007693/06; Заявл. 24.11.92; Опубл. 27.03.97 Бюл. №9-6 с.
8. Стечкин Б.С. Избранные труды: Теория тепловых двигателей. - М.: Физмат, 2001. - 432 с.
9. Ховах М.С. и Маслов Г.С. Автомобильные двигатели/ - 2-е изд., перераб. и доп./ - М.: Машиностроение, 1971. - 456 с.

~ 139 ~

1. Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2038494 С1 / В.В.Прибылов и Д.В.Прибылов. - №4936816/06; Заявл. 16.05.1991; Опубл. 27.06.1995 Бюл. №18 - 4 с.
2. Четырехтактный двигатель внутреннего сгорания: Патент РФ RU 2101520 С1 / Седунов Игорь Петрович. -№96107340/06; Завл. 12.04.96; Опубл. 10.01.98 Бюл. № 1 - 6 с.
3. Яманин А.И., Жаров А.В. Динамика поршневых двигателей: Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 2003. - 464 с.
4. Moteur a piston rotatif: Brevet d’ivnention Republique Francaise 2.121.906/Karl Woywode. -№71.00649; Заявл. 11.01.1971; Опубл. 25.08.1972 B.O.P.I. - «Listes» n. 34 - 7 с.
5. Opposed piston power unit: United States Patent 3,910,239/Richard James. -№ 478,173; Заявл. 10.06.1974; Опубл. 07.10.1975 - 12 с.
6. Rotary internal combustion engine: United States Patent 3,789,809/Emil Georg Schubert. -№248,863; Заявл. 01.05.1972; Опубл. 05.02.1974 - 7 с.
7. Rotary internal combustion engine: United States Patent 5,261,365/Daniel J. Edwards. -№32,622; Заявл. 17.03.1993; Опубл. 16.11.1993.-9 с.

1. Обозначение механизма применяемое двигателистами. В терминологии РАН установлено наименование «кривошипно-ползунный механизм». [↑](#footnote-ref-1)