



МГТУ имени Н.Э. Баумана
Студенческая научная весна
Аэрокосмический факультет
май 2020



2. СФЕРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ.

Автор:
студент гр. АК2-101 **Стаканов Иван Владимирович**

Москва, 2020

Проблемы

Двигателестроение одна из важнейших отраслей промышленности. К сожалению, существенных изменений в этой области народного хозяйства не было уже очень давно. В данной работе будут рассмотрены основные недостатки существующих конструкций и предложены пути и методы их решения.

Задачи

Ключевую роль для транспортных машин играет силовая установка. От ее характеристик напрямую будет зависеть облик и технические возможности будущего изделия. Поэтому главным направлением развития транспортных систем является развитие возможностей силовых установок — их мощности, компактности, топливной экономичности, ресурса и экологичности.

Актуальность проблемы

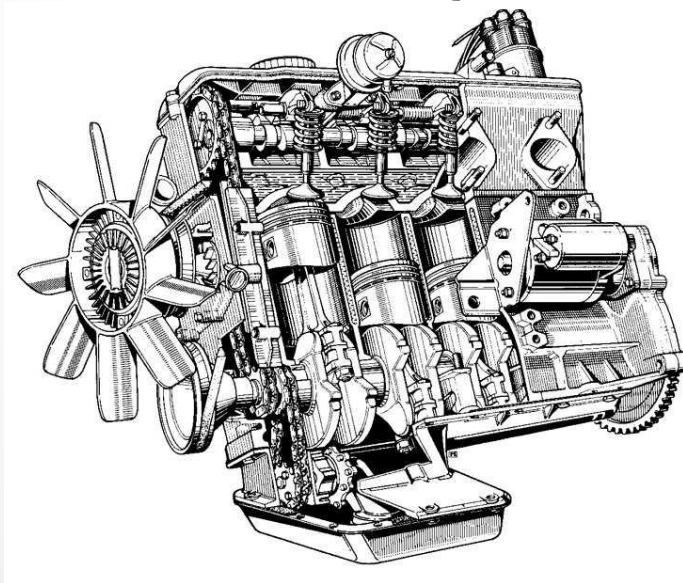
Первый ДВС появился ещё в 1860 году, созданный бельгийским изобретателем Жаном Жозефом Этьеном Ленуаром. А тот вид, в котором мы его знаем, он приобрел в 1876 году благодаря Николаусу Августу Отто. С тех пор принципиальная схема тепловых машин работающих по замкнутому циклу в закрытой камере не менялась и в последние годы практически достигла предела своего развития.

Методы исследования

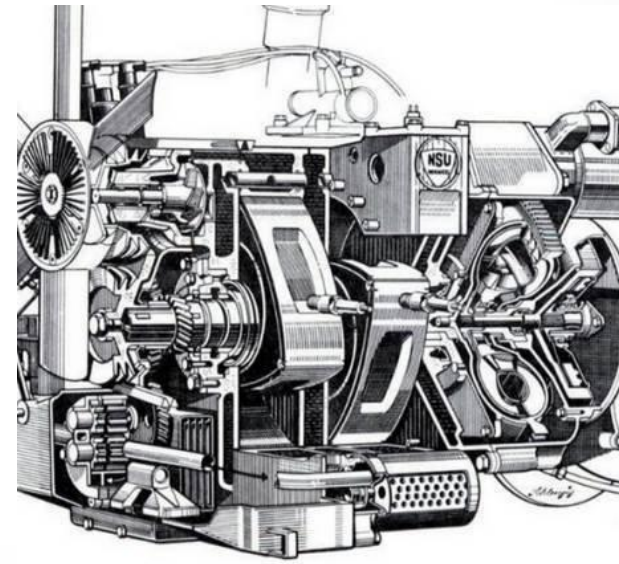
1. Перечислить существующие типы транспортных тепловых машин, указать их достоинства и недостатки.
2. Синтезировать новый тип силовой установки.
3. Провести сравнительный анализ с существующими конструкциями.
4. Сделать выводы о целесообразности и рентабельности применения новой конструкции.

Обзор существующих конструкций тепловых машин, получивших распространение в транспортной сфере.

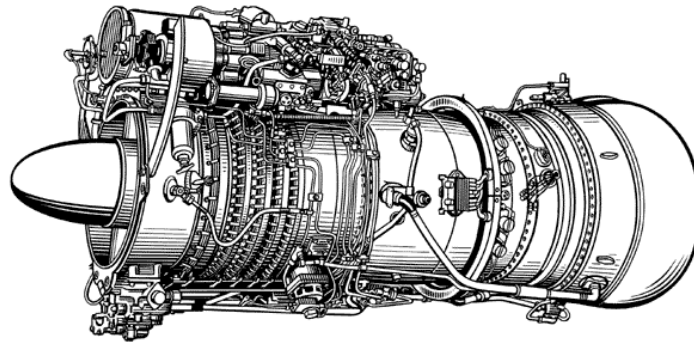
1. Поршневой двигатель внутреннего сгорания.
2. Роторный двигатель внутреннего сгорания.
3. Газотурбинный двигатель внутреннего сгорания.



1



2



3

Поршневой двигатель внутреннего сгорания.

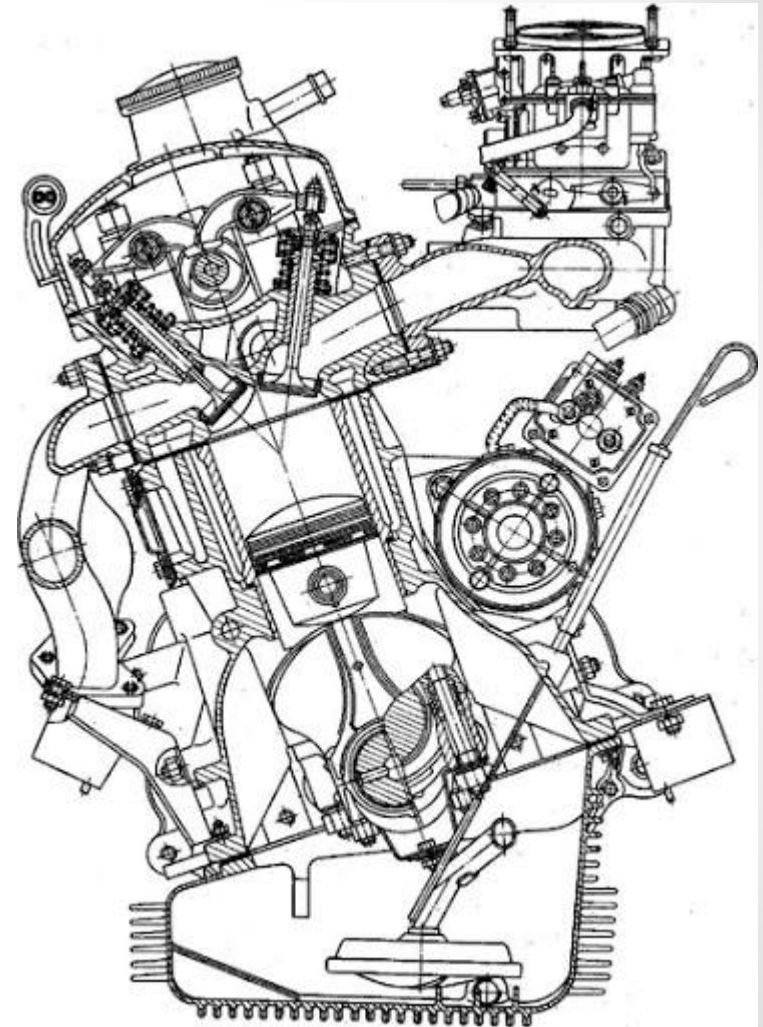
В современном мире наибольшее распространение получили поршневые ДВС.

Достоинства:

1. Простота конструкции
2. Большой ресурс
3. Высокая ремонтопригодность
4. Высокая надежность
5. Хорошая экологичность.
6. Низкая себестоимость.

Недостатки:

1. Низкая удельная мощность
2. Большой вес
3. Большие габариты
4. Плохая масштабируемость
5. Низкие показатели топливной эффективности
6. Низкий потенциал по увеличению объёма и мощности.



Роторный двигатель внутреннего сгорания.

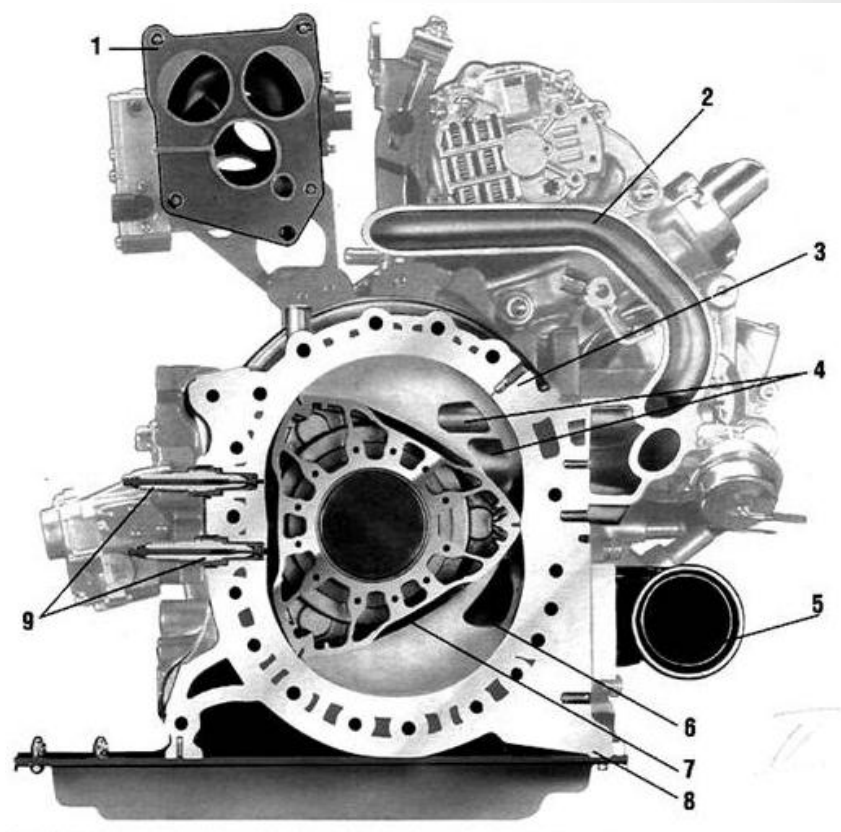
На данный момент от использования РПД как силовой установки практически полностью отказались.

Достоинства:

1. Высокая удельная мощность
2. Малый вес.
3. Простота конструкции.
4. Хорошая масштабируемость.
5. Низкая себестоимость.
6. Высокий потенциал по увеличению объёма и мощности.

Недостатки:

1. Маленький ресурс
2. Низкая ремонтопригодность
3. Низкая надежность
4. Большие габариты
5. Плохая экологичность
6. Низкие показатели топливной эффективности



Газотурбинный двигатель внутреннего сгорания.

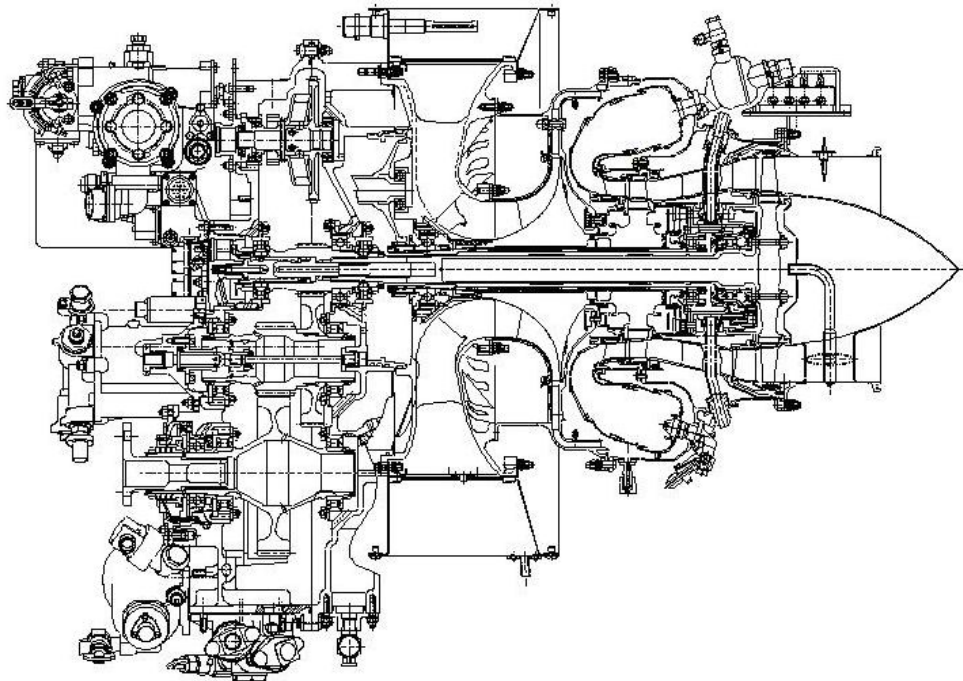
ГТД нашел широкое применение в крупных энергоустановках большой мощности.

Достоинства:

1. Высокая удельная мощность
2. Малый вес.
3. Малые габариты.
4. Высокая надежность
5. Хорошая масштабируемость.
6. Высокий потенциал по увеличению объёма и мощности.

Недостатки:

1. Маленький ресурс
2. Сложность конструкции
3. Низкая ремонтопригодность
4. Плохая экологичность
5. Низкие показатели топливной эффективности для ГТД малых размеров, хорошая топливная эффективность у крупных ГТД
6. Высокая себестоимость.

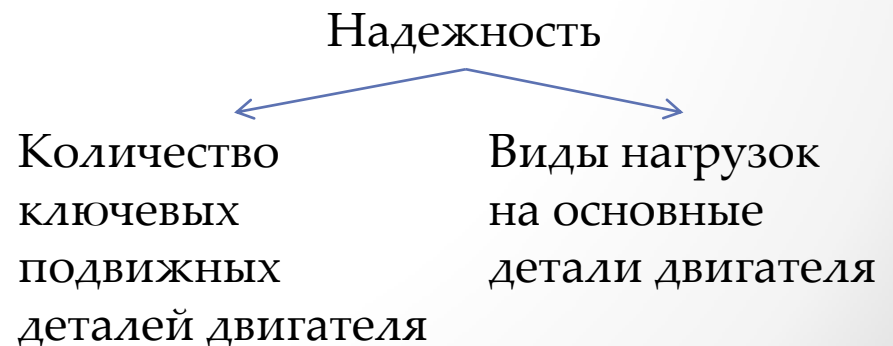
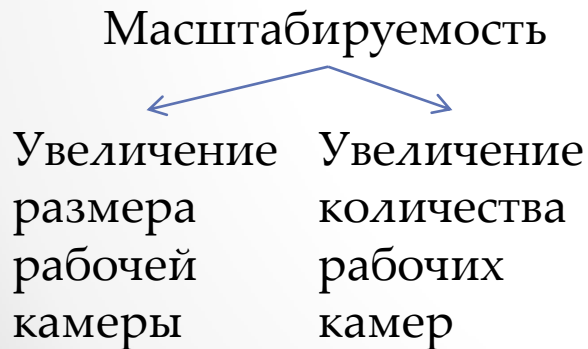
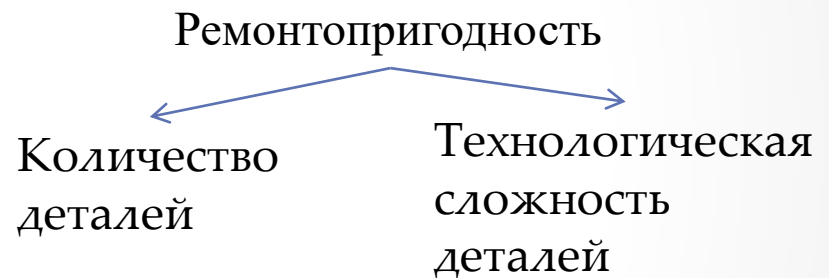


Синтез нового типа силовой установки.

Основные критерии:

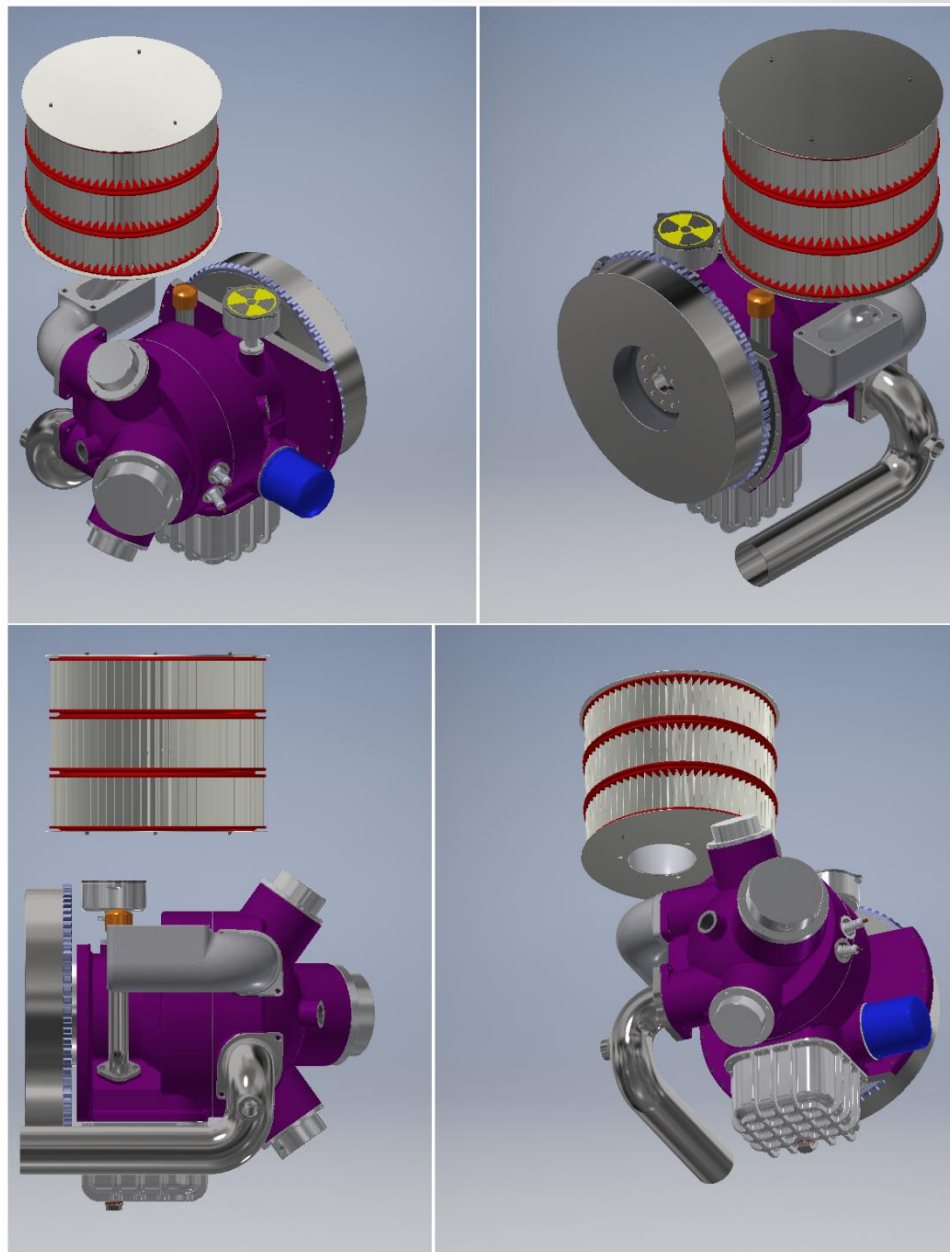
Новая конструкция должна сочетать достоинства уже имеющихся агрегатов: высокая удельная мощность, малый вес и габариты, высокая надежность, хорошая масштабируемость, высокая ремонтопригодность, большой потенциал по увеличению объёма и мощности, и исключать следующие недостатки: плохая экологичность, низкие показатели топливной эффективности, высокая себестоимость.

Рассмотрим подробнее эти критерии.



Сферический двигатель внутреннего сгорания.

Рассмотрим более подробно устройство и принцип работы предложенной силовой установки, а также выделим ключевые особенности и отличия от уже существующих конструкций, определим области ее возможного применения.



Конструкция сферического двигателя.

Двигатель внутреннего сгорания содержит неподвижный разъемный корпус состоящий из блока (1) и головки блока (2). В головке блока установлен сектор (3), содержащий две камеры сгорания (7).

В блоке установлен шаровой пояс (4), разделяющий внутреннюю сферическую камеру двигателя на 3 необщающиеся части: 2 рабочие камеры переменного объёма (8) и картер двигателя. Шаровой пояс (4) совершает сложное движение, состоящее из нутационного и вращательного движений, из-за чего угол между поясом и сектором постоянно изменяется по гармоническому закону в заданных пределах.

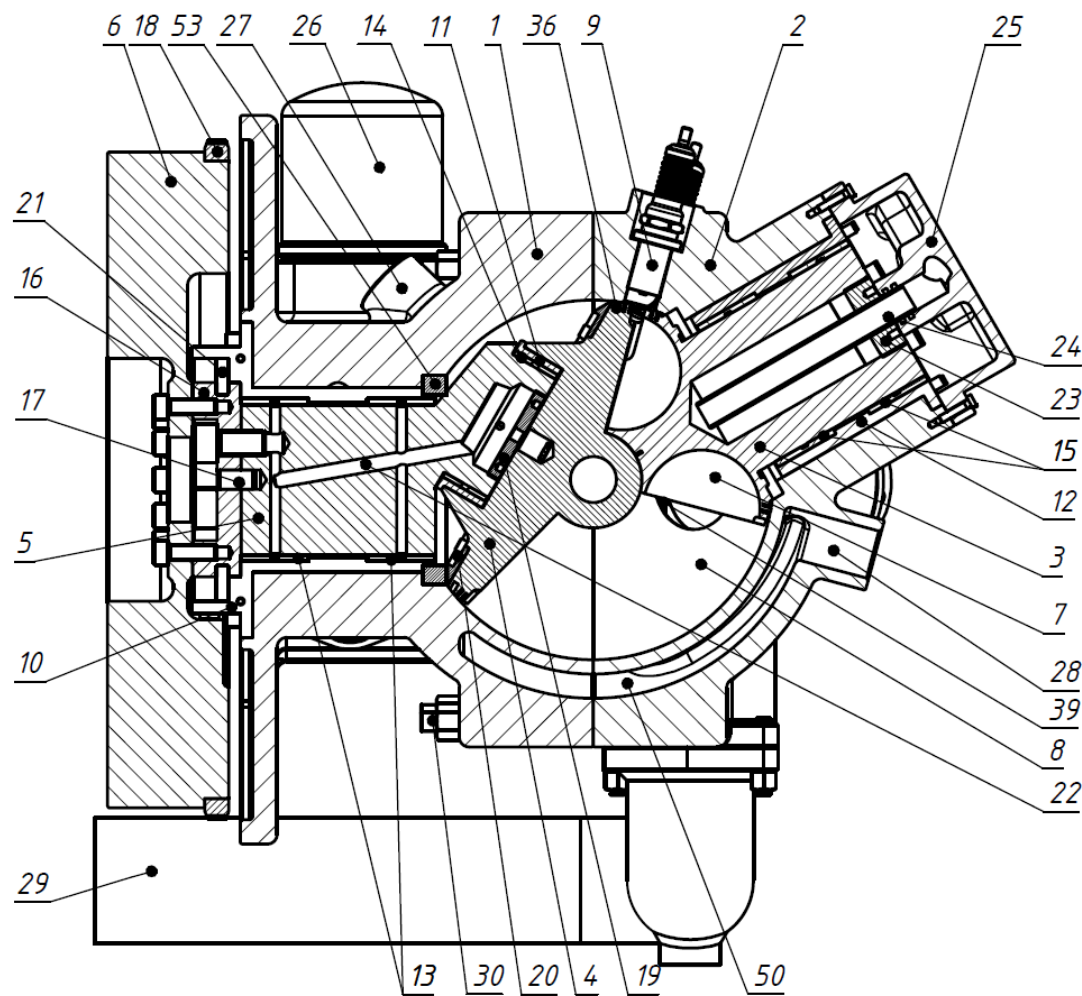


Рис. 1 Силовой механизм продольное сечение

Выходным звеном, с которого снимается мощность, является коленчатый вал (5), расположенный в блоке.

Для компенсации пульсации крутящего момента на коленчатом валу установлен маховик (6).

Данный механизм имеет мертвое положение, для прохождения которого применяется механизм синхронизации фрикционного типа.

Данный механизм создает точку опоры, опираясь на которую пояс, за счет собственной инерции, проходит мертвое положение.

В головке блока размещен газораспределительный механизм (38).

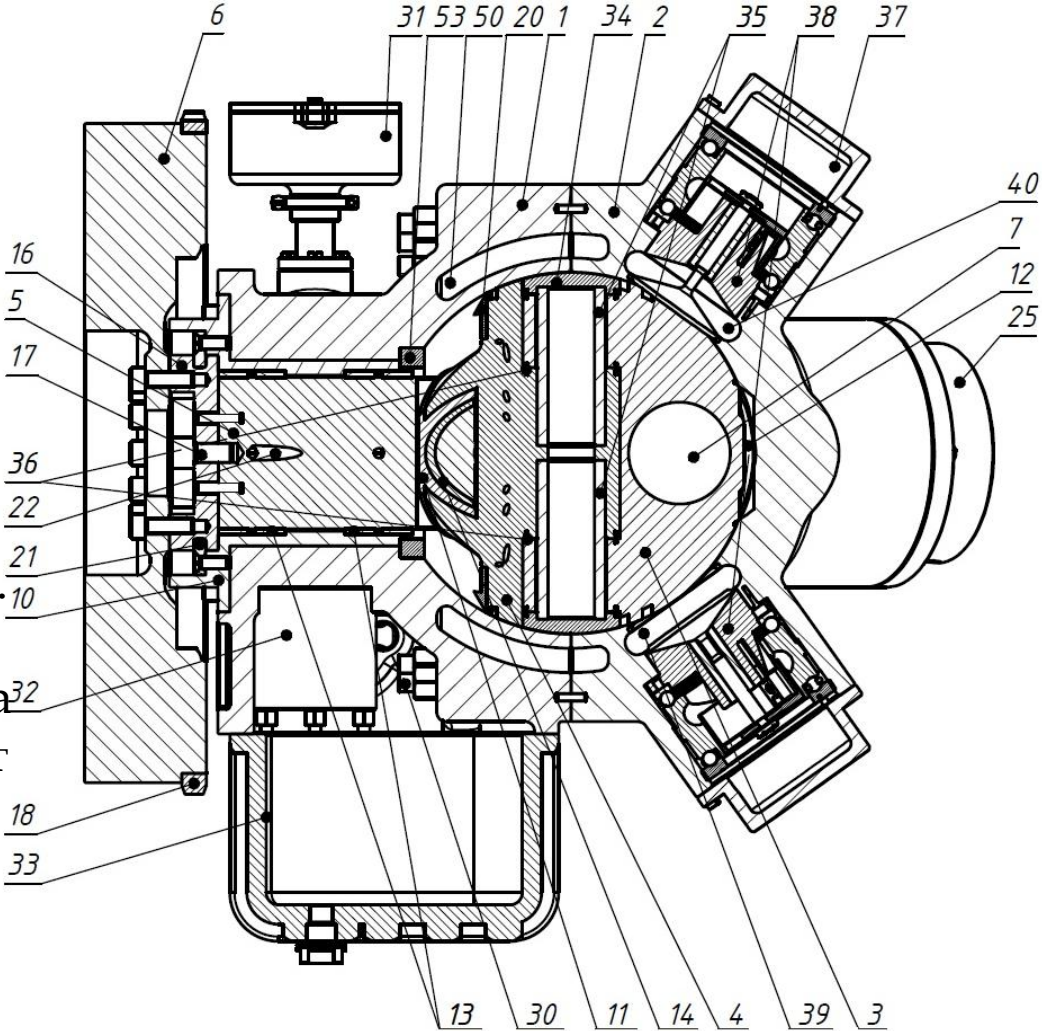


Рис.2 Силовой механизм продольное сечение

Кинематика силового механизма.

Ось OB совпадает с осью шейки коленчатого вала крепящегося к поясу, ось OW совпадает с осью коренной шейки коленчатого вала крепящегося к блоку двигателя. Ось OZ совпадает с осью шейки сектора крепящегося в головке блока. Ось ON представляет перпендикуляр к оси OB , ось OM представляет перпендикуляр к оси OZ . Оси OM и ON образуют плоскость Π_2 являющаяся плоскостью в которой лежит пояс, задавая таким образом его положение в пространстве. Следует отметить что когда оси OB и OZ совпадают оси OM и ON также совпадают плоскость Π_2 вырождается, а нормаль $n(OBN)$ условно совпадает с плоскостью Π_2 и перпендикулярна прямой ZOB но это однозначно не определяет ее положение в пространстве, данное положение соответствует мертвому положению механизма. Плоскости Π_1 соответствует плоскость сектора проходящая через оси пальцев и ось сектора. Плоскости Π_3 соответствует плоскость пояса проходящая через оси пальцев и ось подшипника коленчатого вала. Плоскости Π_4 соответствует плоскость пояса проходящая перпендикулярно осям пальцев и содержит ось подшипника коленчатого вала. Угол B это угол между шейками коленчатого вала. Угол A это угол между поясом и сектором.

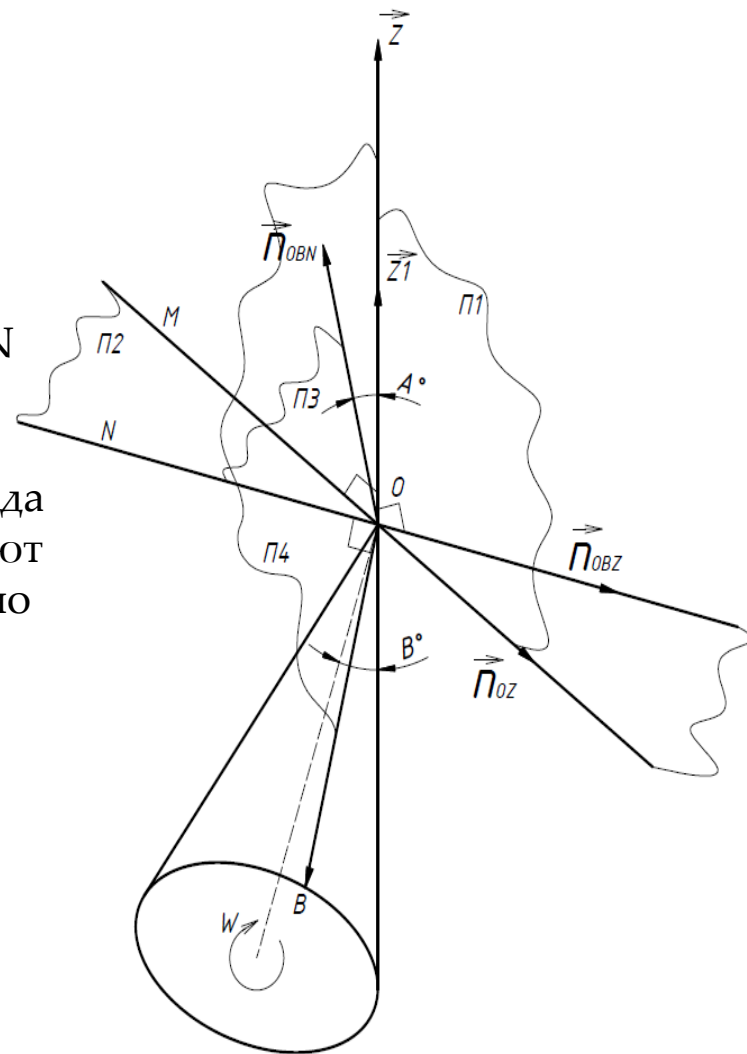


Рис.3 Геометрическая модель
силового механизма.

Газораспределительный механизма.

Газораспределительный механизм десмодромного типа отличается от аналогичных тем, что угловая скорость барабана (52)- переменная величина, изменяющаяся по гармоническому закону, средняя скорость которого равна $2/5$ угловой скорости коленчатого вала. Барабан кинематически связан с сектором при помощи зубчатой передачи, таким образом, закон изменения угловой скорости сектора накладывается на закон движения барабана. Движение клапану (44) передается от толкателя (48), установленного внутри барабана. Толкатель связан с барабаном посредством ролика, катящегося в профилированной канавке, выполненной на внутренней поверхности барабана. От осевого вращения толкатель удерживает паз, выполненный в крышке клапана (45).

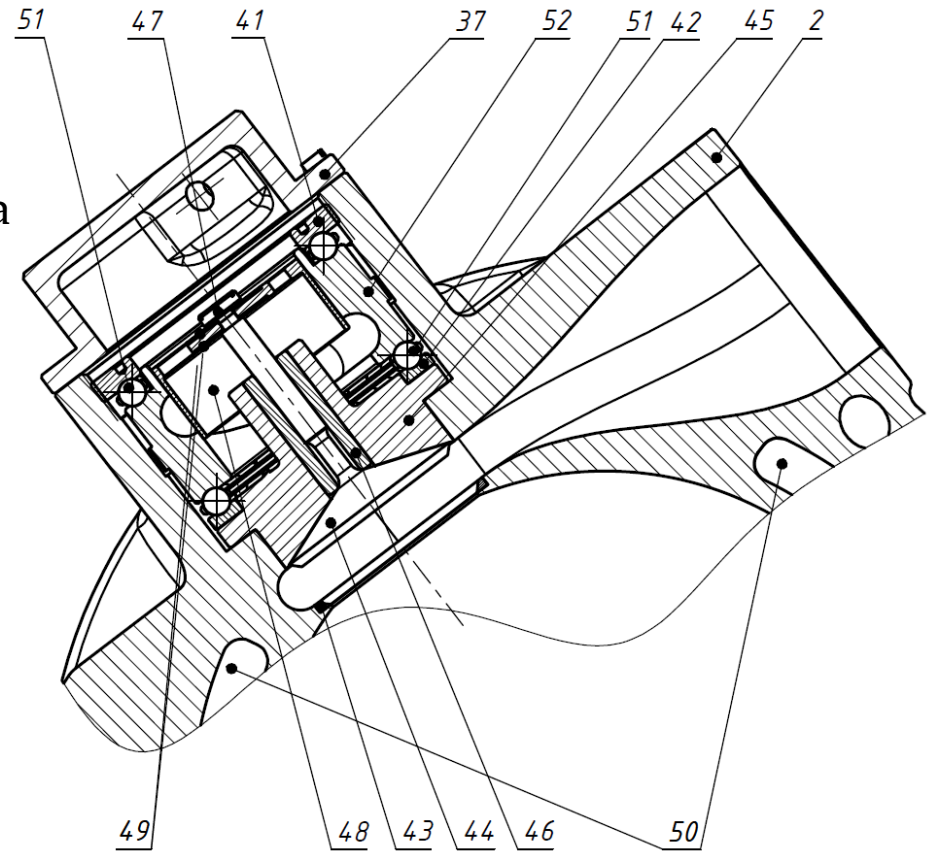


Рис.4 Газораспределительный механизм сечение по оси выпускного канала

Десмодромный газораспределительный механизм позволяет выдерживать на порядок более высокие обороты и сохранять фазы газораспределения при любых оборотах двигателя, что обеспечивает стабильность характеристик двигателя и большее термодинамическое качество цикла, а также позволяет существенно увеличить время-сечение клапана. Это достигается за счет изменения характеристики подъёма клапана, представляющего собой разрывную функцию, из-за того что впуск и выпуск осуществляется непосредственно одной камеры за другой, клапана открываются в одной камере, а закрываются уже в другой, разрывность образуется из-за того, что для каждой камеры часть газообмена обусловлена положением клапана, а часть-положением сектора и пояса, которые пересекая седла клапанов (43) в головке блока, также принимают участие в управлении газообменом.

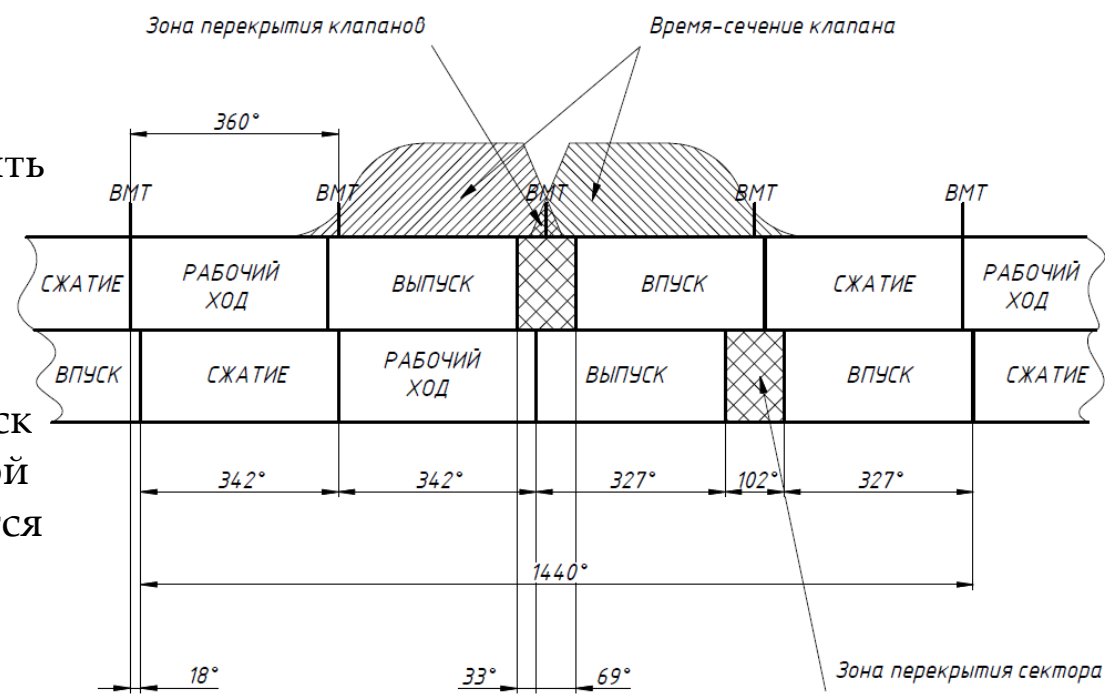


Рис.5 Диаграмма газораспределения сферического двигателя.

Рабочий процесс в двигателе.

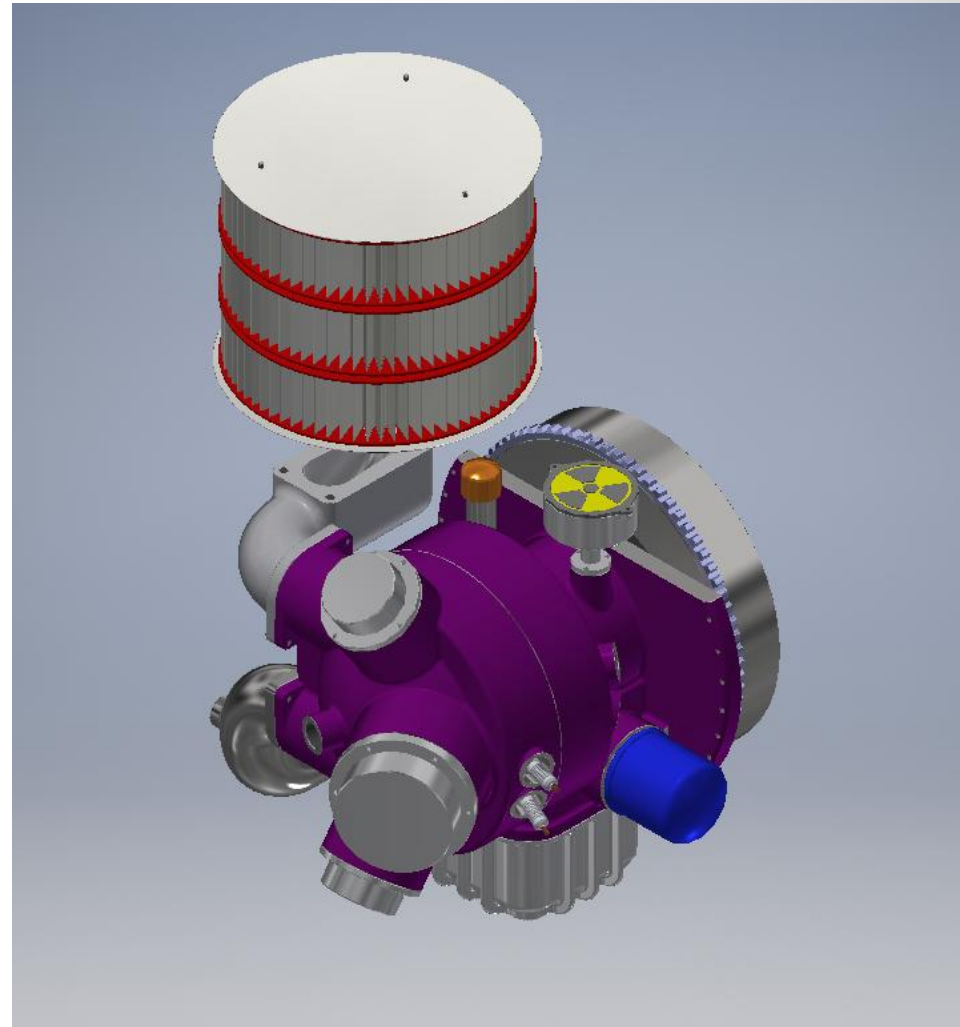
Работа сферического двигателя внутреннего сгорания по циклу Отто:

1. Такт впуска: угол между шаровым поясом и сектором растёт, и топливно-воздушная смесь засасывается в двигатель.

2. Сжатие заряда: после прохождения мертвого положения, угол начинает уменьшаться, и топливно-воздушная смесь сжимается до минимального объёма вплоть до момента воспламенения.

3. Рабочий ход: происходит горение с расширением газа за счет роста угла между шаровым поясом и сектором.

4. Такт выпуска: в момент достижения максимального объёма отработанные газы выводятся из двигателя через выпускной клапан.



Термодинамическая эффективность.

Из законов термодинамики известно, что потери тепла происходят от контакта рабочего тела с поверхностью пропорционально её площади, а снижение температуры зависит от объёма газа. Для снижения потерь необходимо увеличить отношение объёма газа к площади поверхности занимаемым этим объёмом. Из геометрии известно, что данное отношение минимально именно для шара. В сравнении с двухцилиндровым двигателем, выполненным по схеме квадрат, сферический двигатель имеет в 1.12 раз меньшую площадь поверхности, а в сравнении с четырехцилиндровым двигателем, выполненным по схеме квадрат, в 1.26 раза меньшую площадь поверхности при равном объёме.

Также следует отметить, что кинематическая передаточная функция в окрестности положения, соответствующего минимальному объёму, более пологая, чем у поршневых ДВС, что дает больше времени для горения ТВС, улучшая полноту сгорания.

Герметизация рабочих камер и система уплотнения сферического двигателя.

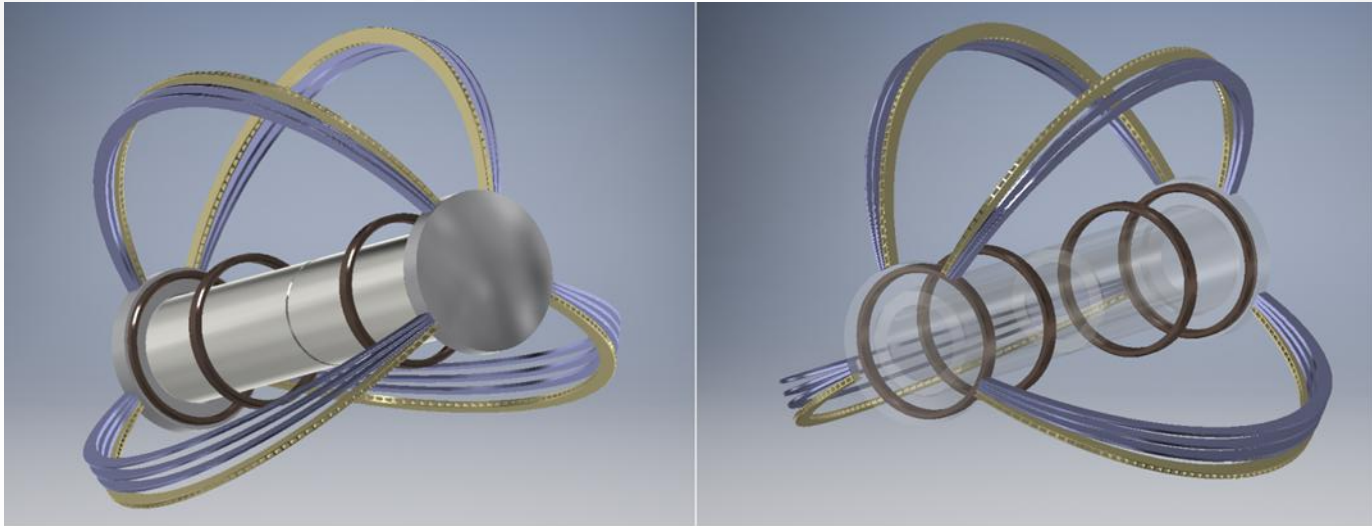


Рис.6 Аксонометрическое изображение системы уплотнения

Герметизация рабочих камер происходит за счет системы уплотнительных колец, установленных в секторе и поясе, и колпачков пальцев (34), герметизирующих зазор в сочленении поясного пальца (35) с рабочей поверхностью и головкой блока. Избытки масла с поверхности рабочих камер удаляются за счет маслосъемного кольца, установленного на поясе и отводящего масло в картер двигателя.

Обоснование ресурса двигателя.

Шаровой пояс и сектор не оказывают силового воздействия на рабочие поверхности и головки блока, вследствие чего их износ происходит только за счет контакта с уплотнительными кольцами - системой уплотнений (36). Кроме того, большой габарит внутренней сферической камеры, по сравнению с поршневым ДВС, делает влияние зазоров менее заметным, позволяя увеличить интервал между капитальными ремонтами двигателя и уменьшить себестоимость ремонта двигателя.

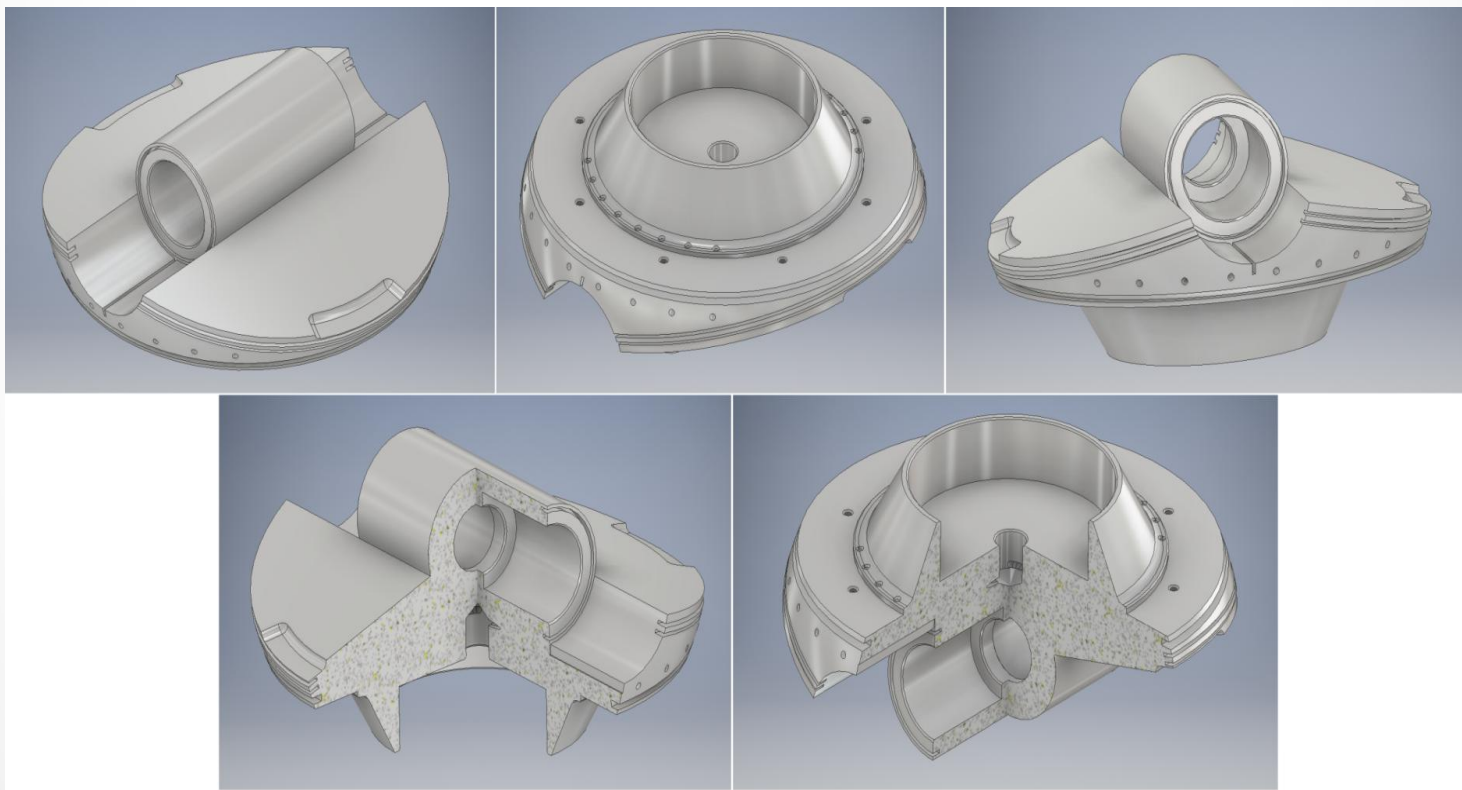
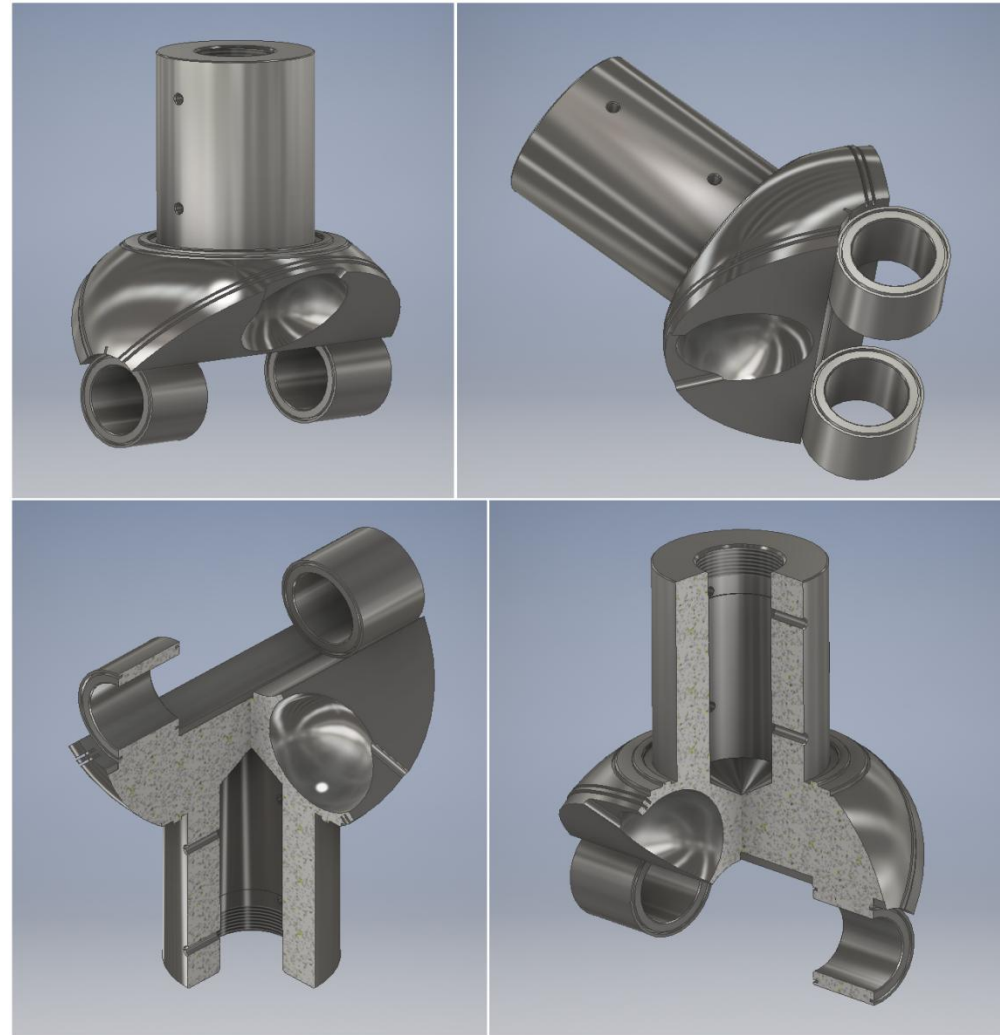


Рис.7 Аксонометрическое изображение и разрез шарового пояса

Особенности силового механизма сферического двигателя.

Механизм сферического двигателя состоит из сектора, шарового пояса, коленчатого вала и механизма синхронизации. Его особенностью является то, что угловая скорость валов двигателя отличается не только на величину пульсации угловой, но и на величину передаточного отношения равную 2. Данная величина не зависит от параметров двигателя и является фиксированной. За счет того, что средняя угловая скорость сектора в 2 раза меньше, чем скорость коленчатого вала, инерционная составляющая сектора в меньшей мере влияет на пульсацию крутящего момента.



Фиг.7 аксонометрическое изображение и разрез сектора

Силовой механизм данного типа достаточно сложен в уравнивании, но может работать как с балансировочными валами, так и без них. В отличие от КШМ, он не имеет возвратно-поступательно движущихся масс, что существенно снижает инерционные нагрузки на подшипники коленчатого вала и сектора, а также является предпосылкой к большим максимальным оборотам двигателя и снижению потерь на преодоление инерционных сил, возникающих в двигателе.

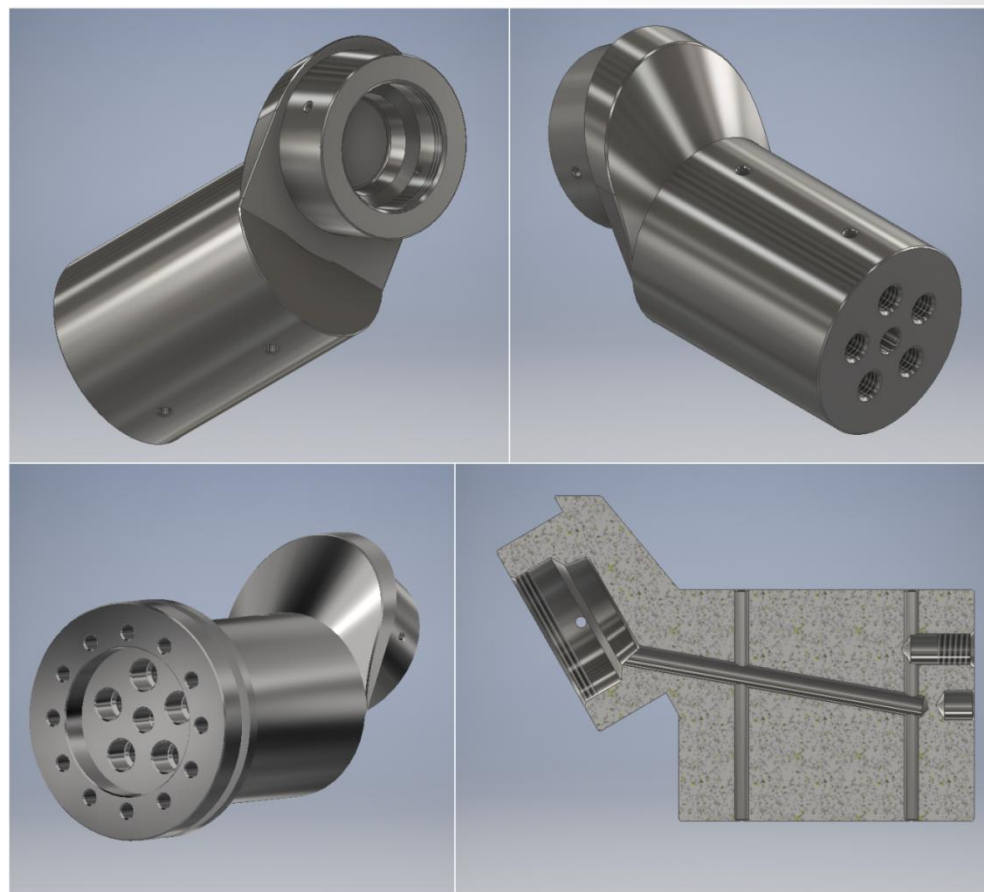
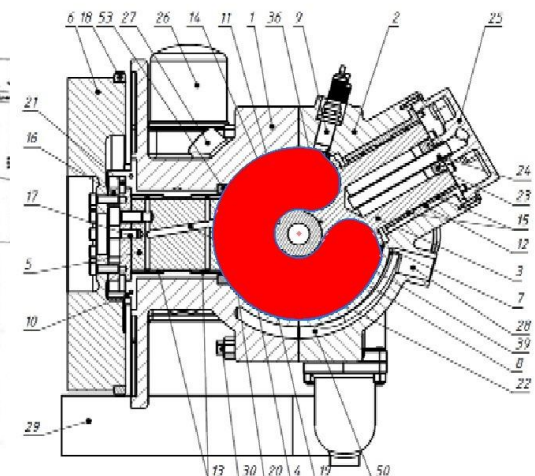
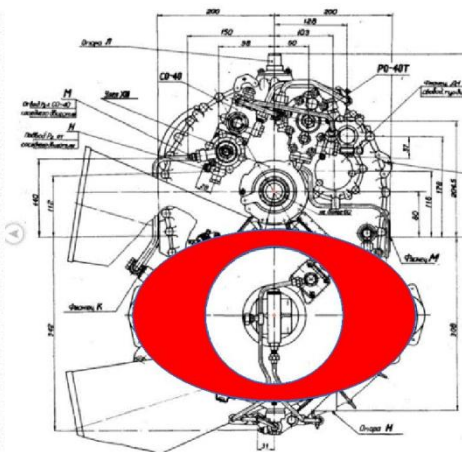
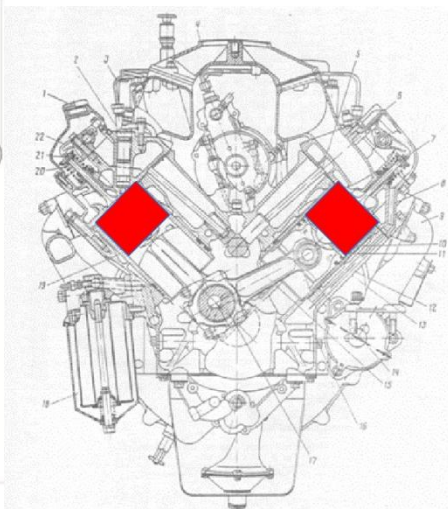
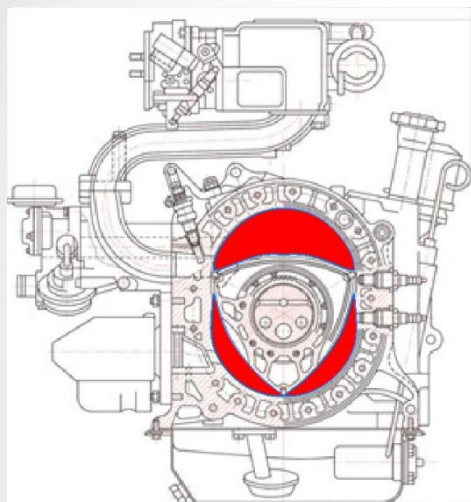


Рис.8 Аксонометрическое изображение и разрез коленчатого вала

Сравнительный анализ с существующими конструкциями.

Удельная мощность.

Объёмная удельная мощность-наиболее важный показатель, потому что определяющим фактором в большинстве транспортных систем является плотность компоновки, так как даже при меньшей весовой мощности предпочтение отдается более компактным агрегатам.

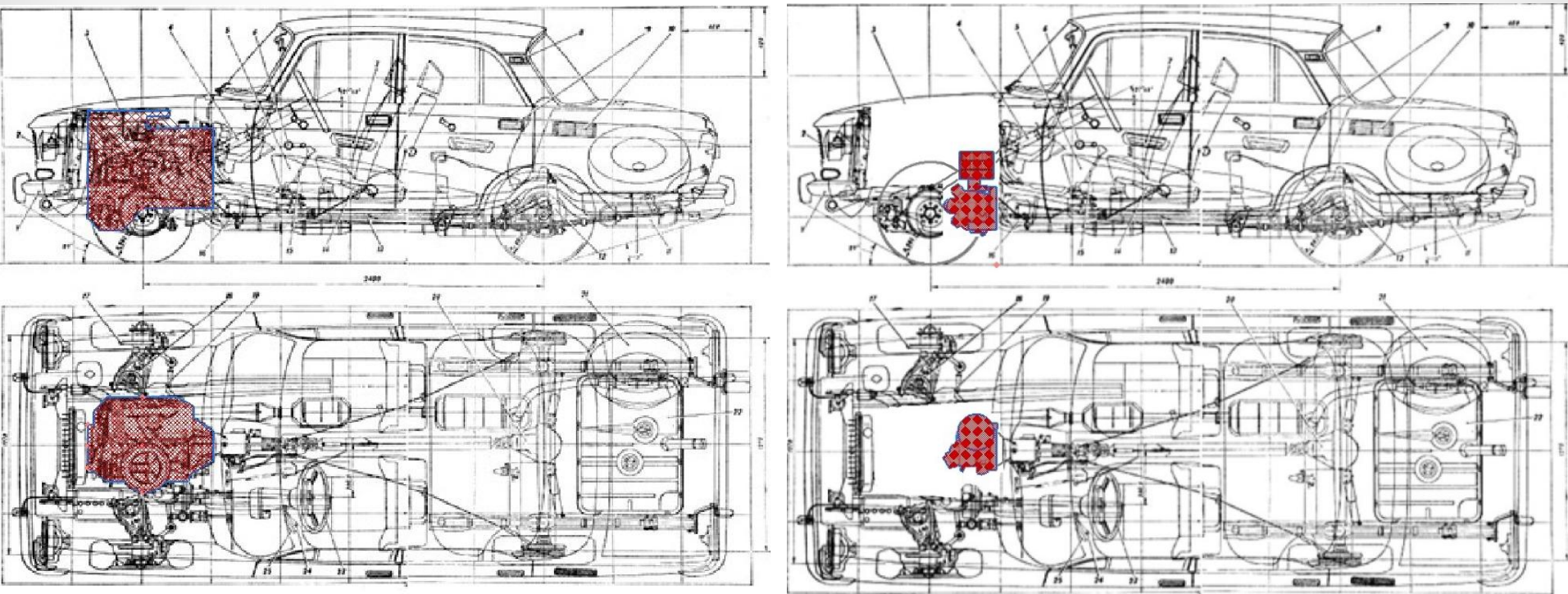


Красным цветом обозначены рабочие камеры двигателей, в которых непосредственно циркулирует рабочее тело (размеры двигателей не пропорциональны друг другу)

Сравнительный анализ с существующими конструкциями.

Габаритная и весовая удельная мощность.

Для наглядной демонстрации габаритной и весовой удельной мощности сравним, как данный агрегат будет выглядеть на практике в реальном масштабе в сопоставлении с поршневым ДВС



Следует отметить, что оба агрегата выполнены на одном технологическом уровне и используют схожее навесное оборудование.

Сравнение ТТХ силовых установок.

Характеристика	УЗАМ 412	Сферический двигатель
Мощность	75л.с. (потенциал 130л.с.)	160л.с.
Максимальные обороты	5800об/мин. (потенциал 7000об/мин.)	14700об/мин
Рабочий объём	1,5л.	0,9л.
Степень сжатия	8,8 (потенциал 10.5)	13
Масса	114кг.	70кг.
Диапазон эксплуатационных оборотов	1700-4000об/мин. (2.35)	3000-12000об/мин. (4)
Количество подвижных деталей	9 (поршни, шатуны коленчатый вал)	3 (пояс, сектор, коленчатый вал)
Количество клапанов	8	2
Система питания	Карбюратор	Карбюратор
Система зажигания	Искровая	Искровая
Марка используемого топлива	АИ-92	АИ-95

Несмотря на то, что двигатель УЗАМ имеет весьма прогрессивную конструкцию (полусферическую камеру сгорания и алюминиевый блок цилиндров), он проигрывает как по массе, так и по габаритам и по мощности выполненному из чугуна сферическому двигателю.

Сравнительный анализ с существующими конструкциями.

Масштабируемость.

Увеличение размера рабочей камеры.

Сферический двигатель имеет хорошие предпосылки к увеличению объёма рабочей камеры, как и газовые турбины, в отличие от роторного и поршневого двигателя



Увеличение количества рабочих камер.

Увеличение количества рабочих камер крайне затруднительная техническая задача для сферического двигателя и газовой турбины, однако не представляет сложности для роторных и поршневых агрегатов.



Рис.9 Блок и головка блока двигателей

Сравнительный анализ с существующими конструкциями.

Критерий	Поршневой двигатель	Роторный двигатель	Газотурбинный двигатель	Сферический двигатель
Ремонтопригодность				
Количество деталей	-	+	-	+
Технологическая сложность деталей	+	-	-	-
Необходимость применения дорогих металлов и сплавов	+	+	-	+
Металлоемкость двигателя	-	+	+	+
Надежность				
Количество ключевых подвижных деталей двигателя	-	+	+	+
Интенсивность нагрузок на основные детали двигателя.	+	-	-	+
Интенсивность теплового воздействия на детали двигателя	+	-	-	+

Результаты.

Сферический двигатель внутреннего сгорания может занять нишу между газотурбинными установками, теряющими свои преимущества с уменьшением размера, и поршневыми агрегатами, теряющими свои преимущества при увеличении мощности. Он обладает большей надежностью, чем роторный двигатель, которому в свое время пророчили полностью вытеснить поршневые агрегаты. К сожалению, попытки установки на транспортные машины роторных и газотурбинных силовых установок в большинстве своем не увенчались успехом, при этом достойной альтернативы поршневым двигателям на данный момент нет. Сферический двигатель внутреннего сгорания не только может конкурировать с поршневыми агрегатами по экономичности, экологичности, надежности и моторесурсу, но и превосходит их по следующим параметрам: мощность, компактность, масса агрегата и тд.

