

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ДЖИЗАКСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ**

**КАФЕДРА
«ТРАНСПОРТ ВОСИТАЛАРИНИ ИШЛАТИШ»**

СПЕЦИАЛЬНО ПОДГОТОВЛЕННАЯ ТЕМА

«Возрождение транспорта на современной технической основе»



**Подготовил:
ассистент кафедры «ТВИ»**

Мирзабеков М.

Руководитель:

к.п.н. доц. Усманов С.

ДЖИЗАК 2010

Содержание

Введение	3
1. Бесшатунные двигатели нового поколения	4
2. Роторно-волновой двигатель.....	13
3. Звездообразные двигатели под капотом	20
автомобиля- возможно ли это?	20
4. Четырехтактные двигатели с гильзовым	26
газораспределением	26
5. Двухтактные двигатели с гильзовым	35
газораспределением	35
6. Шторковое газораспределение	39
7. Гильзовое газораспределение для четырехтактных двигателей.	44
Заключение.....	45
Литература	46

Введение

В XX в. и в особенности во второй его половине произошли гигантские преобразования во всех частях света и областях человеческой деятельности. Рост населения, увеличение потребления материальных ресурсов, урбанизация, научно-техническая революция, а также естественно-географические, экономические, политические, социальные и другие фундаментальные факторы привели к тому, что транспорт мира получил невиданное развитие как в масштабном (количественном), так и в качественном отношениях. Наряду с ростом протяженности сети путей сообщения традиционные виды транспорта подверглись коренной реконструкции: значительно увеличился парк подвижного состава, во много раз поднялась его провозная способность, повысилась скорость движения. В то же время на первый план вышли транспортные проблемы. Эти проблемы по преимуществу относятся к городам и обусловлены чрезмерным развитием автомобилестроения.

Трудно назвать область исследований, не имевшую отношения к транспорту. Особенное значение для его прогресса имели фундаментальные исследования в области таких наук, как математика, физика, механика, термодинамика, гидродинамика, оптика, химия, геология, астрономия, гидрология, биология и другие. В неменьшей степени транспорт нуждался и нуждается в результатах прикладных исследований, проводимых в области металлургии, машиностроения, электромеханики, строительной механики, телемеханики, автоматики, а в последнее время электроники и космонавтики. В свою очередь некоторые открытия и достижения, полученные в рамках собственно транспортных наук, обогащают другие науки и широко используются во многих нетранспортных сферах народного хозяйства.

Дальнейший прогресс транспорта требует использования последних, постоянно обновляемых результатов науки и передовой техники и технологии. Необходимость освоения возрастающих грузовых и пассажирских потоков, усложнение условий для сооружения транспортных линий в необжитых, трудных по топографии районах и крупных городах. Стремления повысить скорость сообщений и частоту отправления транспортных единиц, необходимость улучшения комфорта и снижения себестоимости перевозок – все это требует совершенствования не только существующих транспортных средств, но и поиска новых, которые могли бы более полно удовлетворить поставленным требованиям, чем традиционные виды транспорта. К настоящему моменту разработано и реализовано в виде постоянных или опытно-эксплуатационных установок несколько новых видов транспортных средств и значительно больше существует в виде проектов, патентов или просто идей.

1. Бесплатунные двигатели нового поколения

История развития бесплатунных поршневых двигателей предложенных С.Баландиным, берет начало в тридцатых-сороковых годах прошлого века, когда в конструкторском бюро, где работал автор, были разработаны и построены несколько типов авиационных двигателей с необычным, отличным от кривошипно-шатунного, силовым механизмом.

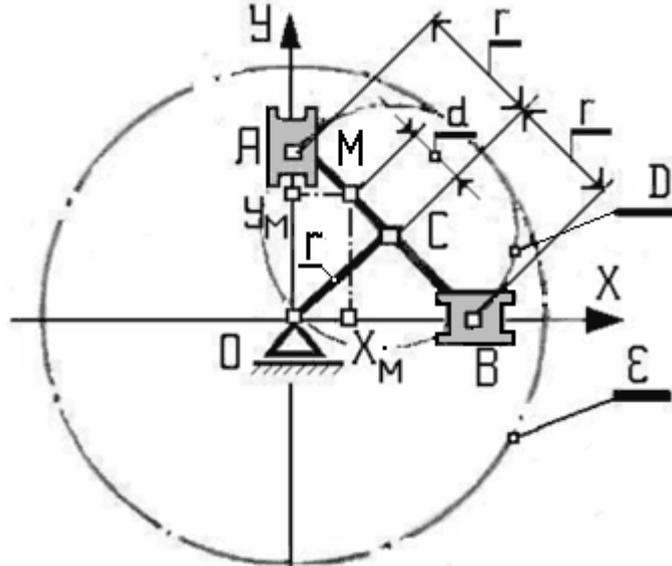


Рис. 1

Кинематическая схема обращенного эллипсографа

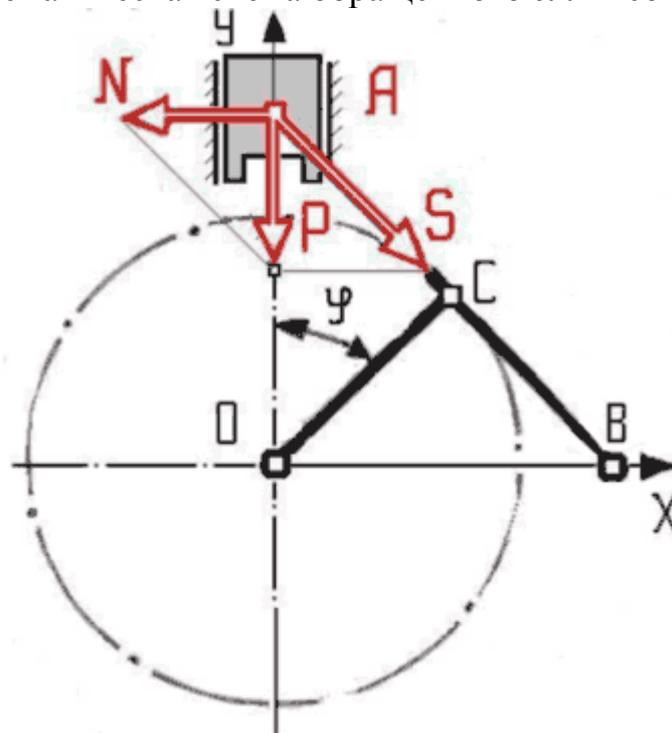


Рис. 2

Силы, действующие в силовом механизме при одном ползуне

Базой для начала проектирования двигателя послужила известная кинематическая схема обращенного эллипсографа (рис.1), траектория движения точек которого описывается уравнением эллипса:

$$\frac{y^2}{(r+d)^2} + \frac{x^2}{(r-d)^2} = 1$$

где r - радиус начальной окружности, а d - координата произвольной точки m .

Все точки, лежащие на прямой AB , описывают эллипсы, точка C - окружность (как частный случай эллипса), точки же A и B , как лежащие на поверхности D , совершают возвратно-поступательное движение в пределах $4r$. Дуга окружности D без скольжения обкатывается по дуге E вдвое большего диаметра. Привязав к точкам, лежащим произвольно на поверхности D (например к точкам A и B), крейцкопфы со штоками и поршнями, а к точке C - выходной вал, получаем бесшатунный механизм, имеющий одну избыточную кинематическую связь. Т.е. для обеспечения прямолинейности траекторий точек A и B , соединенных между собой и с точкой C кривошипа OC жестким звеном ACB , достаточно иметь направляющие только у одной точки A или B (рис.2). Но такая схема неприемлема по условиям распределения действующих в механизме сил. Если установить направляющую только в точке A , то по мере приближения угла φ к 90° и 270° составляющие, приложенные к точке A силы P - боковая сила $N = P \cdot \operatorname{tg} \varphi$ и направленная вдоль оси AC сила $S = P / \cos \varphi$ - неограниченно возрастают, стремясь к бесконечности. Поэтому введение в кинематическую схему второй направляющей отвечает условиям работоспособности механизма.

Высказанное выше обоснование принадлежит самому С. Баландину, оно в конечном итоге и определило всю эволюцию развития бесшатунных двигателей первого поколения. Все построенные образцы (в том числе и автором) основывались на схеме с одной избыточной кинематической связью.

Предложенный С.Баландиным силовой механизм бесшатунного двигателя казалось, быстро потеснит двигатели классической компоновки, и машиностроительные предприятия, используя наработки авиационной промышленности, смогут запустить его в серийное производство без особых проблем. К тому времени авиация прочно освоила газовые турбины, и поршневые двигатели ее перестали интересовать.

Вот тут и выяснилось, что для общего машиностроения слишком дорогой ценой обеспечиваются те технологии, которые доступны авиационной промышленности. Встал вопрос об изменении конструкции двигателя под существующие возможности действующих предприятий. При кажущейся простоте механизм содержал неотработанные кинематические связи, а в применении к тепловым машинам они были слабо изучены и поэтому их возможности плохо прогнозировались. Всего одна избыточная кинематическая связь в таком сложном механизме как ДВС ставила под сомнение всю его дальнейшую работоспособность. Тем более не было понимания того, как от

этой связи избавиться, синхронизирующий механизм о котором идет речь, являлся неотъемлемой частью самого двигателя. Сегодня, спустя шестьдесят лет с момента появления первого бесшатунного двигателя можно уверенно сказать (лучше поздно, чем никогда), что эта проблема полностью решена.

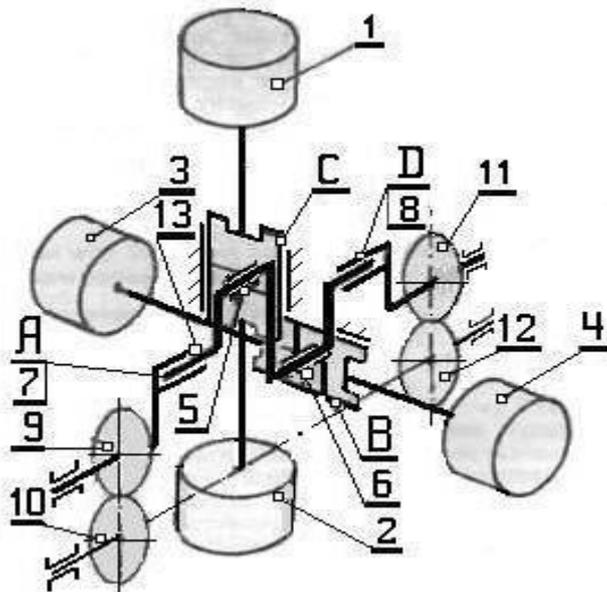


Рис. 3

Кинематическая схема бесшатунного двигателя С.Баландина с перекрещивающимися осями:

1,2,3,4 - поршни; 5,6 - штоковые подшипники; 7,8-консольный вал; 9,10,11,12 - шестерни синхронизирующего механизма; 13-коленчатый вал; А,В,С,Д- подвижные опоры.

На рис.3 изображена типовая кинематическая схема бесшатунного двигателя С.Баландина. Хорошо видно, что всего один планетарно вращающийся вал заменяет в силовом механизме все шатуны. Вал установлен между двумя консольными вращающимися опорами, которые в свою очередь соединены между собой шестеренчатым механизмом. Это и есть универсальный механизм связи поршней, предложенный С.Баландиным и обеспечивший в построенных образцах: малые габариты и вес, высокую оборотность, рациональный двухсторонний рабочий процесс в цилиндрах, эффективную систему охлаждения поршней и наконец, высокий механический КПД, величина которого на некоторых режимах работы двигателя достигала 94 % (в обычных ДВС около 85%).

С выходом в свет книги С.Баландина "Бесшатунные ДВС" 1968 и 1972 г. изданий многочисленными коллективами инженеров и рядом заводов (таких как "Дагдизель", СКБ "Серп и Молот" и т.д.) начали предприниматься попытки построить двигатель, скопировав его в первоначальном, или даже в усовершенствованном вариантах. Процесс проектирования и изготовления проводился, как правило, на основе расчетов и методик, предложенных автором. Вопреки ожиданиям, у большинства построенных образцов при первых оборотах вала происходило заклинивание силового механизма в корпусе двигателя в результате задира поршней о зеркало цилиндров. Те, кто сумел спроектировать и построить работоспособный двигатель, обнаруживали

в нем интенсивный износ и выкрашивание крещкопфных направляющих (питтинг). Все попытки бороться с этим явлением не приносили успеха. Живучесть силового механизма определялась несколькими часами работы.

Постоянные неудачи сформировали в научной и конструкторской среде негативное отношение к самой идее создания бесшатунного двигателя этого типа. Выяснилось, что никто кроме самого С.Баландина так и не смог построить работоспособную конструкцию. По признанию же самого автора, каждый четвертый двигатель, вышедший в свое время из стен его КБ, выходил из строя из-за указанных выше неполадок.

Оглядываясь на классический кривошипно-шатунный механизм обычного (тронкового) двигателя, замечаем, что при всех своих недостатках он обладает высокой надежностью. Его длительная работоспособность определяется тем, что каждая, отдельно взятая деталь этого двигателя испытывает симметричное нагружение. Этому способствует и жесткое крепление коленчатого вала в подшипниковых опорах, стоящих по обе стороны от шатунов. Чего не скажешь о двигателе С.Баландина (рис.3), в котором каждый поршень (1-4) через штоковую (шатунную) шейку (5,6) опирается одной стороной на скользящий крещкопф (А,В или С,Д), а другой стороной на подверженный изгибу консольный вал (7,8). Соответственно 50% нагрузки от газовых сил приходится на крещкопфную опору (под ней находится остов двигателя), а остальные 50%, воспринимаются "упругим элементом" - какая уж тут надежность.

В сверхмощных двигателях С.Баландина эта проблема была частично решена путем размещения концевых шеек планетарного вала внутри подшипников большого диаметра, при этом окружные скорости сопрягаемых наружных поверхностей подшипников увеличивались втрое.

Следующей нерешенной проблемой оставалась система подачи масла к трущимся поверхностям подшипников бесшатунного двигателя. Так, если концевые подшипники консольных опор А и Д работают в условиях гидродинамической жидкостной смазки, то создать аналогичные условия работы крещкопфам В и С которые за один оборот вала дважды останавливаются невозможно, такие подшипники могут работать только как гидростатические опоры т.е. на них распространяется совсем другая теория смазки, она не создает гидродинамического масляного клина между сопрягаемыми плоскостями и ей необходимо отслеживать непрерывно изменяются условия поддержания крещкопфа над опорными поверхностями. Сказанное лишь разъясняет, что для смазки одной детали- вала, используются принципиально разные системы смазки. Что не есть хорошо. И если это препятствие и не удастся обойти, то необходимо подшипники, принадлежащие общему валу и выполняющие одни и те же функции сделать хотя бы однотипными.

Основная же причина того, что применение рассматриваемой кинематической схемы не получило практической реализации, состоит в том, что она сложнее обычного кривошипно-шатунного механизма. В силовом механизме, помимо основных элементов, используются дополнительные синхронизирующие валы,

связанные с основным валом шестернями. Большое количество сопрягаемых элементов требует высокого технологического уровня их изготовления. Соединенные последовательно, шестерни синхронизирующего механизма (9-12) образуют длинную размерную цепь. Значение ее суммарного допуска должно быть меньше величины диаметрального зазора одного из крайних подшипников планетарного вала, иначе невозможно обеспечить его правой и левой половине синхронного вращения. Уложиться же в этот допуск технологически сложно (об этом и шла речь в начале статьи).
 Следующий раздел посвящен силовым механизмам нового поколения, где на смену «синхронизирующему механизму» приходят «синхронизирующие шейки», позволяющие в бесшатунном двигателе отказаться от избыточной кинематической связи, поставившей фактически крест на этом направлении.

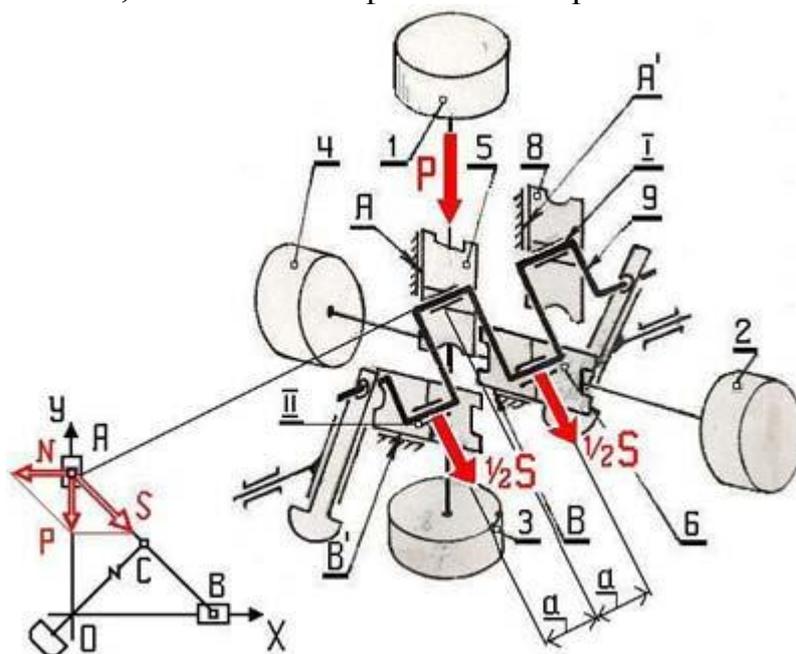


Рис. 4

Новая кинематическая схема двигателя с перекрещивающимися осями и характер воздействия газовых сил на опорные кресткопфы:

P - сила давления газов; N - боковая сила; S - сила направленная вдоль оси ACB; 1,2,3,4 - поршень; 5,6 - рабочий кресткопф; 7,8 - синхронизирующий кресткопф; I, II - синхронизирующая шейка; a - расстояние между центрами соседних шеек коленчатого вала; A,B,A',B'- опоры.

Как видно из рис. 4 в схеме уже отсутствует ставший привычным механизм синхронизации, вместо него у планетарно вращающегося коленчатого вала появились собственные планетарные опоры способные выполнять те же функции, что и обычные подшипники для вращающихся валов. Расположенные по краям вала они способны обеспечить всем его точкам синхронное орбитальное вращение по заданной траектории. Для этого к рассмотренному планетарному валу конструкции С.Баландина надо добавить две дополнительные шейки (I и II, см. рис.4) с одновременным отказом от избыточной кинематической связи в точке С (точки, ранее жестко связанной с выходным валом) и исключением, а не выбрасыванием, ее из силовой схемы бесшатунного механизма. Под дополнительные шейки вала устанавливаются

две новые, зеркально расположенные к А и В крещкопфные направляющие А' и В'. Теперь каждый рабочий поршень получает по две идентичные подвижные опоры, расположенные от него на равном расстоянии справа и слева. Одна из опор (А, В) может нести на себе смежный рабочий поршень, другая (А', В') предотвращает перекосы планетарного вала и обеспечивает его синхронизацию. Такая компоновка позволяет отказаться от механизма синхронизации, состоящего из соединительного вала и набора шестерен т. к. полная синхронизация вала обеспечивается его собственной конструкцией.

Во вновь скомпонованном бесшатунном двигателе планетарно вращающийся вал, объединяющий поршни, как и прежде, содержит рабочие шейки, связанные со штоками поршней, которые всегда движутся прямолинейно. На теле такого вала остаются оси, перемещающиеся по круговой орбите (в первом приближении это окружности) поэтому их легче всего связать с валом отбора мощности, например поводковым механизмом. Если к такому валу, содержащему рабочие шейки и шейки отбора мощности добавить дополнительно две шейки (I, II) назовем их "синхронизирующими", то каждая рабочая шейка в паре с синхронизирующей образует одну планетарную опору, а две пары опор - полноопорный вал (9) с двумя степенями свободы, вращением вокруг собственной оси и, одновременно, планетарным вращением. Тогда характер нагружения вала становится всегда симметричным, а сам коленчатый вал получает возможность самоустанавливаться в опорах. При этом каждая планетарная опора выполнена с возможностью придания смежным опорным шейкам возвратно-поступательного движения в пересекающихся направлениях. Это и обеспечивает устойчивость планетарного вала в любой точке его орбитального обращения. В качестве примера на рис.4 также изображена схема силового воздействия газов (Р) на поршни двигателя и характер нагружения подшипниковых опор. Поршни со штоками 1 и 3 в качестве опоры используют крещкопф 6 от поршней 2 и 4, и синхронизирующий крещкопф 7. Поршни 2 и 4 для опоры используют крещкопфы 5 и 8, из них крещкопф 8 является синхронизирующим. В результате, в момент воспламенения горючей смеси в любом из четырех цилиндров двигателя равноотстоящие от рабочего поршня крещкопфы 6 и 7 или 5 и 8 нагружаются равными долями. При такой компоновке концевые шейки планетарного вала полностью выводятся из зоны действия газовых сил и передают валу отбора мощности, не входящему в силовую схему механизма, только крутящий момент.

Приведем еще несколько примеров, поясняющих принципы симметрии, в приложении к рассматриваемым бесшатунным силовым механизмам.

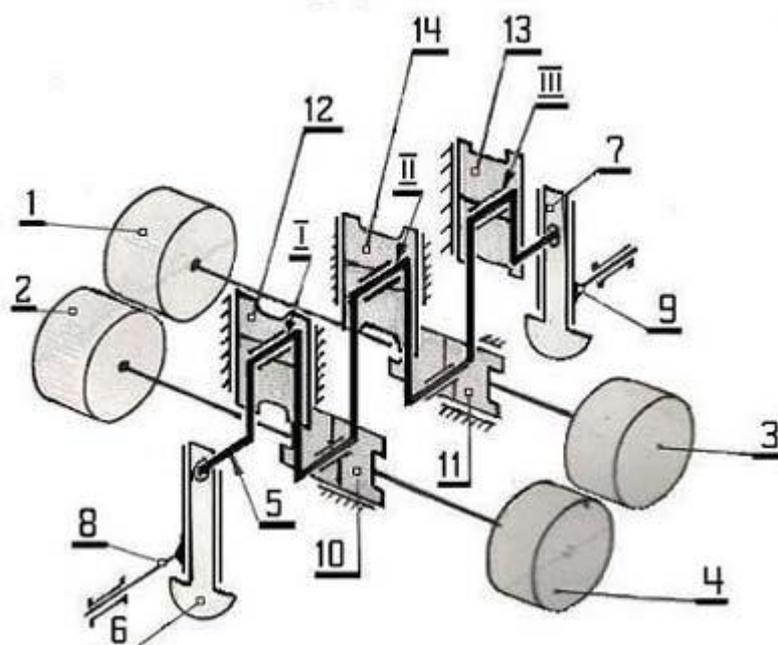


Рис. 5

Схема оппозитного бесшатунного двигателя:

1,2,3,4- поршни; 5- коленчатый вал; 6,7- противовесы; 8,9- вал(ы) отбора мощности; 10,11- рабочие кресткопфы; 12,13,14- синхронизирующие кресткопфы; I, II, III - синхронизирующие шейки.

Лучший образец - кинематическая схема оппозитного бесшатунного двигателя (рис.5). В отличие от крестообразно скомпонованных четырехцилиндровых двигателей (рис.4) чередование между рабочими тактами здесь происходит равномерно, через 180° по углу поворота коленчатого вала. Конструкция силового механизма включает: четыре рабочих поршня со штоками (1-4), два рабочих кресткопфа (10,11), три синхронизирующих кресткопфа (12,13,14). Названные элементы объединены общим коленчатым валом (5) и располагаются на его пяти шейках. Шестая и седьмая шейки вала (5) предназначены для установки противовесов (6,7) и передачи крутящего момента валу отбора мощности (8 или 9). Из рис.5 видно, что у каждого рабочего поршня, по обе стороны и на равных расстояниях, располагаются синхронизирующие кресткопфы (12,13,14). В оппозитном двигателе они выполняют следующие функции:

- Совместно с рабочими кресткопфами обеспечивают синхронизацию коленчатого вала.
- Воспринимают на себя основную нагрузку от газовых сил, отделяя кресткопфы рабочих цилиндров от "ударного" нагружения в момент воспламенения горючих газов в соседних цилиндрах.
- Выполняют функции противовесов для уравнивания всех масс.

Рассмотренный механизм обладает широкими кинематическими возможностями, он прекрасно уравнивается. И это единственный тип бесшатунного двигателя, в котором ползуны синхронизирующих кресткопфов могут быть заменены альтернативными им шатунными группами (рис.6).

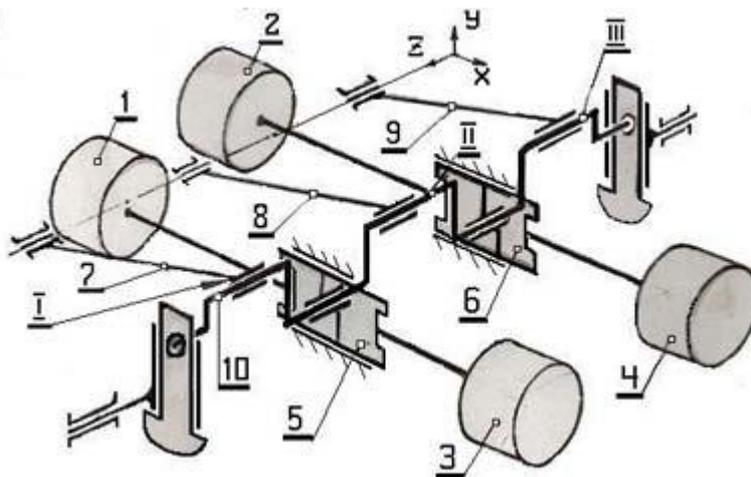


Рис. 6

Рычажно-кулисная схема оппозитного бесшатунного двигателя:
 1,2,3,4-поршни; 5,6- рабочие крейцкопфы; 7,8,9- шатуны; 10- коленчатый вал; I, II, III - синхронизирующие шейки.

В этом случае достаточным условием для обеспечения синхронизации вала (10) будет полное совмещение дублирующих друг друга кинематических пар при их проецировании на плоскость XOY. Здесь, как и в предыдущем примере, рабочие крейцкопфы (5,6), принадлежащие поршням (1-4), движутся прямолинейно. Шатуны же (7,8,9) синхронизирующих шеек (I, II, III) имеют общую ось качания. Доводочные работы по реализации разобранной кинематической схемы могут быть существенно сокращены, в основном за счет максимальной ее унификации с элементной базой тронковых ДВС. В общем же случае, все кинематические схемы подчиняются одному правилу: к любому, наперед заданному количеству рабочих шеек надо добавлять по концам вала, как минимум, две синхронизирующие. В этом правиле есть одно исключение - кинематическая схема, в которой все рабочие шейки одновременно являются и синхронизирующими (рис.7).

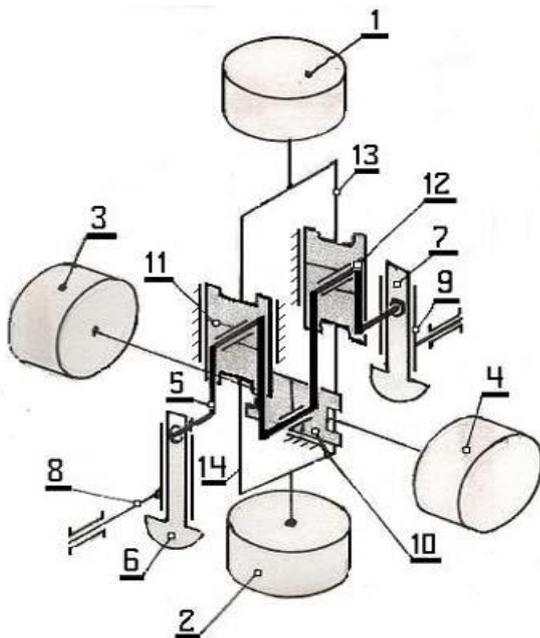


Рис. 7

Схема бесшатунного двигателя со спаренными крейцкопфами:
 1,2,3,4- поршни; 5- коленчатый вал; 6,7- противовесы; 8,9- вал(ы) отбора мощности; 10,11,12- рабочие синхронизирующие крейцкопфы, 13,14- спарники.

Коленчатый вал (10) состоит всего из пяти шеек. Две крайние шейки вала предназначены для передачи крутящего момента и установки на них противовесов (6,7). Остальные шейки заполнены крейцкопфами (10,11,12). Крейцкопфы 11 и 12 замкнуты между собой спарниками (13,14), на них устанавливаются поршни 1 и 2. Центральная

шейка вала с кресткопфом 10 связана штоками с другой парой поршней (3,4). Траектории комплектов поршней 1,2 и 3,4 пересекаются. На период рабочего хода поршень 3 (или 4) в связке с кресткопфом 10 опирается на кресткопфы 11 и 12 которые на этот момент выполняют функции синхронизирующих. При совершении рабочего хода 1 (или 2) поршнем совместно с теперь уже рабочими кресткопфами 11 и 12 опорный кресткопф 10 становится синхронизирующим. И так по кругу до бесконечности. Плоскость действия газовых сил в таком механизме будет всегда замыкаться тремя центральными шейками вала.

Такое конструктивное решение позволяет располагать четыре рабочих цилиндра в одной плоскости при минимальной длине и максимальной жесткости коленчатого вала. Общее количество пар трения в двигателе по сравнению с тронковым ДВС снижается в два - три раза! Здесь, как и в предыдущих переработанных схемах, коленчатый вал отвечает всем необходимым условиям симметричного нагружения (подробнее см. в отраслевом журнале "Двигателестроение" №3 за 1998г. и №1 за 2000г.).

Изложенное описание претендует лишь на звание краткого путеводителя тому, кто интересуется бесшатунными двигателями, и хотел бы попробовать свои силы в этом направлении. И хотя в нем отсутствуют "различные подробности", без которых построить работающую машину практически невозможно, приведенный выше анализ поможет избежать явных ошибок, потерянного времени и средств.

И в заключении перечислим основные преимущества, которыми располагают бесшатунные ДВС:

- Компоновка бесшатунного двигателя позволяет значительно сократить объем моторного отсека за счет рационального расположения узлов и деталей двигателя.
- Взаимное сочетание газовых сил и сил инерции приводит к значительному уменьшению результирующих сил, нагружающих кинематические звенья, что позволяет увеличить механический КПД двигателя.
- Двигатель частично или полностью освобождается от вращающегося маховика, т.к. движущиеся массы поршней с кресткопфами представляют собой единый поступательно движущийся маховик.
- В бесшатунном двигателе, чем больше масса поршней со штоками и кресткопфами, тем и чем выше обороты двигателя (в известных пределах), тем меньше нагрузка на подшипники, в тронковом двигателе - наоборот.
- Количество функций, возложенных на рабочие поршни уменьшается, (поршни перестают быть парами трения), соответственно надежность их работы увеличивается.
- Допускается возможность организации рабочего процесса в двигателе по обе стороны рабочего поршня или использования подпоршневого пространства для компрессорного наддува.

- Появляется возможность улучшения системы охлаждения поршней - прокачиванием масла через поршневые штоки и поршни для их эффективного охлаждения.
- Становится возможным для прямолинейно движущихся поршней применить лабиринтный вид уплотнений с полным или частичным отказом от поршневых колец.

К сказанному следует добавить что, как и любая поршневая машина, бесшатунный двигатель обладает целым рядом ограничений, препятствующих росту в нем числа оборотов. Это и газораспределение, с возникающими в нем значительными силами инерции от возвратно - поступательного движения клапанов; и большое сопротивление газовоздушного тракта, ограничивающего наполнение рабочих объемов двигателя горючей смесью; и теплонапряженность, постоянно грозящая двигателю перегревом, а в дизельной комплектации существуют еще и ограничения связанные с топливоподводящей аппаратурой. Зато сегодня, с помощью описанной механики удалось подойти к принципиально новому типу двигателя внутреннего сгорания - "Роторно-волновому двигателю" (патент России № 2155272), внешне очень мало напоминающего свой прототип, тем не менее, в его основе заложена кинематика именно бесшатунного двигателя, коленчатый вал которого постепенно трансформировался в ротор. Его описание Вы найдете по адресу: <http://www.volnvoidvigatel.ru>

2. Роторно-волновой двигатель

Сегодня уже мало кого устраивает, что 60-70 % теплоты вырабатываемой двигателями внутреннего сгорания просто выбрасывается в атмосферу. Когда же энергетика с ее ограниченными сырьевыми ресурсами не сможет мириться и с 20-30 % потерями тепла в рамках все той же классической термодинамики, то без сомнения будут востребованы только те технические решения, которые смогут преодолеть основные недостатки существующих тепловых машин, позаимствовав от них только плюсы. Так от газовой турбины будет взята неограниченная мощность, малые габариты и вес; от дизеля - высокая экономичность; от его бензинового конкурента - приемистость и максимально эффективное использование рабочего объема двигателя; от фактически забытой паровой машины и ее «родственника» в лице современного стирлинга - бесшумность, многотопливность и высокий крутящий момент; от широко разрекламированного в недавнем прошлом двигателя Ф.Ванкеля - отсутствие органов газораспределения; от нашумевшего бесшатунного двигателя С. Баландина. и совсем уж неизвестной конструкции Е. Льва - высокий механический КПД и способность двигателя выполнять функции редуктора; а

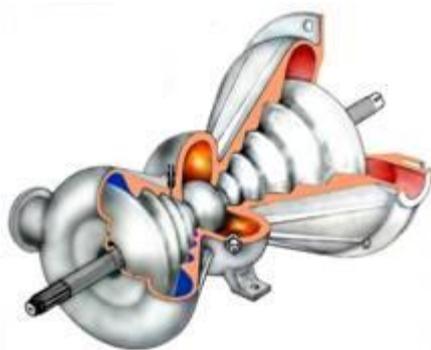


Рис. 8 Роторно-волновой двигатель

объема двигателя; от фактически забытой паровой машины и ее «родственника» в лице современного стирлинга - бесшумность, многотопливность и высокий крутящий момент; от широко разрекламированного в недавнем прошлом двигателя Ф.Ванкеля - отсутствие органов газораспределения; от нашумевшего бесшатунного двигателя С. Баландина. и совсем уж неизвестной конструкции Е. Льва - высокий механический КПД и способность двигателя выполнять функции редуктора; а

от мало кому известного двигателя В.Кушуля - низкую токсичность выхлопа. В нем удастся полностью или частично отказаться от: охлаждения и смазки, убрать глушитель шума, маховик, и это при количестве деталей не большем, чем в двухтактном мото - велосдвигателе.

На сегодняшнем этапе развития техники эта задача может быть решена только с переходом к качественно новым конструктивным принципам и решениям. Таким условиям полностью отвечает концептуальная идея **«Роторно-волнового двигателя»** (пат. России № 2155272) - объемной прямоточной машины, воспроизводящей последовательность работы газотурбинного двигателя. В нем совершенно устранено возвратно-поступательное движение рабочих органов, ротор полностью уравновешен и вращается с постоянной угловой скоростью. Рабочее тело, как и в турбине, движется вдоль оси двигателя, траектория движения - винтовая линия. В конструкции отсутствует вредное пространство, ограничивающее рост степени сжатия рабочего тела. Из-за отсутствия уплотнительных элементов и, соответственно трения в проточной части, снимаются ограничения по ресурсу и числам оборотов двигателя. Рабочий процесс допускает, произвольно изменять степень сжатия и расширения рабочего тела; без дополнительных регулировок и остановки двигателя осуществлять переход на любой сорт топлива.

Оригинальная кинематическая схема и прогрессивный рабочий процесс роторного двигателя позволяет собрать в одной конструкции только положительные стороны всех типов ДВС. В основе же кинематики роторно-волнового двигателя (РВД) лежит сферический механизм, где оси его основных деталей пересекаются в одном месте - центре воображаемой сферы.

Установленный с минимальным зазором конический винтовой ротор совмещает вращение с противоположным ему планетарным обкатыванием по внутренним огибающим корпуса. Накладывая два эти вида движения на любые сечения ротора (кроме центра - точки его перегиба), можно увидеть, что они совершают в определенной последовательности равные угловые колебания в пазах корпуса, образуя волны, которые последовательно перекатываются по ходу винтовых поверхностей корпуса.

Аналогичный процесс можно видеть на море, наблюдая в ветреную погоду за перемещением волн в «стоячей воде».

В компрессорном отсеке формирование и движение волн начинается от периферии по направлению к центру, а в расширительном отсеке - наоборот - от центра к периферии.

Ротор (1) и вал отбора мощности (3) соединяются между собой в центре двигателя шарниром Гука (4), который можно назвать шарниром равных угловых скоростей (ШРУСом). Необходимое же ротору «дополнительное» обкатывание по внутренним огибающим корпуса задается вспомогательным устройством - так называемым «генератором волн». Его основной элемент - вращающийся на основном валу эксцентрик (5), с приводом через блок шестерен (6) все от того же вала. Эксцентрик наклоняя ротор от 3 до 6 градусов обеспечивает угловое качение сечениям ротора в пределах от 12 до 24 градусов (подробнее см. в отраслевом журнале «Двигателестроение» 2 и 3 № за 2001 г.).

В такой комплектации расчетный механический КПД двигателя составит невиданную цифру - 97 %.

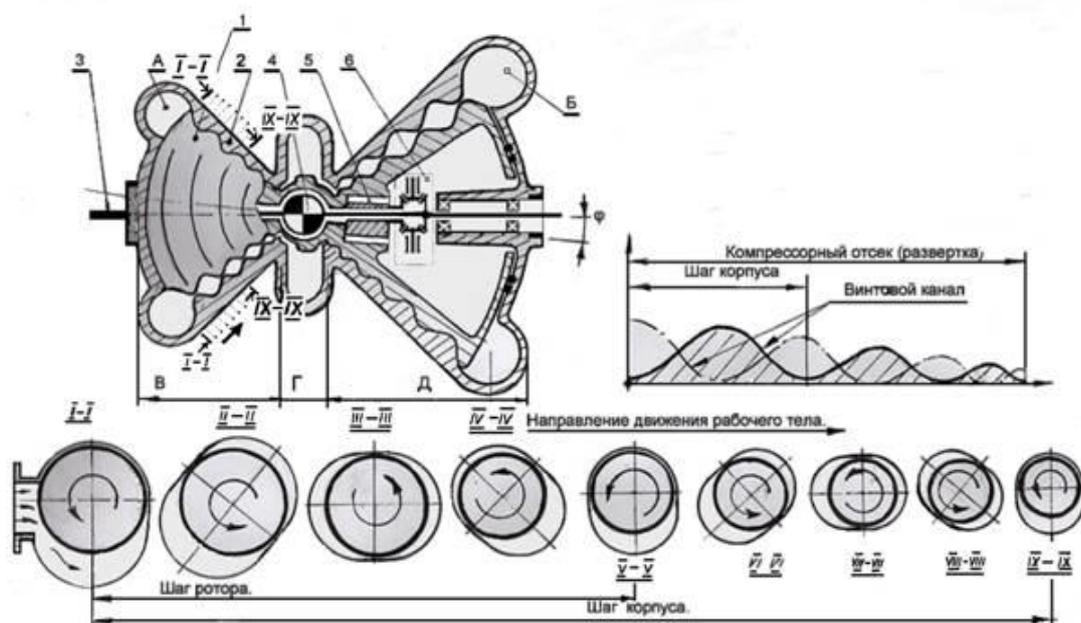


Рис. 9

1- Ротор; 2- Корпус; 3- Вал отбора мощности; 4- Шарнир равных угловых скоростей; 5- Эксцентрик; 6- Блок шестерен. А- впускное окно, Б- выпускное окно, В- компрессорный отсек, Г- камера сгорания, Д- расширительный отсек, φ - угол наклона ротора.

С началом вращения, винтовые поверхности ротора начинают открывать внутренние полости винтовых каналов компрессорного отсека, засасывая и них воздух двумя потоками, смещенными относительно друг друга на 180 градусов. За один оборот ротора в оба канала компрессорного отсека засасываются и отсекаются от впускного тракта по две порции воздуха. При дальнейшем повороте, каждая порция воздуха начнет самостоятельно перемещаться к центру двигателя, непрерывно сокращаясь в объеме за счет уменьшения шага и амплитуды самого витка. Процесс сжатия будет продолжаться до тех пор, пока все уменьшающийся объем со сжатым воздухом не подойдет к камере сгорания. В этот момент процесс внутреннего сжатия воздуха в компрессорном отсеке закончится, наступает следующий этап - выталкивание сжатого воздуха в камеру сгорания тыльной стороной витка, ближе других находящегося к центру ротора. Этот процесс сопровождается непрерывным распыливанием топлива в воздушном потоке с последующим его сгоранием в общей камере, куда и выталкиваются все порции воздуха. Для первоначального поджигания топливоздушной смеси в камере устанавливается запальная свеча.

После запуска дальнейшее поджигание смеси должно поддерживаться газами, оставшимися от предыдущих циклов в общей камере сгорания. Последние, с высокой температурой и давлением покидая камеру сгорания, заполняют на роторе винтовые каналы расширительных отсеков, расположенных по другую сторону от центра ротора (точки, где шаг и амплитуда угловых колебаний равна нулю). С поворотом последнего

происходит увеличение объемов расширительных отсеков за счет чего и осуществляется рабочий ход.

На момент максимального расширения, кромки наружных витков ротора открываются и газы сначала свободно, а затем принудительно выдавливаются в выпускной коллектор. Интервал выпуска отработанных газов из очередной камеры расширения составит 180 градусов. Часть полученной в цикле мощности возвращается телом ротора в компрессорный отсек.

Описанный рабочий процесс соответствует самой простой конструкции, в которой двухзаходный корпус работает в паре с однозаходным ротором. Рост же числа заходов неизбежно приводит к усложнению формы корпуса и ротора, которые между собой будут соотноситься как целые порядковые числа: $2\backslash 1$; $3\backslash 2$; $4\backslash 3$; $5\backslash 4$ и т. д. Поперечные сечения тел ротора и корпуса во всех случаях будут иметь гипотрохоидные формы с внешними огибающими: например, как это показано на Рис. 10 и 11. На рис. 3 изображен один из альтернативных вариантов отбора мощности от ротора - валом с косой шейкой.

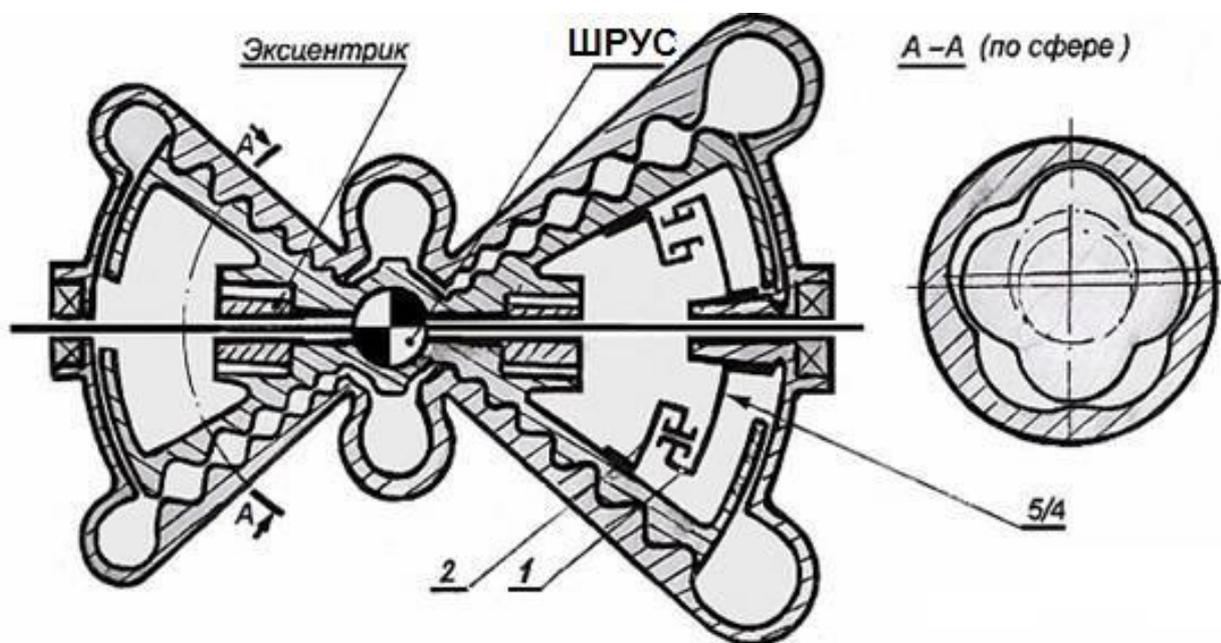


Рис. 10

Пятигипотрохоидный РВД с внешними огибающими и с отбором мощности через шарнир равных угловых скоростей (ШРУС). Обладает свойствами редуктора - четырем обкатываниям ротора, с засасыванием в двигатель 20 объемов воздуха, соответствует один оборот выходного вала. Заменяет собой 80-ти цилиндровый поршневой ДВС.

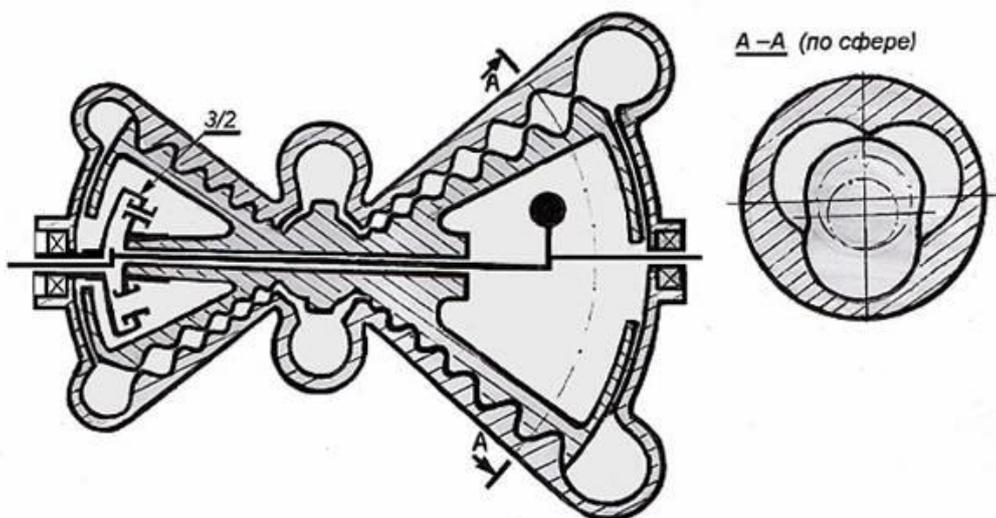


Рис. 11

Трехгипотрохоидный РВД с внешними огибающими и с отбором мощности через вал с косой шейкой. Выходной вал и ротор вращаются в разные стороны в пропорции 1:0,5
 Заменяет собой 12-ти цилиндровый поршневой ДВС.

Рассмотренный тип двигателя, в основе которого лежит внутреннее винтовое зацепление ротора с корпусом, образует новое семейство прямоточных коловратных машин: в нем, с увеличением количества заходов ротора и корпуса, угловая скорость ротора и соответственно вала отбора мощности оборудованного ШРУСом будет падать, с одновременным ростом величины крутящего момента. Эта замечательная особенность кинематической схемы РВД позволит многозаходному ротору по совместительству выполнять еще и функцию понижающего редуктора. Ведь не секрет, что рост мощности двигателя всегда идет по пути увеличения рабочих оборотов (ему больше некуда идти), а потребители энергии, будь то винт судна, или автомобильное колесо, остаются практически неизменными. Приходится ставить дополнительные редукторы для снижения оборотов. А здесь, двигатель сам себе и редуктор.

Функция редуктора в многозаходных конструкциях (Рис.10) возложена на механизм синхронизации, состоящий из неподвижного венца с внутренним зацеплением (1) и меньшей по диаметру планетарной шестерни с внешним зацеплением (2) жестко соединенной с ротором. Количество зубьев венца к шестерне всегда должно соответствовать выбранной пропорции корпуса к ротору. Иначе нельзя, только этим достигается синхронизация и требуемое трохоидное движение ротора. Каждому новому обкатыванию шестерни ротора будет соответствовать ее поворот на фиксированный вместе с ротором угол. Для двухзаходного ротора, работающего в паре с трехзаходным корпусом, на одно обкатывание шестерни приходится поворот ротора в корпусе на 50 %, в трехзаходном варианте ротора - на 33 %, в четырехзаходном - на 25 % и т.д.

Если изначально однозаходный ротор, работающий в паре с двухзаходным корпусом эквивалентен восьмицилиндровому поршневому ДВС, то уже двухзаходный ротор в паре с трехзаходным корпусом эквивалентны 24-х цилиндровому ДВС. Дальше - больше. Трехзаходный ротор соответствует 48

цилиндровому поршневому ДВС, четырехзаходный - 80 цилиндровому ДВС и т.д.

Для последнего примера, у которого будет несколько меньший механический КПД (94 -95 %), расчетный крутящий момент на выходном валу увеличится от 16 до 21 раза в сравнении с поршневым аналогом, и это при равных с ним оборотах и литраже двигателя. Что само по себе, например, для автомобильного варианта уже не требует установки за двигателем коробки передач, которая повышает крутящий момент двигателя всего в 4 - 10 раз.

Здесь ротор, производя полный оборот, вынужден при этом совершать четыре полных обкатывания по внутренним огибающим корпуса. Соответственно, при 2500 об/мин ротора, каждый из пяти винтовых каналов корпуса должен всосать по 10000 объемов воздуха, что в сумме составит 50000 объемов в минуту. Для сравнения, у аналогичного одноцилиндрового четырехтактного ДВС при равных оборотах, количество тактов всасывания наполнит 625 рабочих объемов двигателя (каждый четвертый такт - всасывание). Вот откуда она, восьмидесятикратная разница. Учитывая низкий коэффициент наполнения безнаддувного поршневого двигателя, равный 85% против 100-105% в РВД, фактическая разница увеличится до 94. Мы не учли еще разницу в механическом КПД поршневого ДВС и РВД соответственно 85% против 94%. Соотнесем ее на протечки рабочего тела через «неплотности» ротора.

Осталось упомянуть и о предельно допустимых оборотах РВД, сравнив их с серийными двигателями. Современный поршневой ДВС применяет 4500 - 6000 об/мин; аналогичная по мощности газовая турбина свободно раскручивается до 50000 - 70000 об/мин; РВД должен занять промежуточное положение - его удел от 2500 до 30000 об/мин (все зависит от количества заходов ротора).

В рабочих отсеках РВД одновременно может сжиматься и расширяться от нескольких единиц до несколько десятков объемов воздуха. А то место, где ротор, едва не касаясь своей поверхностью, приближается на минимальное расстояние к корпусу, как раз и является подвижной разделительной линией между последовательно движущимися камерами (на Рис.1 сечения 1-1 и 1X-1X). За каждый оборот ротора степень сжатия (расширения) изменяется в 4-5 раз. Теоретическая же степень сжатия (расширения) в одном агрегате может достигать ста единиц (все зависит от количества витков), и это при полном отказе от уплотнительных элементов, роль которых выполняет тело ротора.

Ротор, освобождаясь от механического трения «завинчивает» порции воздуха в камеру сгорания нигде не касаясь стенок корпуса, поэтому так же отпадает необходимость в смазке рабочих отсеков двигателя. Трение остается лишь в подшипниках качения, на которые опирается ротор за пределами горячих зон и в ШРУСе. Последний же конструктивно очень просто позволяет передавать весь поток мощности от ротора выходному валу фактически без потерь. Достаточно вспомнить, что механический КПД широко используемых в технике ШРУСов очень высок и колеблется при малых углах качания от 99 до 99,5 %. Кроме этого, шарнирное соединение автоматически точно центрирует

ротор в любом его положении, а сам шарнир, расположенный в центре двигателя, надежно защищен от теплового воздействия камеры сгорания необходимой толщиной сферического теплового экрана.

Как видим, в РВД ничто не препятствует применению очень высоких оборотов: ротор вращается с постоянной угловой скоростью, он прекрасно уравнивается, вместо клапанов, или даже окон, в конструкции используются каналы неограниченной пропускной способности для непрерывного поступления воздуха в рабочие отсеки двигателя. Отсутствие трения также снимает ограничения по износу деталей и ресурсу двигателя в целом. В двигателе будут изнашиваться только подшипники, а для них ресурс в 30 - 40 тыс. рабочих часов не предел. Заметим кстати, что хороший автомобильный двигатель в наше время имеет моторесурс 5000- 7000 часов до первого ремонта. Автомобильные РВД, при неограниченной мощности окажутся долговечнее, чем рама автомобиля (самое долговечное, что есть в нем).

Рабочий процесс для камеры постоянного горения, позволяет, не останавливая двигатель, подавать в него любой вид жидкого, газообразного или даже твердого распыленного топлива, полностью стирая грани между турбинами, дизельными и карбюраторными двигателями.

В кинематических звеньях механизмов поршневых и роторных ДВС присутствуют так называемые «мертвые точки», для их преодоления за двигателем устанавливается значительный по массе маховик. В РВД же - газовые силы, действующие на ротор, направлены всегда по касательной к его поверхности, они постоянны и непрерывны, что делает совершенно не нужной установку маховика, а в некоторых случаях и противовесов, применяемых для полного уравнивания двигателя.

Компоновочная схема компрессорного и расширительного отсеков РВД такова, что допускает также, без остановки двигателя, в широких пределах изменять степень сжатия и расширения рабочего тела, в том числе до полного расширения отработанных газов, при котором отпадает необходимость в глушителе шума. Исчезает не только значительное сопротивление, которое создает глушитель, отнимая у двигателя до 10 % его мощности, но и в процессе продолженного расширения выделится еще 10 -15 % дополнительной энергии.

Разумеется, прирост мощности в 20-25% очень привлекательны и для разработчиков серийных ДВС. На практике же продолженное расширение не удается применять из-за нецелесообразного увеличения весогабаритных показателей силовых установок с одновременным ростом в них величины механических потерь.

Ну и, наконец, главный резерв повышения КПД - применение в конструкции РВД керамических материалов - жаропрочных теплоизолированных покрытий, позволяющих отказаться от системы охлаждения и заменить собой сложнейшие турбокомпаундные двигатели. С использованием только таких свойств керамики для РВД, которыми она всегда обладала - способностью работать на сжатие, умеренное растяжение при стабильной температуре и давлении во всех сечениях корпуса и ротора.

В заключение приведем еще несколько цифр. Расчетный индикаторный КПД простого цикла РВД в адиабатном исполнении и весьма умеренной степени сжатия равной 15 со степенью расширения 36 составит 51 %. Соответственно расход топлива в этом случае может составить 171 г/кВт, при удельном весе силовой установки 0,15 - 0,25 кг/кВт. Для сравнения - в дизельном двигателе, использующим такую степень сжатия, расход топлива составляет 224 г/кВт при удельном весе 3,5 - 15 кг/кВт. За счет дальнейшего увеличения степени сжатия в РВД и использования в нем системы регенерации отработанных газов (для возврата теряемой с отработанными газами теплоты), индикаторный КПД теплового цикла можно еще значительно увеличить.

Там, где требуется получить максимальный расход воздуха и огромные мощности, например, для авиации и судовых установок - выгоднее использовать многозаходные кинематические схемы, ограниченные по росту степени сжатия. Если главным фактором выступает экономичность, перспективней использовать двух - трехзаходные схемы роторов, как наиболее простые и допускающие наибольшую степень сжатия и расширения рабочего тела.

Необходимо признать, что на данный момент времени сильно отстает технологическая база предприятий, которые можно привлекать для изготовления подобного класса машин, но вместе с тем интенсивное развитие компьютерного проектирования способно решить многие технические вопросы, открывая тем самым благоприятные условия для создания высокоэкономичных и экологически безопасных энергетических установок.

3. Звездообразные двигатели под капотом автомобиля- возможно ли это?

То, что существуют звездообразные двигатели внутреннего сгорания известно, наверное, всем, кто имеет отношение к двигателям. На заре развития воздухоплавания их одними из первых стали устанавливаться на самолеты всех мыслимых схем. Таким вот был таким двигатель М11 (Рис.12) - первенец моторостроения.

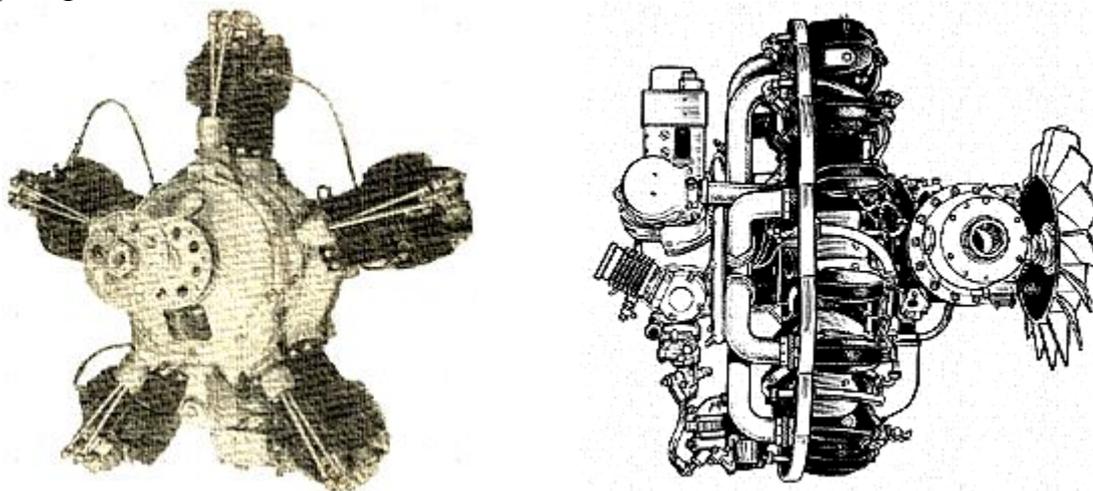


Рис. 12 и 13

Да и сегодня вся «кукурузная авиация» до сих пор летает на двигателях построенных по схеме - звезда. Классический пример: девятицилиндровый двигатель «M14-B26» (рис.2), он устанавливается на вертолетах серии КА.26 , и питается только низкооктановым бензином. Среди наиболее известных звездообразных двигателей необходимо особо отметить отечественный двигатель АШ-82 конструкции А.Д. Швецова (Рис.14), зарекомендовавший себя, как один из лучших авиадвигателей первой мировой войны,... к сожалению, опыт постройки таких моторов уже полностью утрачен. А вместе с тем и полностью забыто, что еще в конце тридцатых годов прошлого века на этих, и им подобным двигателях, одними из первых в мире был осуществлен непосредственный впрыск легкого топлива в камеру сгорания.

Это та тема, которую сегодня средства массовой информации при активной поддержке моторостроительных фирм пытаются представить как новейшее достижение человеческой мысли начала XXI века ... изобретено и внедрено почти 80 лет назад! Из того, что сказано, уже можно сделать кое какие выводы: на самом деле только сегодня автотроительная промышленность западных стран достигла уровня авиационной промышленности, существовавшей в нашей стране более полувека назад. Неплохо бы вспомнить, и где находится сегодня наш Автопром – он слепо следует в кильватере далеко не лучших производителей автомобилей. А ведь еще в 1962 году в ЦНИТА (Институт топливной аппаратуры) была разработана документация и изготовлены опытные образцы топливных насосов высокого давления для бензиновых двигателей, развивающих давление до 400 атмосфер. Все испытания впрысковых систем проводились на базе автомашины «Волга» М21. Как говорится, внедряй, не хочу.... По этим чертежам сорокалетней давности! уже в наши времена для наших «английских друзей» в ЦНИТА были изготовлены опытные партии насосов, наверное, для развития науки, только уже не отечественной. Сегодня же в системах топливоподачи всех затмила фирма «Bosch», почти все, даже лодочные двухтактные моторы оборудуются ее системами впрыска топлива. А мы до сих пор пользуемся в основном карбюраторами, доля же выпуска последних составляет в мире не более 7% от всего числа выпускаемых автомобилей. В эти проценты попадают только самые отсталые в техническом плане страны, такие как Россия, Румыния....

Другой пример. Старшее поколение должно помнить автомобиль ГАЗ 52 с форкамерным двигателем. На этом двигателе для своего времени были получены прекрасные результаты по снижению расхода топлива доходящего до 15 %, повышенный моторесурс цилиндропоршневой группы, и как в продолжение темы выпуск Газ 31 (Волга) с форкамерным двигателем. В серию двигатель пошел настолько обезображенный в угоду производителям, что в наши дни о нем уже никто не вспоминает..., а кто и вспоминает, то только недобрыми словами.

На этом экскурсе в историю мы закончим, так как сильно отклонились от первоначально заданной темы.

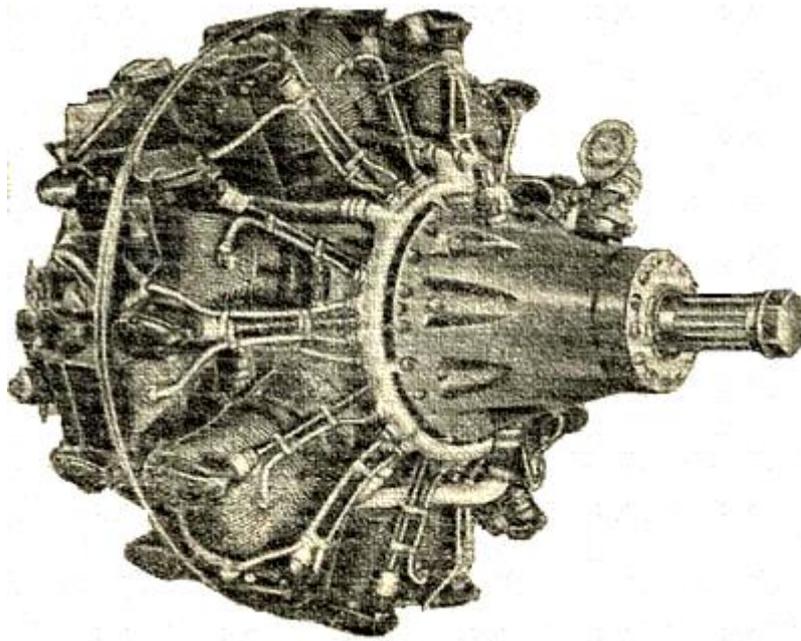


Рис. 14

Любой звездообразный тип мотора при сопоставимых с рядным двигателем мощностях в полтора, а то и в два раза легче – и все это из-за особенностей его кинематической схемы. В двигателе при большом числе цилиндров (от трех до девяти) присутствует всего одна шатунная шейка.

Но, как и любой двигатель, он имеет свои ограничения, Звездообразные двигатели очень сложно эксплуатировать в наземном варианте, а в привычной комплектации их практически невозможно использовать на автомобилях. Надо учесть, что горизонтальное расположение коленчатого вала просто гипнотизирует конструкторов практически всех моторостроительных фирм. Этому способствует и незыблемость традиций, где продольно установленный двигатель, за которым стоят сцепление, коробка, кардан, дифференциал, колеса, считается непревзойденной классикой. Для переднеприводных машин в отличие от описанной только классической компоновки автомобиля все тоже самое, только двигатель располагается поперек автомобиля. Да и распространение на автомобилях переднеприводные схемы получили сравнительно недавно, в основном из-за стремления получить максимальный объем салона, как в микролитражных автомобилях, так и в автомобилях среднего класса. Хотя справедливости ради надо сказать, что первая самодвижущая паровая повозка Кюньо как раз и была переднеприводной. Раз уж начали перечислять компоновочные схемы автомобилей, то надо упомянуть и о заднемоторных автомобилях, их довольно многочисленное семейство появилось в тридцатые - сороковые годы 20 века из-за потребности в недорогих автомобилях - для семей с малым достатком. Эта схема обеспечивала самую благоприятную компоновку микроавтомобиля при минимальной его длине и весе, например по такой схеме собирался «Фольцваген - Жук», и «Запорожец». Сегодня этот класс автомобилей возрождается вновь, но уже с более высоким уровнем комфорта и конечно ценой. Казалось бы, больше и добавить нечего, да и какое отношение имеют звездообразные двигатели к автомобилям?

В наше время в условиях жесточайшей конкуренции автомобильных фирм в их нелегкой борьбе за покупателя основные предпочтения отдаются росту количества кнопок в салоне, скоро машину, на которой Вы ездите, можно будет, например, попросить почесать Вам спину, или приготовить салат из крабовых палочек. Открывая же капот автомобиля, редко увидишь под ним совершенно новый двигатель, обычная картина - какой нибудь модернизированный силовой агрегат, базовая версия которого была запущена на конвейер еще в пятидесятые годы прошлого века. Главный показатель - топливная экономичность автомобилей, достигается, прежде всего, за счет «всеобщей дизелизации» автопарка, снижения веса самого автомобиля путем широкого использования в нем пластмасс. Ну и оптимизация рабочего процесса двигателя с помощью всевозможных электронных следящих и управляющих систем. Сегодня уже почти все, даже дизельные версии двигателей управляются от бортового компьютера автомобиля. При выходе из строя, какого нибудь индуктивного датчика такой автомобиль без надлежащего сервиса становится со временем просто обузой для своего патрона. Для России с ее огромными просторами и бездорожьем, прежде всего, нужен автомобиль с минимальным количеством электроники. Механика, эта та область, в которой у нас разбирается каждый второй гражданин, вот с учетом такого «менталитета» и хотелось бы, что бы по дорогам нашей страны бегали автомобили, не уступающие лучшим зарубежным «аналогам», но с нашим национальным уклоном. Проектов отвечающих «нашим» требованиям достаточно много. Вот только один пример:

«Звездообразный дизельный двигатель с вертикальной осью вращения в моноблоке с коробкой передач и дифференциалом – основа трансмиссии легкового переднеприводного автомобиля, ... например автомобиля Ока». (Рис.15). Такой, или ему подобный двигатель-трансмиссию мог бы спокойно освоить флагман отечественного дизелестроения – Санкт-Петербургский завод «Звезда». Ему это вполне по силам. Трехлучевая звезда прекрасно вписывается в объем моторного отсека. И для этого не надо перепрофилироваться, или искать, чем загрузить не востребованные мощности завода. Надо просто захотеть.

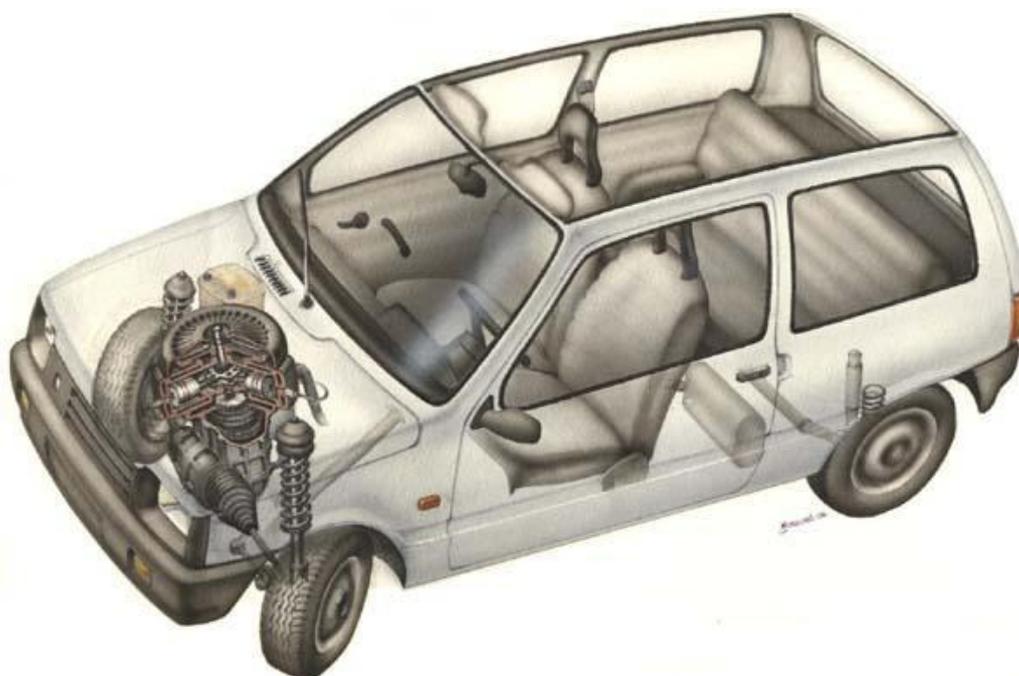


Рис. 15

Да и надеяться все равно больше не на кого, уже фактически не существует головных институтов таких как, например ЦНИДИ (Центральный научно-исследовательский дизельный институт), который как раз и был призван для того, что бы своевременно решать подобные задачи. Сегодня во всем институте по пальцам пересчитать оставшихся специалистов, «старая школа» вся ушла, а нового поколения, увы, нет...и так по всей России. Конечно, подобные истории плохо увязываются с научными темами, но это тоже реалии нашего времени. Поступательное движение вперед возможно только тогда, когда известно на чем «замешена экономика», на которую приходится опираться. Остается только надеяться, что здравый смысл, и в нашем вопросе, все равно победит и наступит то завтра, когда придет новое поколение специалистов, которое не будет сомневаться, в каком направлении развивать двигателестроение, в нем обязательно найдется место и звездообразным двигателям с вертикально установленным коленчатым валом.

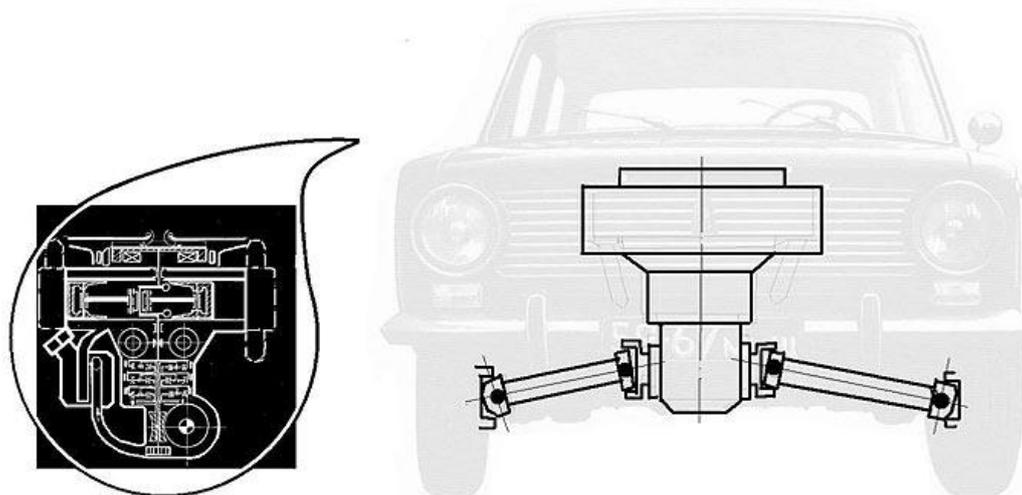


Рис. 16

Тем более, что при такой компоновке общий вес трансмиссии автомобиля снижается в 1.5-2.0 раза. Объединение в одном моноблоке двигателя, коробки передач и дифференциала, да еще с общей системой принудительной смазки (Рис 16) делает эту схему четвертым типом трансмиссии от рождества.... автомобиля, но первой по своим потенциальным возможностям. Да и как иначе, вся трансмиссия может собираться по принципу матрешки, двигатель к коробке и дифференциалу можно крепить даже карабинами! Отличный доступ ко всем системам и агрегатам. Заглядывая под капот автомобиля с такой компоновкой можно также смело заглянуть и под двигатель,... слегка его приподняв! Ведь никого же не удивляет, что уже полвека все лодочные моторы строятся по схеме с вертикальным коленчатым валом, пора начинать осваивать и автомобили. Плоский как блин мотор отлично уместится под капотом автомобиля, оставляя много места для фантазии разработчикам передней подвески автомобилей.

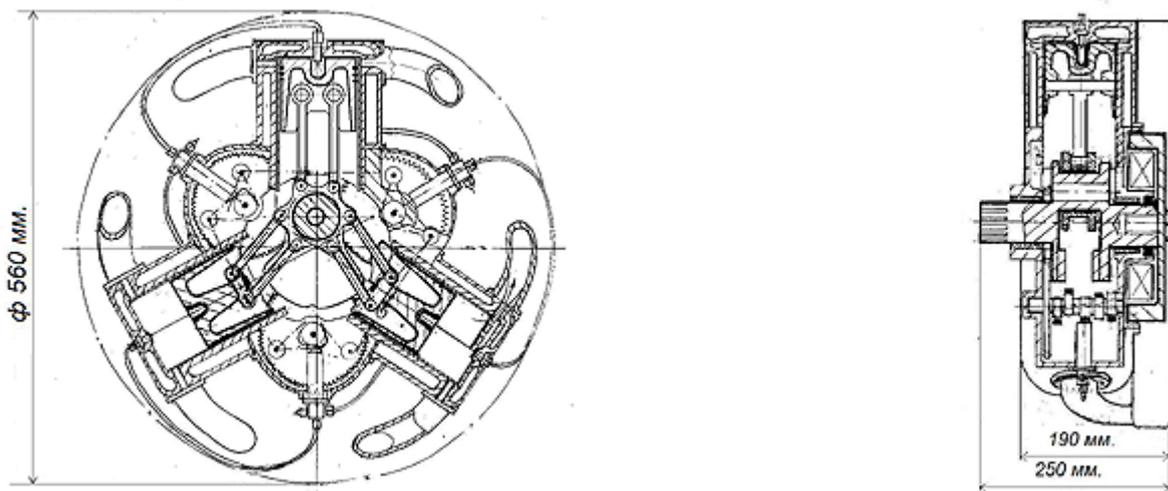


Рис. 17

На Рис.6 представлена одна из возможных компоновочных схем моторного отсека на базе звездообразного двигателя с несколько необычной комплектацией силового механизма и его вспомогательных систем. Для этой компоновки проработан принципиально новый тип газораспределения - посредством шторкового механизма, как разновидности гильзового газораспределения системы «Рикардо», сама же схема была «вымучена» автором на основе длительного анализа существующего положения вещей в этой области, и заслуживает отдельного разговора на эту тему.

В этом силовом механизме, в отличие от традиционной звезды количество шатунов превышает вдвое количество цилиндров. Необычность конструктивного решения продиктована соображениями обеспечения симметричности рабочего процесса по цилиндрам двигателя. Все существующие звездообразные моторы строятся по схеме с одним главным шатуном, на него навешиваются и все остальные шатуны, отсюда и их название – прицепные шатуны. Последнее обстоятельство накладывает определенные трудности по обеспечению рабочего процесса, как по его неравномерности вращения, так и уравниванию двигателя. Разработанную кинематическую схему можно отнести к классу двигателей только с прицепными шатунами, они

обеспечивают центральной втулке плоскопараллельное вращение идеально подходящее для этого класса двигателей, нельзя скидывать со счетов и полную взаимозаменяемость деталей цилиндропоршневой группы. Сама же схема «звезда» позволяет при определенных условиях построить двигатель с переменной степенью сжатия, а изменения в силовой схеме двигателя будут при этом весьма и весьма незначительными.

Сегодня уже предпринимаются, в том числе и на западе первые робкие попытки построить двигатель с вертикально стоящим коленчатым валом на базе пока классических двигателей. Очень неплохие результаты можно получить по компоновке моторного отсека с оппозитными цилиндрами. Наконец, вертикально установленные бесшатунные двигатели отлично komponуются в моторном отсеке, как в оппозитном исполнении, так и построенные по схеме «крест».

Интересную разработку на эту тему предлагает и руководитель Минской творческой лаборатории - Владимир Голубев. В одном из его проектов, плоский двигатель - "шайба", предлагается устанавливать на автомобили аналогично, с вертикальным коленчатым валом. Далее как и обычно следует сцепление, планетарная коробка передач и главная передача. В своей разработке Автор опирался на опыт фирмы "Guiberson", строившей для американской армии с 1942 года легкие танки с трехсотсильными звездообразными двигателями воздушного охлаждения.

Хотя, если еще немного глубже заглянуть в историю, то можно вспомнить, что звездообразные двигатели прилаживали до этого еще и на автомобили, и порой вполне успешно. Так еще в 1935 году был построен гоночный автомобиль "Trossi-monako", где впервые в мире под руководством президента компании Карло Феличе Тросси (Karlo Felice Trossi) в переднем свесе автомобиля установили 16-цилиндровый звездообразный двигатель. Однако поставили его почему-то как и всегда горизонтально.

Нам же, рядовым пользователям дорог и интернета, простым автолюбителям остается только надеяться на то, чтобы пробить брешь в сознании « наших » автопроизводителей, которые надеемся, когда нибуть начнут выпускать современные, в том числе и «звездные» автомобили, не пытаясь при этом догнать запад.

4. Четырехтактные двигатели с гильзовым газораспределением

«... Первоначально, для проведения испытаний в 1921-22 г.г. в авиационном центре фирмы «Ройал» году были спроектирован и построены для проведения сравнительных испытаний два двигателя: один четырехклапанный двигатель, и другой довольно прочный одноцилиндровый одногильзовый четырехтактный двигатель диаметром 140 мм и ходом поршня 178 мм (Рис 18). При толщине гильзы 3.18 мм он развивал 1300 об/мин. Чугунная гильза приводилась в движение посредством консольного кривошипного пальца на валу,

вращающегося в два раза медленнее коленчатого вала. Двигатель был снабжен тремя впускными и двумя выпускными окнами (Рис 19).

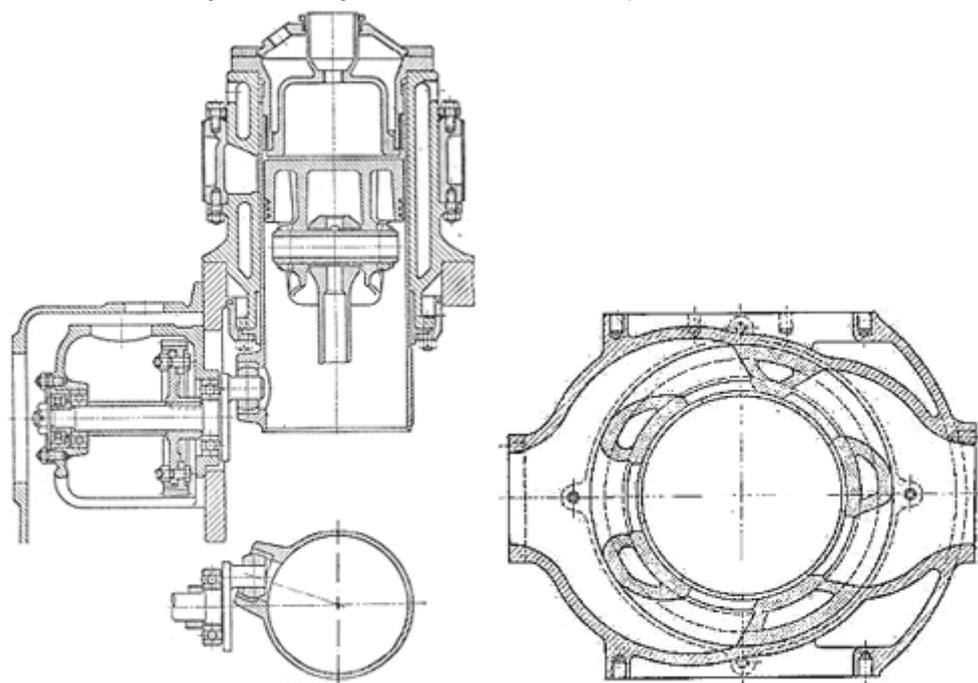


Рис. 18 и 19

Полная проходная площадь как впускных, так и выпускных окон равнялась по площади четырехклапанной конструкции головки с тарельчатыми клапанами. Во время испытаний подтвердилось предположение, что благодаря более быстрому открыванию окон при гильзовом газораспределении необходимые фазы потребуются более узкие, чем в четырехклапанных головках.

При проведении сравнительных испытаний бензиновых двигателей выяснилось, что:

1. При использовании одного моторного топлива, оптимальном опережении зажигания (в двигателях легкого топлива) и составе смеси, двигатель с тарельчатыми клапанами на режиме максимальной мощности работал на границе детонации. В то время как двигатель с гильзовым газораспределением не имел следов детонации даже при опережении зажигания, увеличенном до значения, вызывающего падение крутящего момента.
2. В двигателе с тарельчатыми клапанами оптимальное опережение зажигания составляло 31° , а скорость нарастания давления около $1.76 \text{ кг/см}^2 \text{ град}$. На двигателе же с гильзовым газораспределением оптимальное опережение зажигания равно только 14° до в.м.т., а скорость нарастания давления $3.16 \text{ кг/см}^2 \text{ град}$. Из чего следовало, что у первого степень турбулизации была ниже, а у последнего даже выше оптимальной.
3. Температура поршней при равновеликой мощности была значительно ниже у двигателя с гильзовым газораспределением.

4. Механический КПД двигателя с гильзовым газораспределением был заметно выше, чем у двигателя с тарельчатыми клапанами, что явилось совершенно непредвиденным обстоятельством.
5. Осмотр через открытые окна распределительной гильзы показал, что газы внутри цилиндра находились в состоянии быстрого вращения, так как искры от раскаленных частиц размельченного графита в виде черточек описывали траектории по окружности цилиндра.
6. Двигатель с гильзовым газораспределением работал более устойчиво, чем двигатель с клапанами.
7. Как и ожидалось, механический шум при гильзовом распределении был заметно меньше, тогда как шум от сгорания был явно больше, что явилось следствием большой скорости нарастания давления.
8. Предусмотренная смазка гильзы оказалась не нужной, т.к. брызг от масляной системы кривошипных головок шатунов оказалось достаточно. При этом было установлено, что гильза равномерно смазана по всей площади окружности, как изнутри, так и снаружи гильзы, даже при резкой остановке двигателя на полной нагрузке.
9. Расход масла в сравниваемых двигателях был почти одинаково низким.

Дополнительно выяснилось также, что в двигателе с гильзовым газораспределением можно поднять степень сжатия на единицу (до границы появления детонации), используя то же топливо, что и для двигателя с тарельчатыми клапанами. При работе на высоких давлениях и степени сжатия обнаружился прорыв газов через поршневые кольца. Первоначально кольца на поршне располагались в обычном порядке, с верхним кольцом на расстоянии примерно 12.7 мм. от днища. В этом положении они проходили окна в теле цилиндра, но не окна в гильзе, которые в в.м.т. при ходе сжатия уходят выше уплотнительных колец головки цилиндра (Рис 20).

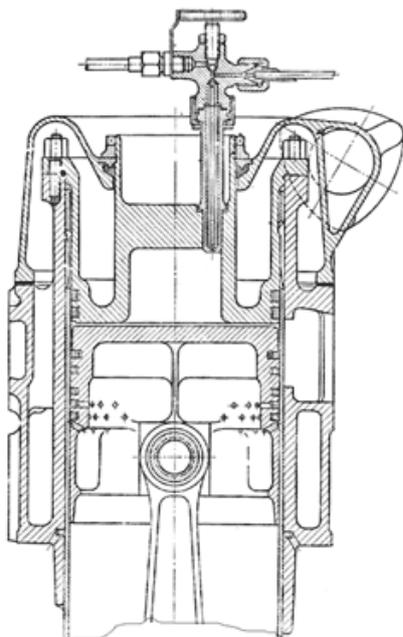


Рис. 20

Оказалось, что при высоком давлении сгорания в дизельных двигателях гильза вспучивалась в сторону окон на величину местных деформаций, нарушая тем самым геометрию цилиндра. После изготовления нового поршня с первой поршневой канавкой ниже уровня окон, прорыв газов прекратился. Хотя это мероприятие себя и полностью оправдало, было установлено, что очень большое расстояние от кромки поршня до первого кольца тоже нежелательно. При работе с малой нагрузкой в течение длительного времени в этом промежутке откладывался нагар, который занимал большую часть зазора, затем, когда осуществлялся переход на полную мощность, расширение поршня приводило к плотному прилеганию головки поршня, что вызывало сильный задиры, а иногда и заклинивание поршня.

В момент начала наполнения воздухом цилиндра двигателя впускные окна открываются посредством углового движения гильзы, а закрываются при ее движении вверх. В начальный период открытия поток направляется кромкой окна цилиндра только с одной стороны и поэтому воздух поступает наклонно, заставляя заряд вращаться в направлении противоположном вращению гильзы (Рис. 21).

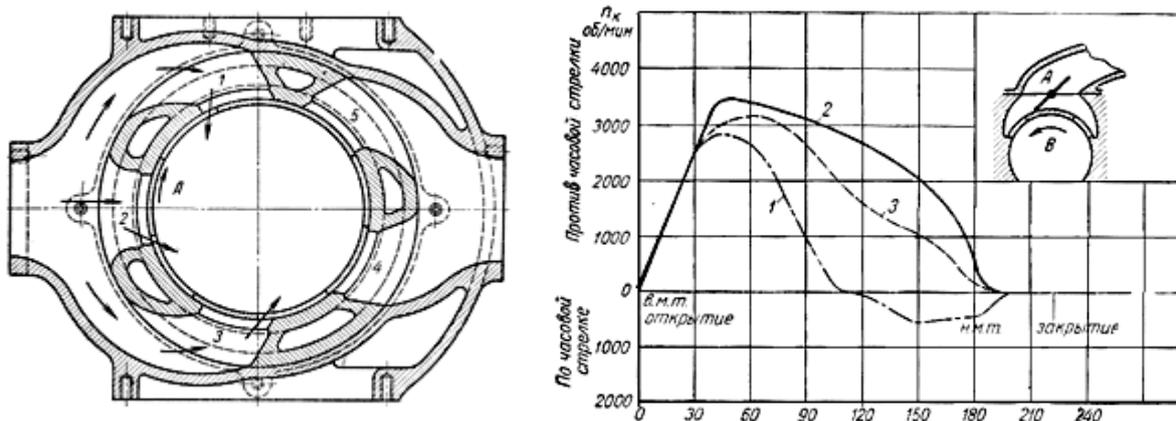


Рис. 20 и 21

Этот тангенциальный вход устанавливает интенсивный вращающийся вихрь. Когда открытие увеличивается, эффект уменьшается, пока в конце периода он вообще не исчезает, и направление входа тогда определяется контуром канала, ведущего к окну. Изменение скорости в цилиндре модели при продувке с помощью анемометра показало результаты, соответствующие средней штриховой кривой 3 на рис 5. Две другие кривые показывают влияние дефлектора, установленного в трубопроводе: положение А для усиления и положение Б для ослабления начального вихря. В последнем случае наблюдалось, что воздушный вихрь в действительности в последней части периода впуска менял свое направление.

Было установлено, что путем установки очень маленьких направляющих во впускном трубопроводе можно обеспечить полное управление воздушным вихрем. Для этого изготовили специальный анемометр, который устанавливался внутри камеры сгорания для записи средней скорости вращения воздуха при проворачивании вала. Отношение между скоростью анемометра и скоростью вращения коленчатого вала выражалось вихревым соотношением,

т.е. если анемометр делает 4 оборота за один оборот коленвала, то вихревое соотношение равно 4. Было найдено, что оптимальное вихревое соотношение несколько отличается от первоначального, и находится в пределах 1.5-2. Одно это позволило:

1. Увеличить среднее эффективное давление с 9,55 до 10,3 кг/см².
2. Уменьшить расход топлива с 209 до 206 г/л.с. час.
3. Увеличить угол опережения зажигания с 16° до 21°.
4. Уменьшить общий поток теплоты в охлаждающую жидкость с 70% до 64% от теплоты, эффективной эквивалентной мощности.

Позднее было найдено, что при высоком вихревом отношении неиспаренные капли отбрасывались на стенки гильзы, стекали в картер и разбавляли смазочное масло: это было особенно заметно при применении топлив с относительно низкой летучестью. Что касается конструкции, были преодолены некоторые конструктивные затруднения, возникающие из-за залегания уплотнительных колец в головке цилиндров. После испытания многочисленных вариантов было выяснено, что наилучшие во всех отношениях результаты были получены при использовании обычных стандартных колец с концами, подвергнутыми термической обработке, и немного закругленными во избежание поломки при их прохождении окон гильзы. Их оптимальный рабочий зазор равнялся, приблизительно 0,005D. Для уменьшения расхода масла внизу гильзы устанавливалось сжимающее маслосъемное кольцо. Оно оказалось вполне эффективным и оставляло еще достаточно масла для смазки наружной поверхности гильзы.

Вызывала недоумение высокая величина механического КПД установки, определенная по результатам проворачиванием и подтвержденная высокими действительными показателями, так как, не смотря на относительно тяжелые возвратно-поступательно движущиеся части, полное трение при проворачивании было меньше, чем у двигателя с тарельчатыми клапанами. Трудно было предположить, что мощность, необходимая для привода гильзы, с ее очень большой трущейся поверхностью, может быть меньше совсем незначительной мощности затрачиваемой на привод клапанов.

Было сделано предположение, что, причина повышенного механического КПД двигателя скрывается в самой гильзе. Ведь гильза движется относительно цилиндра всегда почти с одинаковой угловой скоростью, что является идеальным условием для жидкостной смазки и эта скорость относительно низкая. Казалось бы, потери на жидкостное трение на такой большой площади должны увеличиться. Кроме этого, при комбинированном воздействии газов, трение гильзы значительно увеличивается в определенные периоды цикла. Например, исследование зубьев шестерен привода гильзы показали заметно увеличенную нагрузку за период приблизительно в 120° угла поворота коленчатого вала; соответствующие приблизительно 30° градусам конца хода сжатия и 90° начала хода расширения. Подсчет показал, что упругая деформация тонкой гильзы при максимальных давлениях газа достаточна, чтобы выбрать все допускаемые рабочие зазоры, и что масляная пленка должна быть сильно нагружена в определенные периоды цикла. Тогда как

исследования зубьев шестерен привода показало также, что увеличение нагрузки на зубья шестерен имело место и в периоды, когда поршень двигался в одном направлении с гильзой.

Предположения подтверждались и экспериментальными данными, движущаяся гильза — приводит к уменьшению трения поршней. Даже в то время было известно, что в обычном неподвижном цилиндре или гильзе смазка поршня и поршневых колец близка к граничной смазке на любом конце хода поршня. Т.е. когда относительная скорость движения между поршнем и цилиндром стремится к нулю, и что жидкостная смазка не возобновляется до тех пор, пока поршень не прошел некоторую часть своего хода. Поэтому при движении гильзы, даже в то время, когда поршень находится в покое, поддерживается жидкостное трение в продолжение всего цикла. Это подтверждается эксплуатацией тысяч авиационных двигателей и тем обстоятельством, что резко локализованный износ, всегда обнаруживаемый на гильзах в двигателях с тарельчатыми клапанами в местах остановки поршневых колец в в.м.т., отсутствует при гильзовом газораспределении.

Кроме того, более поздние исследования, когда была применена техника измерения температуры при помощи плавких вставок, подтвердили, что и температура поршней двигателей с гильзовым газораспределением и жидкостным охлаждением немного ниже, чем температура поршней двигателя с тарельчатыми клапанами той же самой мощности и размерности. На первый взгляд это может показаться неожиданным, если иметь в виду тот факт, что теплота от поршня к охлаждаемым стенкам цилиндра должна пройти через гильзу и масляную пленку.

Однако исследования потоков теплоты, выполненные при помощи термопар показали:

1. При условии, что рабочий зазор между гильзой и цилиндром поддерживается малым, движущаяся масляная пленка является очень эффективным проводником теплоты.
2. Движение гильзы очень эффективно способствует передаче теплоты от одной зоны цилиндра в другую и устранению локализованных зон высокой температуры; поэтому температурный градиент по длине цилиндра намного более плавный, чем в любом другом двигателе с неподвижной гильзой, и, следовательно, температурный перепад на границе вода- металл значительно ниже.
3. На основе все тех же экспериментальных данных выяснилось, что передача теплоты от поршня к поворачивающейся гильзе больше, чем к неподвижной гильзе.

Кроме этого, в двигателях с воспламенением от сжатия, головка цилиндра не загромождена клапанами, что дает полную свободу в выборе формы и объема камеры сгорания, и позволяет в широких пределах регулировать движение воздуха в цилиндрах.

Как известно в двигателях с воспламенением от сжатия давления сгорания намного выше, чем в двигателях с искровым зажиганием, и соответственно в первых же экспериментах, когда были получены давления порядка 84.5-105

кг/см² произошли поломки чугунных гильз. Одну из гильз выдуло через одно из окон в цилиндре, а в другом случае гильза треснула от верхней кромки одного из окон до верхнего края. После замены чугунной гильзы на сталь поломки гильз прекратились. Не смотря на очень высокие давления газов, все же не было доказательств значительного трения гильзы, не было и каких либо признаков разрушения привода. И бензиновая и дизельные установки в дальнейшем показали очень высокие результаты. На бензиновой установке с октановым числом около 60 было достигнуто среднее эффективное давление 10.3 кг/см.2 с минимальным расходом топлива 202 г/л.с.ч (274г/кВт.час). А на двигателе с воспламенением от сжатия ИСО средним эффективным давлением 8.5 кг/см.2 на границе дымления и минимальный расход топлива 161 г/л.с.ч (219 г/кВт.час). Позднее на таком же, только многоцилиндровом двигателе был достигнут минимальный расход топлива всего 154 г/л.с.ч (209 г/кВт.час).»... это очень хорошие показатели и для современных дизельных двигателей.
 «...Рассмотрим несколько подробнее распределительную гильзу и устройство ее окон.

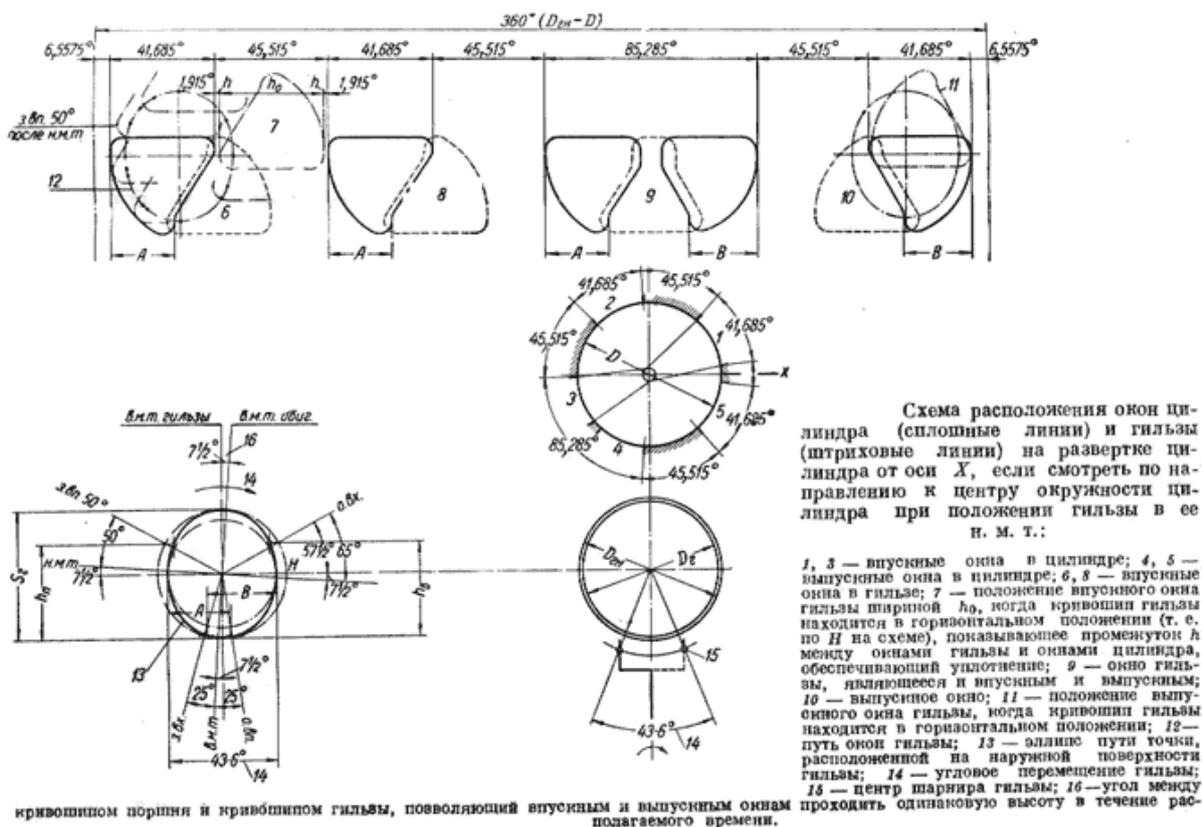


Рис. 22

Как видно из рис.6 вертикальное движение гильзы определяется ходом кривошипа или коромысла, от которого она приводится. Угловое перемещение гильзы определяется расстоянием центра сферического шарнира от оси гильзы. Если сферический шарнир находится фактически на окружности гильзы, тогда движение любой точки гильзы происходило бы по окружности. Если же точка привода гильзы отодвинута от оси гильзы дальше, то движение гильзы

становится все более эллиптическим с главной осью эллипса расположенной вертикально.

Следовательно, должно быть очевидным, что есть две переменных:

1. вертикальный ход, определяющий высоту или глубину окон;
2. угловое движение, которое влияет на ширину и, следовательно, на количество окон.

Поэтому полная располагаемая площадь окон обуславливается исключительно вертикальным движением. Следовательно, если на половину сокращается угловое перемещение, то можно использовать удвоенное их число. В практике, конечно, не желательно иметь много окон, как впрочем, и мало тоже. В практике, конечно, ширина любого окна должна быть такой, чтобы уплотнительные кольца головки цилиндра проходили их безопасно. И в случае высоких рабочих давлений, развиваемых двигателем, не происходило бы их выдувания через окна цилиндра — для этого оставалось бы достаточно места для опорных поверхностей. Так, например для восьми окон (три выпускных и пять впускных) требуется привод с достаточно узким эллипсом. В большинстве же случаев достаточно иметь всего пять окон (три впускных и два выпускных), тем более, что такая комбинация соответствует самому простому кривошипному приводу. Одно окно в гильзе используется как окно общего назначения.

На рис.6 показано типичное расположение окон вместе с диаграммой открытия окон цилиндра и гильзы с тремя впускными и двумя выпускными окнами. D -наружный диаметр гильзы; φ -угол поворота гильзы, равный $43,6^\circ$; $S\Gamma$ — вертикальный ход гильзы; h_v — высота выпускного окна; h_n — высота впускного окна.

Фазы открытия окон в градусах коленчатого вала следующие:

о.вп. — открытие впускного 25° до в.м.т. з.вп.- закрытие впускного 50° после в.м.т. о.вх.- открытие выпускного 65° до н.м.т. з.вх.- закрытие выпускного 25° после в.м.т. Для бензинового двигателя с $D_{\text{цил.}} = 68,5$ мм и ходом поршня $L = 90$ мм и с максимальными оборотами 6000 об/мин., использовалась гильза толщиной всего $S = 1,27$ мм.

В дальнейшем, на базе экспериментальных установок были выпущены 6-цилиндровые автомобильные двигатели фирмы Воксхолл, а также фирм Бристоль, Центаурус, авиационные двигатели «Геркулес» (Рис.23), Впоследствии двигатель фирмы Нэпир — «Сэйбрл», а еще позднее двигатель от фирмы Роллс-Ройс — «Игл», и т.д.

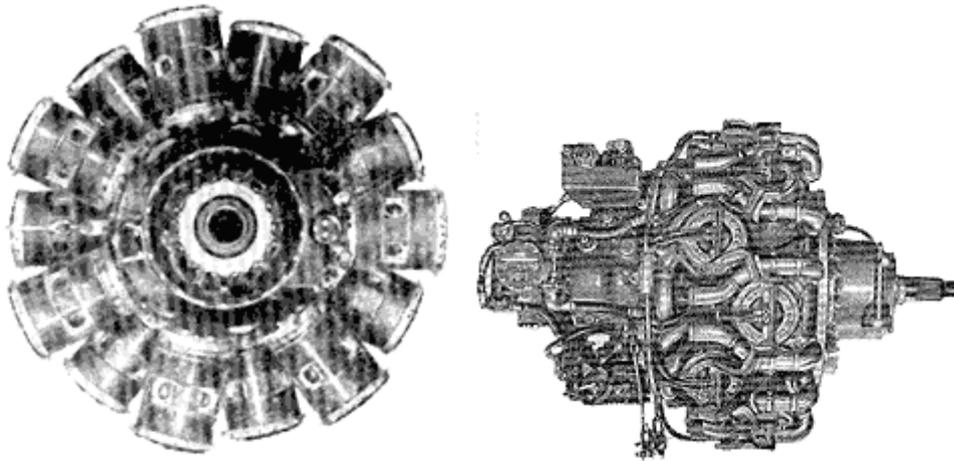


Рис. 23

Следующим шагом в развитии двигателей с гильзовым газораспределением стала разработка и испытания конструкций с алюминиевыми цилиндрами и блоками (в то время еще только начинали появляться кремнисто-алюминиевые сплавы). Больше всего сомнений было в значительных тепловых расширениях цилиндров двигателя. Необходимо было обеспечить надлежащий рабочий зазор между гильзой и цилиндром, чтобы можно было пустить двигатель из холодного состояния при самой низкой окружающей температуре. И здесь важна не относительная, а абсолютная величина теплового зазора. На двигателях с диаметром цилиндров до 127 мм и стальной гильзе это условия были вполне приемлемыми, и обеспечивали практически бесисносную работу двигателя в течение длительного времени.

Требования снижения веса, особенно для авиационных двигателей потребовало особого подбора материалов для пары поршень-гильза-блок. Требовались алюминиевые сплавы для блока, что было конечно самым перспективным направлением, особенно кремнисто-алюминиевые композиции (сплавы типа АК 4), но это то и составляло одну из основных сложностей при постройке двигателя с гильзовым газораспределением. А для двигателей с воздушным охлаждением, где теплонапряженность гораздо выше, эта проблема стояла еще острее.

При постройке двигателя из легкого сплава с воздушным охлаждением гильзы стали изготавливать из аустенитной стали; при таком сочетании материалов разница в тепловом расширении цилиндра и гильзы уменьшилась примерно от 2,6 : 1 при обычном алюминиевом сплаве и обычной углеродистой стали приблизительно до 1,3 : 1. Но аустенитная сталь в качестве материала для трущейся поверхности оказалась неудовлетворительной. В то время как наружная поверхность достаточно хорошо работала по поверхности цилиндра, она не отвечала требованиям работы поршневых колец, которые сильно срабатывались, а на гильзе и юбке поршня образовывались сильные задиры. Накатка, дробеструйка, и хромирование ничего не улучшило, поэтому было принято решение временно перейти на толстостенные чугуны, которые можно азотировать. Впоследствии фирма Бристоль, которая занималась этой проблемой, смогла преодолеть основные сложности при мехобработке и

закалке, после которой происходило искривления гильзы. Отшлифованная чистая и очень твердая поверхность затрудняла смазку из-за недостатка смачивания поверхности, что представляло новую проблему, которую вновь удалось решить применением технологии «сатин-финиш», аналога современного хонингования с последующим суперфинишированием.

После устранения этих трудностей отлитая центробежным способом азотированная гильза из аустенитной стали, оказалась наилучшей во всех отношениях для всех двигателей с гильзовым газораспределением, в том числе и для двигателей с воздушным охлаждением. Единственным недостатком является ее низкая теплопроводность.

Двигатели с воспламенением от сжатия также обладали не плохими весовыми показателями. Так еще в 1930 году фирма Роллс-ройс на двигателе «Кестрелл» при весе 336 кг развивал максимальную мощность в 340 л.с. при расходе 172 г/л.с.ч (234 г/кВт.ч), что еще не являлось окончательным решением. Несколько лет спустя этот двигатель был установлен на гоночный автомобиль установивший мировой рекорд скорости в 270 км/час, лучший для дизельного двигателя того времени».

5. Двухтактные двигатели с гильзовым газораспределением

Данный класс двигателей с гильзовым газораспределением исследовался, прежде всего, для авиации, но полученные результаты оказались гораздо шире тех задач, для которых они первоначально ставились.

В этом разделе речь пойдет, прежде всего, о дизельных двигателях, для которых двухтактный цикл вполне оправдан с точки зрения экономичности. Конечно, и бензиновые версии имеют право на существование, но только те из них, где топливо также как и в дизелях подается прямо в цилиндр. Однако эти системы имеют массу ограничений; непосредственный впрыск, или скажем компрессорный впрыск бензина — сами по себе достаточно сложны, при этом не надо забывать, что их применение лишь приближает эксплуатационные затраты на горючесмазочные материалы к бензиновым четырехтактным моторам, а по экономичности им никогда не приблизиться к дизелям.

Начав работы по созданию двухтактных двигателей с гильзовым газораспределением в лаборатории, которой в то время руководил Г.Р.Рикардо, было решено использовать весь накопленный материал, полученный при исследовании четырехтактных двигателей. В двухтактном варианте движение гильзы соответствует скорости вращения коленчатого вала, и гильза может в результате этого приводиться прямо от эксцентрика, расположенного на коленчатом валу (Рис.24). Кроме того, в двухтактном варианте для управления окнами (Рис.25) требуется только возвратно-поступательное движение гильзы, хотя для осуществления лучшей смазки совершенно необходимо определенное небольшое вращение ее; это вращение обеспечивалось введением качающегося рычага с точкой опоры между эксцентриком и шаровым шарниром.

Из опытов найдено, что удовлетворительное распространение масла обычно достигалось при условии, что малая ось эллипса равна не менее 20% большей.

Воздух в двигатель впускался через круговой пояс окон, расположенных внизу гильзы, окна открывались поршнем около н.м.т. выпуск производился через другой пояс окон около верхнего конца гильзы. В результате этого обеспечивалась прямоточная продувка, причем выпуск управлялся одной гильзой, а впуск поршнем. Анализ геометрии механизма показал, что наиболее благоприятное соотношение между ходом поршня и ходом гильзы получалось, когда последний был равен 30% первого.

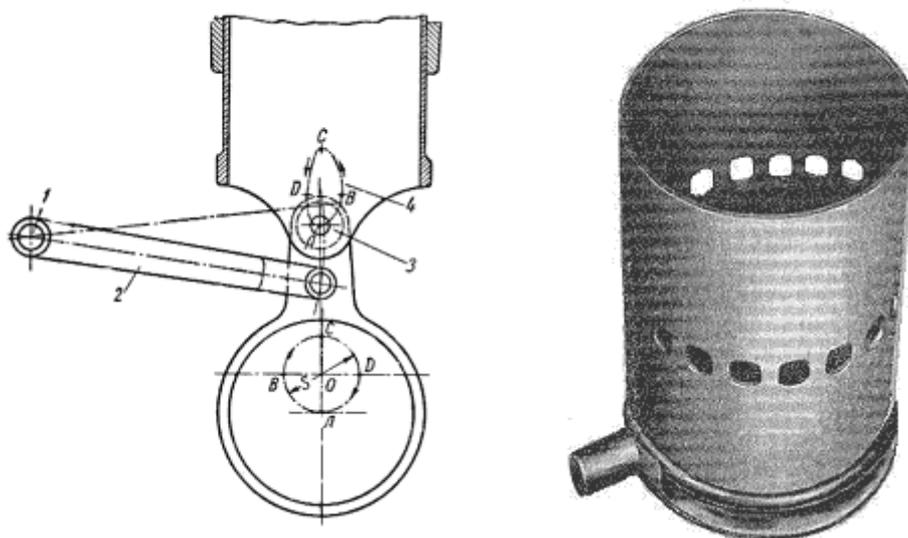


Рис. 24 и 25

Любое увеличение хода гильзы обеспечивало бы большую площадь выпускных окон, но уменьшенную площадь впускных, и наоборот.

В обычной конструкции двухтактного двигателя эффективная длина поршня должна быть несколько больше хода для того, чтобы окна не могли сообщаться с картером. В двигателе с гильзовым газораспределением, поскольку гильза движется почти соответственно движению поршня за вычетом хода гильзы; поэтому его длина должна быть равна приблизительно 70% хода поршня. Как в отношении конструкции, так и габаритов вообще, это очень важное преимущество.

Первоначально двухтактный двигатель был изготовлен по образцу и подобию четырехтактного, только на впуске был установлен продувочный компрессор, обеспечивающий избыток воздуха в двигатель с $\phi_0 = 1.3$. С первого пуска установка показала хорошие показатели: был получен минимальный расход топлива $g_e = 168$ г/л.с.ч (229 г/кВт.ч). При этом, на такой же четырехтактной установке, с равными условиями работы: $g_e = 161$ г/л.с.ч (219кВт.ч).

Как и следовало ожидать, очень скоро появились и первые неисправности, главными из которых оказались следующие:

1. Очень быстро закоксуывались кольца головки цилиндра;

2. Температура поршня была очень высокой, что приводило к залеганию и потере упругости поршневых колец;
3. Масло по наружной поверхности гильзы не могло проходить через промежуток в стенке цилиндра, образованный впускным поясом;
4. Очень быстро изнашивались подшипники поршневого пальца, как в поршне, так и в шатуне.

Первая из неисправностей было устранена установкой шарового соединения со сферическим концом шатуна вместо обычного поршневого пальца и охлаждением поршня потоком масла, подаваемого вверх и вниз по шатуну и циркулирующего с высокой скоростью непосредственно под днищем поршня (рис 26).

Неисправности со смазкой наружной поверхности наружной поверхности гильзы были устранены установкой лубрикатора местной смазки, питающего маслом кольцевую канавку в корпусе цилиндра выше впускного пояса окон, с очень незначительным количеством подаваемого масла. Главной проблемой, однако, было проблема с кольцами

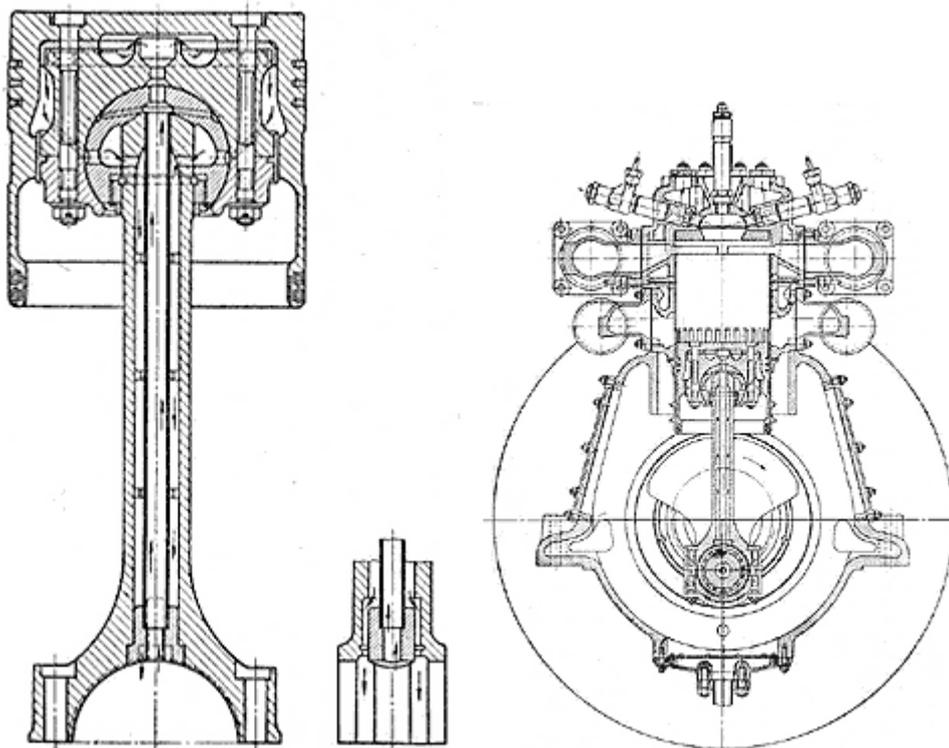


Рис. 26 и 27

головки, так как они закоксовывались уже после нескольких часов работы на полной нагрузке. В двухтактном двигателе с гильзовым газораспределением кольца головки цилиндра находятся в таких же тяжелых условиях работы, как и поршневые кольца двухтактного двигателя, с регулированием открытия выпускных окон поршнем, т.е. они подвергаются сильному эрозийному воздействию горячих выпускных газов с высоким давлением через края поршня или его днище, а также воздействию скопления частично закоксовавшегося масла, соскобленного с кромок выпускных окон. Кольца головки находятся в худших условиях еще потому, что они не имеют активного движения качания, как в поршне. Все манипуляции с улучшением теплоотвода этой части головки

ничего не дали и, после нескольких лет бесплодных попыток улучшить положение, было решено полностью отказаться от прежней конструкции и перейти на вариант гильзы без верхнего ряда окон (Рис.27). Полагая, что уплотнение от прорыва газов будет обеспечено самой гильзой.

Конструкция оказалась на редкость удачной и впервые позволила провести 50 часовые испытания на прочность при полной нагрузке. При диаметре гильзы 140 мм, ее диаметральный зазор мог составлять даже 0,2-0,254 мм, прежде чем нарушится уплотнение гильзы. При больших зазорах пуск двигателя становился уже практически невозможным. В пределе, обнаруживалось разрушение гильзы под влиянием чрезмерного рабочего зазора из-за развития мельчайших трещин у крайней верхней кромки гильзы. Что происходит от чрезмерного температурного напряжения, что дальше приводит к утечкам газа с последующим обгоранием верхней кромки гильзы. Верхний конец гильзы расширяется, образуя форму раструба, до тех пор, пока не выбран весь зазор. Затем отдача теплоты в стенки цилиндра стабилизирует температурные условия, но поскольку тепловая емкость гильзы крайне невысокая, а интенсивность потока теплоты, особенно когда имеют место утечки, очень большая — гильза начинает прогорать.

Указанные случаи разрешаются применением допустимых зазоров в рамках обычных производственных допусков. Гильза же с открытым концом имела как минимум три очевидных преимущества:

1. Допускала значительное уменьшение общей высоты цилиндра и головки и, что допускало значительное снижение высоты двигателя.
2. Позволяла осуществить выпуск по всей окружности гильзы вместо 80%, которые были максимально допустимыми при применении гильзы с окнами.
3. Поскольку гильза движется почти в соответствии с поршнем и поскольку ее открытый конец подвергается воздействию давления газа в цилиндре, она образует кольцевой поршень, который немного увеличивает мощность. В практике площадь этого кольца составляет около 10% от площади поршня, а поскольку ход гильзы составляет около 30 % хода поршня, следовательно, гильза добавочно дает около 3% индикаторной мощности двигателя, последняя передается через эксцентрик на коленчатый вал.

Хорошие результаты были получены и при использовании пары блок — гильза из материалов соответственно: алюминий — аустенитная азотированная стальная гильза, у которой коэффициент теплового расширения был приблизительно на 50% больше, чем у гильзы из углеродистой стали. Твердая азотированная поверхность гильзы почти не подвергалась изнашиванию. Уровень форсировки этого двигателя, соответствующий 47 л.с. на литр с камерой сгорания типа «липпед-вортекс» был вполне удовлетворительным для двигателя с воспламенения от сжатия.

Регулирование по расходу масла если поддерживалось на уровне не менее 0.0114 л.с.ч., то изнашивание канавок поршневых колец было совсем незначительным. В целом же механический КПД двухтактного двигателя

(исключая работу на привод нагнетателя) соответствовал 90%. Устанавливаемая же на двигатель азотированная гильза имела срок службы на двухтактном моторе до 4000 часов, что является очень хорошим показателем и для современных силовых установок промышленного применения...».

6. Шторковое газораспределение

Если этот тип газораспределения не «дай бог приделают» к двигателю внутреннего сгорания, то последний проживет еще лишние лет тридцать-сорок. И тогда точно очередь «Роторно-волнового двигателя» не наступит, так как к тому времени человечество уже придумает, как обойтись без машин... или машины придумают, как обойтись без человечества.

Заняться вплотную этой темой притягивала привлекательность бесшатунных двигателей внутреннего сгорания. В её незаурядной кинематической схеме в глаза всегда бросался один очень серьезный изъян. Все бесшатунные двигатели были под стать звездообразным моторам, у которых к каждому цилиндру шел отдельный привод газораспределения. Торчащие во все стороны клапанные коробки съедали почти все преимущества бесшатунных двигателей в плане габаритов. Этот серьёзный недостаток всегда умалчивался С.С. Баландиным — создателем первых отечественных бесшатунных двигателей. Ну, раз нельзя отказаться от газораспределения в принципе, то хотелось хотя бы его привод разместить как можно ближе к коленчатому валу. Система гильзового газораспределения Рикардо в принципе решала эту проблему, но тоже была чрезвычайно несовершенна и загромождена большим количеством «лишних деталей». Что, кстати также повлияло на принятие радикального решения — отказаться от такого привода совместно с гильзовым газораспределением. Это и не удивительно, ведь использовавшийся привод гильз от момента своего появления до того момента, когда от него совсем отказались, так и остался с интеллектом от 1922 г. рождения. Несколько ниже мы обязательно поговорим и о его модернизации — постараемся исправить, так сказать историческую несправедливость.

Но для начала, как это полагается, поставим перед собой задачу, так же, как это делал некогда Г.Р. Рикардо — делал сравнительный анализ и брался за воплощение очередного замысла... последнее нам точно не грозит, так как в нашем обществе задачи только ставятся, но никогда и никем не выполняются. ... Перейдем к анализу.

Положительные качества (существовавшего) гильзового газораспределения:

1. Благоприятная форма камеры сгорания не загроможденная клапанами — представляет большое поле для оптимизации рабочего процесса.
2. Бесшумность работы.
3. Создание больших проходных сечений каналов газораспределения с большой скоростью их открытия и закрытия (в четырехтактных моторах до 25%; в двухтактных до 80% площади поршня).
4. Короткие пути потока газов.
5. Сокращение высоты двигателя на 10-15%.

6. Позволяет значительно сократить потери на трение в двигателе или, что то же самое — увеличить механический КПД силовой установки.
7. Уменьшенные тепловые потери в головку цилиндров.

Недостатки систем (старых конструкций) гильзового газораспределения:

1. Большой вес — ограничивающий максимальные обороты двигателя.
2. Располагающийся не в центре масс привод гильзы.
3. Механизм движения для привода гильз очень сложный.

Преимущества клапанного газораспределения:

1. Высокая герметичность во время работы двигателя.
2. Неподвижность уплотнительного контура во время работы при высоких давлениях и температурах.

Недостатки клапанного газораспределения:

1. Большая сложность, особенно при четырехклапанной головке.
2. Повышенная теплоотдача в головку цилиндров и наличие «горячих зон» в камере сгорания приводят к появлению зон преждевременного воспламенения — детонации (справедливо для бензиновых двигателей).
3. Ограниченная пропускная способность, при двух клапанах 16% от площади поршня. При четырех клапанах — до 25%.
4. Повышенная шумность.
5. Сбой фаз газораспределения (особенно в дизелях) приводит двигатель в неработоспособное состояние.

Соединить воедино достоинства и гильзового и клапанного механизмов — как раз для этого и предназначен шторковый механизм газораспределения.

Конструктивно это будет выглядеть следующим образом: стальная тонкостенная гильза по периметру в 360° набирается из отдельных секторов — шторок. При обычном газораспределении достаточно и двух секторов, по $\sim 180^\circ$ — каждый. Один управляет впуском, а второй выпуском.

На внутренней поверхности цилиндра (Рис.28) шторки в статическом состоянии удерживаются упором друг в друга, (минимальный тепловой зазор остается) — данный принцип фиксации аналогичен фиксации по типу «ласточкина хвоста». Кроме этого для «разжимания» шторок к стенкам цилиндра призваны поршневые кольца и собственно сам поршень. При работающем моторе сюда еще добавятся газовые силы.



Рис. 28

Каждая шторка может управляться отдельно с помощью:

1. Принудительного десмодромного привода с остановкой шторки в крайних положениях.
 2. Кулачкового привода с остановкой шторки в крайних положениях.
 3. Принудительного привода с непрерывным возвратно-поступательным движением шторки.
- Первые два приводных механизма содержат кулачковые распределители, последний — эксцентриковый вал.
 - Привод шторок может производиться с любой стороны основания цилиндра, в том числе и со стороны головки (Рис.28).

Тепловой зазор шторкового механизма может находиться в пределах обычных допусков цилиндропоршневой группы. При материале блока из кремнисто-алюминиевого сплава и гильзы из аустенитной стали, суммарный зазор в паре шторки — блок составит: $0.0001-0.00005D$ цилиндра. Расчеты показывают, что при такой конструкции органов газораспределения площадь проходного сечения впускных каналов для четырехтактного двигателя может достигать 33-38% (выпускных 25-27 %) от площади поршня. Такая величина проходного сечения не достижима ни в одном приводе газораспределения четырехтактных моторов, она снимает лимитирование по проходному сечению газов через органы газораспределения до средней скорости поршня 21-24 м/сек вместо 10-12 м/сек, и это при предельной скорости воздуха на впуске — 64 м/сек (максимальная допустимая скорость находится в районе 120 м/сек).

Увеличение средней скорости поршня приведет к увеличению сил инерции в механизме газораспределения, для шторкового механизма и это преодолимое препятствие.. Например шторка, изготовленная из хромоникелевой стали, при толщине всего в 1.2мм под диаметр поршня 92 мм будет весить 150-170 грамм. Для такого же цилиндра, вес впускного клапана в сборе с клапанной пружиной, тарелкой и сухариками составит 207 грамм.

Что в данном случае, и со всей очевидностью просматривается:

1. Тонкостенная шторка независимо от износа всегда будет прижиматься к цилиндру — «облегая его» с внутренней стороны. Ей не грозит потеря устойчивости и развитие микротрещин на кромках — из-за отсутствия опять таки напряжений формы и соответственно термических напряжений.
2. Шторковый привод можно разместить в основании цилиндров, при этом головка цилиндров приобретает форму «плоской крышки».
3. При отсутствии верхнего ряда окон впускная и выпускная кромка шторок становятся линейными. Это позволит снизить высоту любых существующих тронковых двигателей (с приводом расположенным в основании цилиндров) на 25-30%!, что уменьшит высоту двигателя в значительно большей степени, чем может дать даже бесшатунный силовой механизм.
4. Поломка шторки, или ее привода, не выведет двигатель из работоспособного состояния. Максимум неприятностей — отключится только один рабочий цилиндр.

Необходимо сказать несколько слов и о зазорах по линии стыка шторок. Прорыв газа в подпоршневое пространство неизбежная вещь, с этим надо просто смириться. Расчетная площадь зазоров от стыка полусекторов находится в разумных пределах и составляет примерно 10-15% от площади зазора поршневого кольца.

Следующий, на самом деле наиболее важный момент заключается в выборе привода шторок. Какой из типов привода может быть наиболее предпочтителен: непрерывного или прерывистого действия. Первый тип привода подразумевает непрерывное возвратно-поступательное движение шторок от эксцентрикового валика с числом оборотов вдвое меньше числа оборотов коленчатого вала. Второй тип привода подразумевает установку кулачкового распредвала, или десмодромного механизма, что почти одно и тоже. При стремлении ужать всю конструкцию до минимума с обеспечением максимальной герметичности больше подойдет десмодромный механизм, кроме этого, он позволяет использовать одно очень важное преимущество клапанного привода — неподвижность уплотнительного контура во время работы при высоких давлениях и температуре. Для получения же максимальной надежности, снижения величины механических потерь — для этого лучше воспользоваться эксцентриковым приводом.

Стоит наверное еще раз вернуться к месту содинения: поршень-гильза-цилиндр и поговорить о некоторых аспектах этого соединения, так как основная доля критики (если не дать разумного обоснования) будет направлена в этом направлении. Как уже упоминалось, в двухтактных двигателях Рикардо предпринимались многолетние неудачные попытки построить двухтактный двигатель по той же схеме, по которой строились и четырехтактные двигатели с гильзовым газораспределением. Лишь совершенный скорее от "отчаяния" рискованный шаг - переход на привод гильзы без верхнего ряда поршневых колец позволил этому классу машин успешно пройти пятидесятичасовые

моторные испытания и, в дальнейшем без нареканий отработать полную программу испытаний в количестве 4000 моточасов. Напомним, что верхние кольца, расположенные в головке блока, очень быстро закоксовывались. Причина заключалась в том, что гораздо более высокая теплонапряженность двухтактного двигателя по сравнению с четырехтактным, в сочетании с тем, что газораспределительные окна постоянно пересекают линию колец накапливая в своих пустотах масло, приводит к очень быстрому закоксовыванию поршневых колец головки цилиндров. Да и вообще, говорить о том, что такой двигатель будет удовлетворять современным экологическим показателям по дымности, и по содержанию в нем паров масла, где их значительная часть вынуждена из-за наличия окон в гильзе попадать в проточную часть двигателя на линию сжатия и расширения не приходится.

Отказ в двухтактном варианте от верхнего ряда колец позволил Рикардо уменьшить общее количество поршневых колец вдвое, что также поспособствовало поднятию механического КПД двигателя до 90%. А это очень высокий показатель. Но появилась еще одна очень неприятная и существенная деталь, на изношенном от времени двигателе приходилось перед запуском впрыскивать в камеру сгорания густое масло, почему? Гильза совершая движения трется, в том числе и тыльной стороной о поверхность блока, ну а раз есть трение, значит со временем должен образоваться и износ. Что происходит далее, зазор между гильзой и цилиндром по мере износа этой пары трения растет, соответственно герметичность уплотнения уменьшается - упругость неразрезной гильзы не дает ей прижаться к цилиндру во время пуска. Это уже потом расширяющиеся продукты сгорания выполняют эту работу... . С этим неразрешимым противоречием двухтактный двигатель так и остался в тех далеких сороковых-пятидесятых годах прошлого века. Т.е. эта схема решила проблему поршневых колец головки блока, убрав их полностью в двухтактном варианте, но породила новую проблему - отсутствие герметичности камеры сгорания в момент ее запуска.

Сделав "хирургическую операцию гильзе" - разрезав ее продольно, можно быть уверенным, что половинки гильз при любом раскладе всегда будут прижаты к поверхности блока, что уже хорошо, теплоотдача шторок будет стабильна в любой момент времени. Установка за шторками ниже линии окон маслосбрасывающего кольца решит проблему повышенного расхода масла. Поднимаясь из под маслосъемного кольца вверх шторка будет нести масло только на хонинговальной сетке, нанесенной с ее наружной поверхности. Отсутствие газораспределительных окон пересекающих кольца, как и отсутствие самих колец в головке кординально повлияет на снижение расхода масла до любого приемлимого уровня, и полностью решит проблему повышенного расхода масла этого типа двигателей. Суммируя сказанное, можно констатировать, что шторковое газораспределение как скорее всего разновидность гильзового газораспределения устраняет основные противоречия присущие двигателям с гильзовым газораспределением.

7. Гильзовое газораспределение для четырехтактных двигателей — образца 2004-2006г.г.

Мы подошли, как и было обещано, к современному взгляду на привод гильзы с комбинированным движением в цилиндре, с траекторией, которая обеспечит наилучшие условия смазки и движению гильзы.

Как было описано ранее, вовсе не обязательно гильзе со скомбинированным движением сообщать равные пути по двум координатам, т.е. изображать видимость окружности. Оптимальным решением надо признать привод гильзы с эллипсной траекторией движения использованной ранее для двухтактных моторов, в них, отношение высоты хода гильзы к ее ширине приблизительно равнялось следующей пропорции 5:1 (~ 20%).

Что сегодня может предложить «наука» для нахождения оптимального решения по данному вопросу... Идущий вдоль основания цилиндров эксцентриковый вал (по эксцентрику на цилиндр) должен обеспечить нужную нам эллипсную траекторию движения гильз с помощью промежуточного элемента. И такой промежуточный элемент найден. Его изображение можно увидеть на рис. 13.

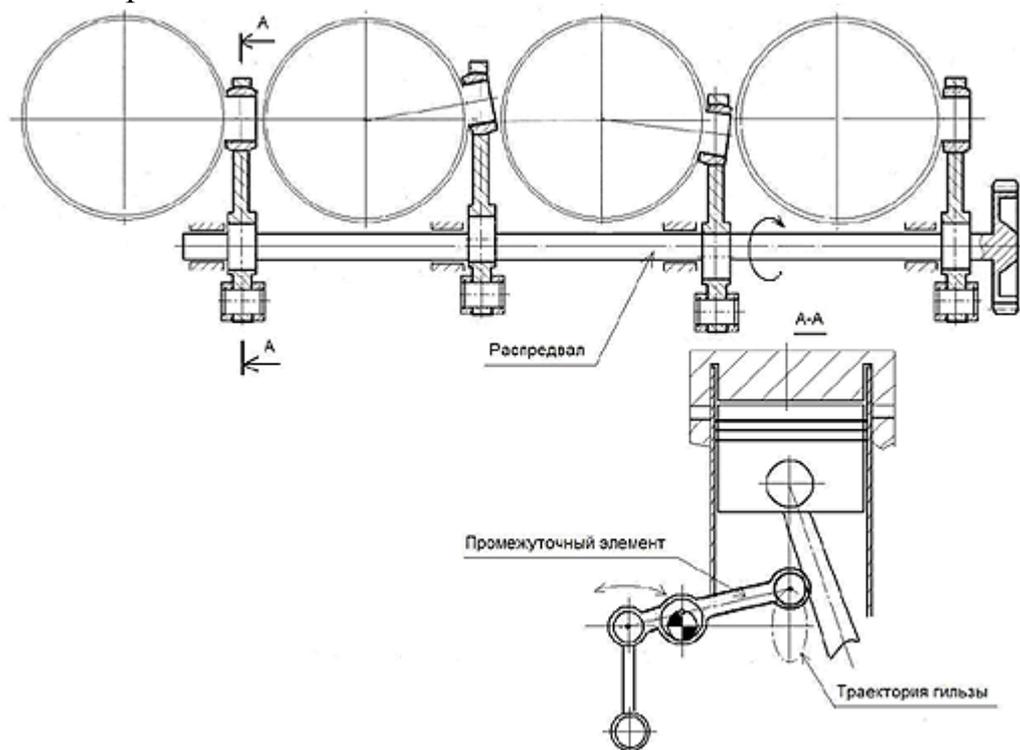


Рис. 29

Заключение

В наше время научно-технический прогресс развивается лавинообразно: в прошлом от возникновения идеи до ее реализации проходили столетия и десятилетия, теперь – нередко считанные годы.

В результате происходит быстрое моральное старение техники, возникает необходимость все в новых и новых открытиях. Новые виды транспорта призваны облегчить жизнь человека, сделав ее еще более комфортной, но при этом от них требует соблюдение всех экологических норм, которые с каждым днем становятся все жестче.

Новые виды двигателей, краткая характеристика которых была дана в этой работе, являются лишь малой частью всех тех усовершенствований, которые сделаны человеком за последние несколько лет. Одни из них являются ныне действующими системами, другие ожидают введения в эксплуатацию после идущих в настоящее время испытаний, третьи – слишком футуристичны и дорогостоящи на сегодняшний день (но и они могут воплотиться в жизнь в ближайшем будущем). Но все они уже сегодня помогают обществу решить те насущные проблемы, которые возникли в результате деятельности людей, и этот процесс уже нельзя остановить.

Литература

1. Аксенов И.Я. Единая транспортная система: Учеб. для вузов – М: Высш. шк., 1999.
2. Гулиа Н.В., Юрков С. Новая концепция электромобиля: Наука и техника – 2000 - №2.
3. Пополов А. Индивидуальный электротранспорт XXI века: Наука и техника – 2001 - №8.
4. Постников Д. Электромобиль: «за» и «против»: За рулем – 1997 - №2.
5. Пополов А. Электровелосипед сегодня и завтра: Наука и техника – 1999 - №8.
6. Новый городской транспорт – автомобиль на рельсах: MEMBRANA – 2002 – №1.
7. Монокар – двухколесный автомобиль: ООО «Скиф», 2002.
8. Каримов А.Х. Беспилотные самолеты: максимум возможностей: Наука и Жизнь – 2002 - №6.
9. Пополов А. «Солнечным» судам счастливого плавания: Наука и Жизнь – 2001 - №6.
10. Измеров О. Самолет садится на рельсы: Неизвестный отечественный монорельс.
11. Моторвагонные поезда – альтернатива локомотивной тяге: Железные дороги мира – 2002 - №1.
12. Батисс Ф. Комбинированные системы общественного рельсового транспорта: Железные дороги мира – 2000 - №8.
13. Fast Tube System — скоростной пассажирский трубопровод: MEMBRANA – 2002 – №5.
14. Лесков И.В. Индивидуальные летательные аппараты: Границы бесконечности – 2002 - №1.
15. Журнал «За рулём» №2, №7, №8, 1997 год.
16. Журнал «За рулём» №9, №12, 1998 год.
17. Журнал «За рулём» №1, №2, №3, №8, 1999 год
18. Журнал «За рулём» №1, №2, №3, 2005 год.
19. Журнал «За рулём» №2, №3, №5, 2006 год.
20. Журнал «Автомобили» №8, 1998 год.
21. Журнал «Авто ревью» №8, 1999 год.
22. Журнал «Клаксон» №5, 1999 год.
23. Усманов С., Тень В., Искандаров М. Возрождение транспорта на современной технической основе. Методическое указание. Джизак.-2005.
<http://www.madi-auto.ru/>
<http://www.asu2.narod.ru/>
www.mobile.de
www.autoscout24.de
www.tks.ru/auto/calc.shtml
<http://www.injectorcar.ru/obuchenie.shtml>
<http://autoscan.ru/html.files/obuch.htm>

<http://www.rpm-novation.com/Experts/Round+Table>

<http://lada.madu.ru/>

<http://www.e-referat.ru>

<http://www.gm.com>

<http://rosweb.ru/users/l/lomakovka/>

