

# **СОЗДАНИЕ ВЫСОКОЭКОНОМИЧНОГО, ПОЛНОСТЬЮ УРАВНОВЕШЕННОГО ПОРШНЕВОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ, РАБОТАЮЩЕГО НА ТОПЛИВЕ ПРЕДНАЗНАЧЕННОМ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**МИЛЛЕР А.О. ГУАП (ООО «ПАС»)**

1. Разработаны и испытаны ряд принципиально новых двигателей внутреннего сгорания.
2. Получены положительные результаты испытаний, подтверждающие перспективность новых двигателей.
3. На основе полученных результатов возможно создание высокоэффективных отечественных поршневых двигателей различного назначения.

## **1. Введение**

В новых двигателях реализовано два достижения отечественной науки и техники:

1. Новый рабочий процесс (РП), в котором передовая концепция сгорания топлива обеспечивает сгорание низкооктановых топлив при высокой степени сжатия с высокой экономической и экологической эффективностью и качественное (как и в дизеле) регулирование мощности при искровом зажигании заряда.

2. Бесшатунный силовой механизм с симметричным коленчатым валом.

Использование бесшатунного силового механизма (БСМ) вместо традиционного кривошипно-шатунного механизма (КШМ), позволяет, в сравнении с КШМ, на 6 - 10% повысить механический КПД, увеличить моторесурс цилинд्रो-поршневой группы и обеспечить полную уравновешенность сил инерции при любом числе цилиндров. Полная уравновешенность предлагаемого двигателя обеспечивает низкий уровень вибраций и шума силовой установки любого назначения.

Новые технические решения могут использоваться как вместе ( в одной конструкции) так и отдельно.

Результатом реализации предлагаемого проекта является создание полностью уравновешенного российского авиационного поршневого двигателя (АПД), работающего на топливе предназначенном для авиационных газотурбинных двигателей и автомобильном бензине с максимальным уровнем локализации и передовыми характеристиками.

Для разработки нового АПД могут быть использованы конструкторско-технологический опыт созданных новых двигателей:

для нового двухтактного АПД - двигателя 2Д200; АИК – 9

для нового четырехтактного АПД – двигателя ДНБ – 4, Каспий – 65.

## 2. Варианты конструктивного исполнения:

1. Новый двухтактный АПД – **ДДБА – 1100** (двухтактный, двухконтурный, бесшатунный, авиационный)

В настоящий момент, в нашей стране на ОАО «Русская механика» ведется производство гаммы двухцилиндровых двухтактных двигателей по лицензии фирмы **Ротакс**. Таким образом, имеется возможность использования деталей традиционных бензиновых двигателей данной размерности и их комплектующих для создания и серийного производства авиационного двигателя, работающего по новому рабочему процессу, на авиационном керосине (низкооктановом топливе).

Проектные технические данные нового АПД:

Число тактов/цилиндров	2/4	2/4
Диаметр цилиндра/ход поршня, мм	72 /61	76/61
Рабочий объем, см куб.	994	1106
Степень сжатия,	12	12
Максимальная мощность, кВт (л. с.) при 6500 об/мин	92.28(120)	98,2 (133,5)
Удельный расход топлива, г/л. с. ч.	200	200
Система смазки	раздельная	
Система пуска (электростартер)	есть	
Система охлаждения	жидкостная	
Система питания	Карбюратор, инжекторный или непосредственный впрыск	
Топливо	АИ-92, ТС – 1 (авиационный керосин)	
Масса, кг.	65	72

2. Новый четырехтактный АПД: **ДБА – 2900** (двухконтурный, бесшатунный, авиационный) - четырехцилиндровый, четырехтактный, рядный АПД, с полностью жидкостным охлаждением;

1. Рабочий объем, л. – 2,89(D/S – 10,0/9,2)

2. Степень сжатия – 11,5

3. Мощность максимальная на 4100 об/мин, л. с.- 122

4. Мощность крейсерская на 2900 об/мин, л. с.- 86

5. Литровая мощность, л. с./л.- 42,2

6. Удельный расход топлива, г/ л. с. ч. – 170 (бензин)

7. Масса, кг. – 90

8. Удельная масса, кг/л. с. – 0,74

Двигатель предназначен для ВС АОН, БПЛА, катеров и наземных ТС.

Возможны другие варианты конструктивного исполнения нового АПД.



### 3. Проблема, на решение которой направлен проект:

Авиационный поршневой двигатель (АПД) должен соответствовать большому количеству требований, предъявляемых к авиационной технике.

Существует ряд требований, которым современные АПД удовлетворить не могут:

**1.Многотопливность**, то есть способность эффективной работы на доступных, в том числе низкооктановых топливах. АПД работают только на высокооктановых авиационном (этилированном бензине 100 LL) и автомобильных бензинах.

Распространенность и относительно невысокая стоимость топлива для авиационных газотурбинных двигателей в местах стоянки и эксплуатации воздушных судов вызывает большой интерес их владельцев к возможности эксплуатации АПД на этом топливе, так как это расширяет географию полетов и снижает стоимость эксплуатации. Данный факт стимулирует разработку и внедрение в авиацию в качестве АПД многотопливных дизельных двигателей.[1]

Однако внедрение в эксплуатацию таких двигателей сталкивается с большим количеством проблем. Самый сложный и точный агрегат дизеля - топливный насос высокого давления – смазывается маслянистыми фракциями дизельного топлива от которых авиационный керосин очищен. Поэтому в такое топливо необходимо добавлять специальную смазывающую присадку.

Кроме этого, высокая степень сжатия дизеля приводит к увеличению массы двигателя, по сравнению с двигателями с искровым зажиганием, а его рабочий процесс не позволяет работать на более богатой смеси, чем с  $\alpha = 1,4$ , что приводит к меньшей литровой мощности дизеля. Повышается уровень вибраций и шума.

Наиболее совершенный в настоящее время авиационный дизель SR305, показал в условиях эксплуатации на **Сессне** 182 массовый расход топлива только на 8% меньший, чем карбюраторный бензиновый авиадвигатель **Континентал** разработанный 50 лет назад.

В случае применения рабочего процесса двигателя с искровым зажиганием, встает проблема детонационной стойкости авиационного керосина, который не тестируется и не стандартизируется по этому параметру. Поэтому двигатели с искровым зажиганием на таком топливе не могут иметь высокую степень сжатия и, следовательно, высокие топливную экономичность и литровую мощность.

**2. Ресурс АПД** в среднем не превышает 2000 моточасов.

**3. Уравновешенность АПД.** В самом распространенном диапазоне мощностей от 5 до 140 л. с., как правило, применяются АПД с числом цилиндров до 4 включительно, и даже оппозитный четырехцилиндровый двигатель традиционной схемы не является полностью динамически уравновешенным. При этом отсутствие вибраций играет важную роль для нормальной работы чувствительной аппаратуры особенно на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА).

Для уменьшения уровней вибраций ДВС иногда применяются уравнивающие механизмы, которые ухудшают массо-габаритные показатели двигателей и увеличивают их стоимость.

Кроме этого, как и ко всем перспективным двигателям к авиационным поршневым двигателям предъявляется ряд основных требований: повышение экономичности, повышение литровой мощности, снижение токсичности отработавших газов (ОГ) и снижение удельной массы.

#### **4. Решение проблемы, в чем заключается инновационность предложения:**

Предлагаемые в данном проекте новые технические решения комплексно решают задачу создания нового АПД, за счет применения новой организации РП и использования БСМ с симметричным коленчатым валом.

Организация нового РП двигателя с искровым зажиганием заключается в применении послойного смесеобразования и сгорания в двух совместно работающих цилиндрах. При этом создаются условия активного направленного воздействия на процессы смесеобразования и сгорания.

Преимущества достигаются совокупностью оптимальных параметров РП:

- степени сжатия  $\epsilon = 11 \dots 12$ ;
- количественно-качественному регулированию заряда, допускающему обеднение смеси на частичных нагрузках до коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 2,5$ .

В этом случае двигатель при высокой степени сжатия ( $\epsilon = 11 \dots 12$ ), нечувствителен к октановому числу топлива и является многотопливным; но в сравнении с дизелем степень сжатия меньше, что существенно облегчает двигатель и увеличивает литровую мощность за счет возможности работы на максимальной мощности с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha \approx 1$ , вместо  $\alpha = 1,4$  у дизеля.

При этом обеспечивается высокая скорость сгорания, отсутствие детонации, догорания смеси на линии расширения и низкая токсичность отработавших газов без применения периферийных дорогих и высокотехнологичных агрегатов и систем.



Дальнейшее повышение эффективного КПД и улучшение других характеристик ДВС возможно за счет снижения величины механических потерь в двигателе.

Но за последние десятилетия на двигателе с кривошипно-шатунным механизмом какой-либо прогресс в этом направлении отсутствует.

Существенно снизить потери на трение, составляющие 60-75% величины механических потерь, по опубликованным данным позволяет использование бесшатунного силового механизма (БСМ). [2]

Использование БСМ в конструкции АПД обеспечивает полную уравновешенность сил и моментов инерции при любом числе цилиндров и меньшую величину мощности механических потерь, что увеличивает ресурс, снижает уровень вибраций и шума, улучшает экономичность двигателя.

Однако, крестообразное расположение цилиндров двигателя Баландина практически исключает использование такого двигателя на наземном транспорте (то есть исключает возможности унификации), а для легкой авиации он так же не всегда подходит, так как сейчас для легкой авиации и БПЛА применяются АПД всех известных схем - рядная, V - образная и оппозитная.

Таким образом, необходимо создание ряда АПД, всех существующих схем, с БСМ, в том числе небольшой мощности с малым числом цилиндров, с максимально возможной унификацией.



В нашей стране были созданы опытные образцы трех проектов двигателей с тремя различными схемами БСМ в которых, в отличие от крестообразной схемы авиационных двигателей С.С. Баландина, был применен симметричный коленчатый вал, а цилиндры расположены в ряд и вертикально, что существенно упрощает установку двигателя на любое транспортное средство и его обслуживание, а так же создание двигателей других схем - оппозитной и т.д.

При изготовлении двигателей использовалось стандартное оборудование отечественных заводов, используемые материалы – традиционные для двигателестроения.

Симметричный коленчатый вал обеспечивает решение проблемы жесткости БСМ, из за устранения неуравновешенного продольного момента, который есть в БСМ двигателя Баландина. **Схема нового БСМ приведена на слайде №10.**

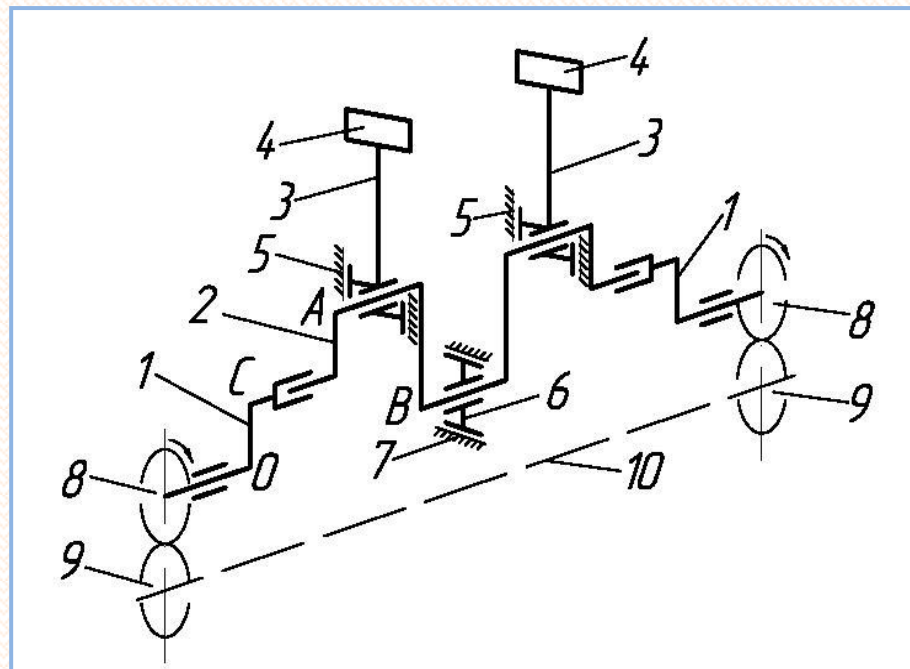
При использовании в конструкции двигателей БСМ с симметричным коленчатым валом, появляется возможность создания полностью уравновешенного поршневого ДВС, в том числе с небольшим числом цилиндров (2 или 4 цилиндра).

Такие двигатели сегодня были бы очень востребованы для беспилотных летательных аппаратов, где отсутствие вибраций играет важную роль для нормальной работы чувствительной аппаратуры.

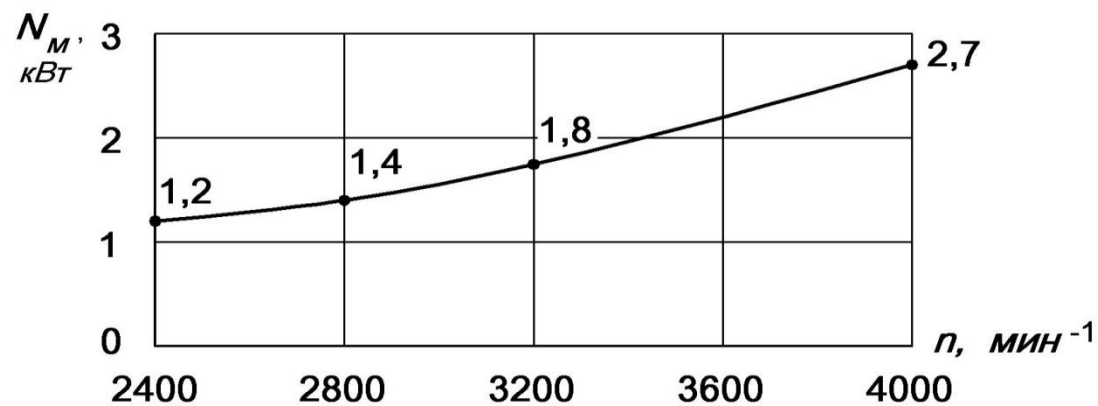
Предлагаемые технические решения прошли опытную проверку на ряде экспериментальных двигателей с положительными результатами.

Параметры созданных опытных образцов двигателей представлены в таблице на слайде №11.

## СХЕМА БСМ С СИММЕТРИЧНЫМ КОЛЕНЧАТЫМ ВАЛОМ



## ХАРАКТЕРИСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ 2Д200



## ПАРАМЕТРЫ СОЗДАННЫХ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

Модель двигателя	ВНИИЗ.101 2-х тактный	Каспий-65 4-х тактный	ДНБ-4 4-х тактный	2Д-200 2-х тактный	ДН-2 4-х тактный	БК-93 4-х тактный	АИК.97 2-х тактный
Число цилиндров	2	4	4	2	2	4	2
Диаметр цилиндров, мм	43	76	76	52	76	76	54
Ход поршня, мм	43	88	76	47	71	76	54
Степень сжатия	13	11,5	11,5	12,5	11,5	11,5	12,5
Мощность, кВт (л.с.)	9,6(13)	47,8(65)	30(40,8)	16,5(22,4)	11(14,9)	59(80)	16,9(23)
Частота вращения, об/мин	7200	4000	3000	6000	3000	5800	6000
Минимальный удельный расход топлива. г/кВт.ч (г/л.с.ч)	354(260)	224(165)	217(160)	270(200)	245(180)	224(165)	340(250)
Масса, кг	13	75	70	18	36	75	18
Силовой механизм	КШМ	БСМ	БСМ	БСМ	КШМ	БСМ	КШМ
Примечание				с впрыски- ванием топлива	с воз- душным Охлажде- нием		
Назначение двигателя	Мотоциклы, ультралегкие летательные аппараты	Спасательн ая шлюпка, катер, привод генератора	Коммуналь ная техника, погрузчики, привод генераторо в	Мотоциклы, ультралегкие летательные аппараты, привод генераторов, лодочные моторы	Мото- блоки	Авто- мобили	Мотоциклы, лодочные моторы, привод генераторов

**5. Описание базовой технологии:** Экономичность ДВС с искровым зажиганием на частичных нагрузках значительно ухудшается в связи с использованием дросселирования (количественного регулирования мощности).

Теоретически целесообразно с уменьшением нагрузки использовать не дросселирование, а обеднение смеси, то есть качественное регулирование. Использование качественного регулирования, в сравнении с дросселированием, обеспечивает повышение экономичности от 0 на полной нагрузке (когда дроссель полностью открыт) до 50% на нагрузках порядка 20% от полной.

Но реализовать эти преимущества возможно при условии, что бедные смеси сгорают так же эффективно, как смесь с  $\alpha \approx 1$ . Учитывая, что рост экономичности возможен на всех нагрузочных режимах, практически любое техническое решение по расслоению смеси может дать эффект в какой – то части нагрузочных режимов. Для реального двигателя этого недостаточно. Необходимо снижение расхода топлива во всем диапазоне частичных нагрузок.

Имеется целый ряд предложений и выполненных конструкций, опытных ДВС ставящих целью расширить пределы качественного регулирования.

Все предложения строятся на основе разделения рабочего заряда по составу (послойного смесеобразования). При этом часть заряда вблизи свечи зажигания, для поддержания высоких скоростей сгорания на частичных нагрузках, должна иметь постоянный (примерно стехиометрический) состав смеси. Другая часть заряда является воздухом. Для осуществления полного и быстрого сгорания целесообразно иметь скачкообразное концентрации топлива при переходе от горящей смеси к воздуху, то есть иметь минимальную толщину пограничного слоя.



На режиме полной нагрузки состав смеси должен быть однородным, без чего неизбежно увеличение расхода топлива или снижение максимальной мощности. В полной мере осуществить процесс сгорания по изложенной рациональной схеме не удастся.

Коррективы в данную схему вносит форкамерно-факельное зажигание реализованное в опытных двигателях ГАЗ – 24Ф, ЗИЛ - 130Ф, ЗМЗ – 53Ф, обеспечивающее высокие скорости сгорания обедненных смесей и расширение пределов качественного регулирования до коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 1,5 - 1,6$  за счет воспламенения бедных смесей факелом горящей богатой смеси из форкамеры двигателя. Но при испытаниях этих двигателей отмечались неустойчивая работа на режиме холостого хода и «провал» характеристик при разгоне автомобиля. Ввиду указанных недостатков, данные двигатели не были внедрены в производство.

Из зарубежных аналогов на сегодняшний день наиболее передовым двигателем является двигатель Mitsubishi GDI с послойным смесеобразованием и непосредственным впрыском топлива. Но при этом существенно усложняется топливная аппаратура и увеличивается ее стоимость, нет многотопливности.

Количество возможных направленных воздействий при организации сгорания в пространстве одного рабочего цилиндра ограничено.

В отечественной разработке (в двигателе В. М. Кушуля), на основе двух совместно работающих цилиндров, пределы качественного регулирования расширяются до  $\alpha = 2,4$ .

Была получена высокая экономичность и низкая токсичность отработавших газов (ОГ) за счет более низкой эмиссии CO и NOx. Но при этом снижается литровая мощность на 15%, а содержание углеводов в ОГ увеличивается в 2 раза. [3]

В предлагаемом проекте проблема расширения пределов качественного регулирования, сгорания обедненных смесей с высокой скоростью и организации завихрения на конечной стадии сгорания решается на основе последовательного воспламенения зарядов в двух совместно работающих цилиндрах, так как здесь более имеются более широкие возможности создания направленных воздействий на процессы сгорания и смесеобразования. В этом случае создаются особые специфические условия протекания рабочего процесса. [4]

Предлагаемые двигатели экономичнее самого экономичного ДВС – дизельного двигателя и могут работать на дизельном топливе с искровым зажиганием.

По расчету эффективный КПД нового четырехтактного двигателя при  $\epsilon = 11$  и  $\alpha = 1,4$  равен 0,383. У дизеля без наддува с неразделенной камерой сгорания при  $\epsilon = 17$  и

$\alpha = 1,4$  эффективный КПД 0,351, т. е. на 9 % ниже из-за больших механических потерь и большей продолжительности сгорания топлива по углу поворота коленчатого вала.

При этом масса дизеля в 1,5 раза и первоначальная стоимость дизеля в 1,3-1,6 раза выше, чем предлагаемого двигателя.

Недостаток нового РП состоит в ухудшении такого параметра динамики двигателя, как «равномерность распределения крутящего момента». Так как на одну вспышку завязано два цилиндра, то двухцилиндровый двигатель с таким РП по равномерности крутящего момента работает как одноцилиндровый; четырехцилиндровый – как двухцилиндровый и т.д.

Это вполне адекватная «цена» за существенное улучшение всех остальных параметров двигателя. Четырехтактные одно и двухцилиндровые традиционные двигатели успешно эксплуатируются на малолитражных автомобилях и БПЛА. Для электрогенераторов и гибридных силовых установок это также не имеет большого значения.

Сочетание нового РП и БСМ в одной конструкции АПД обеспечивает еще более высокие параметры двигателя.

Меньшая равномерность распределения крутящего момента (в 2 раза по сравнению с традиционными двигателями) в значительной степени нивелируется кинематикой БСМ, при которой в момент нахождения поршней в ВМТ горизонтальный ползун (поз. 6 слайд № 10) имеет максимальную мгновенную скорость и следовательно максимальную кинетическую энергию, что способствует уменьшению неравномерности распределения крутящего момента в двух или четырехцилиндровом двигателе.



Согласно опубликованным результатам проведенных исследований, [5] рост экономичности бесшатунного двигателя по сравнению с двигателем с кривошипно-шатунным силовым механизмом складывается из следующих факторов:

1. Синусоидального закона движения поршня – рост на 11%,
2. Меньшей величины механических потерь – рост на 6 - 9%,
3. Возможности увеличения степени сжатия при одном и том же топливе – рост на 10% (Согласно публикации [5] при увеличении степени сжатия до  $\varepsilon = 17$  был получен рост экономичности – на 21%).
4. Изменения в лучшую сторону скорости сгорания и продувки. – рост на 10%.

#### **Конструктивные преимущества двигателя с БСМ:**

1. Уменьшение в 2 раза радиуса кривошипа коленчатого вала (при одинаковом ходе поршня) обеспечивает возможность увеличения перекрытия шеек вала, повышение его жесткости и уменьшения его размеров и массы.
2. В четырехтактных двигателях с БСМ из-за уменьшения высоты поршня размер по оси цилиндра уменьшается на высоту боковой поверхности (тронка) поршня.
3. Из-за меньшей высоты поршня и длины штока (по сравнению с шатуном) снижается масса комплекта поступательнодвигающихся деталей.
4. Боковые усилия с поверхности поршня (тронка) перенесены на ползуны, работающие в условиях гарантированного жидкостного трения и низких температур.
5. Силы и моменты сил инерции первого порядка полностью уравниваются, а силы и моменты второго и следующих порядков отсутствуют из-за равенства радиусов кривошипов и коленчатого вала.



### **Конструктивные недостатки двигателя с БСМ:**

1. В силу встречного движения коленчатого вала и кривошипа вращение в подшипниках сочленения указанных валов происходит с двойной угловой скоростью.
2. Необходимость обязательного наличия в конструкции соединительного вала (кроме эксцентриковой схемы).
3. Необходимость наличия направляющих ползунов в блоке цилиндров и точек циркуляционной смазки ползунов под давлением.

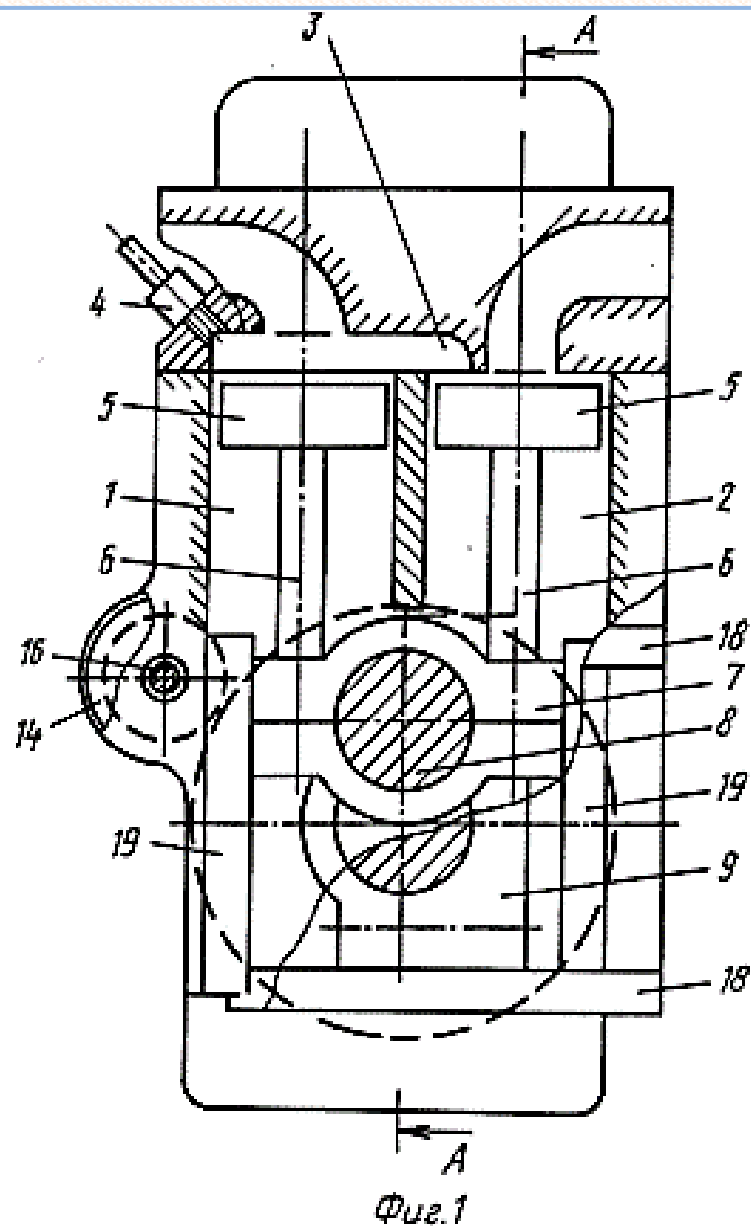
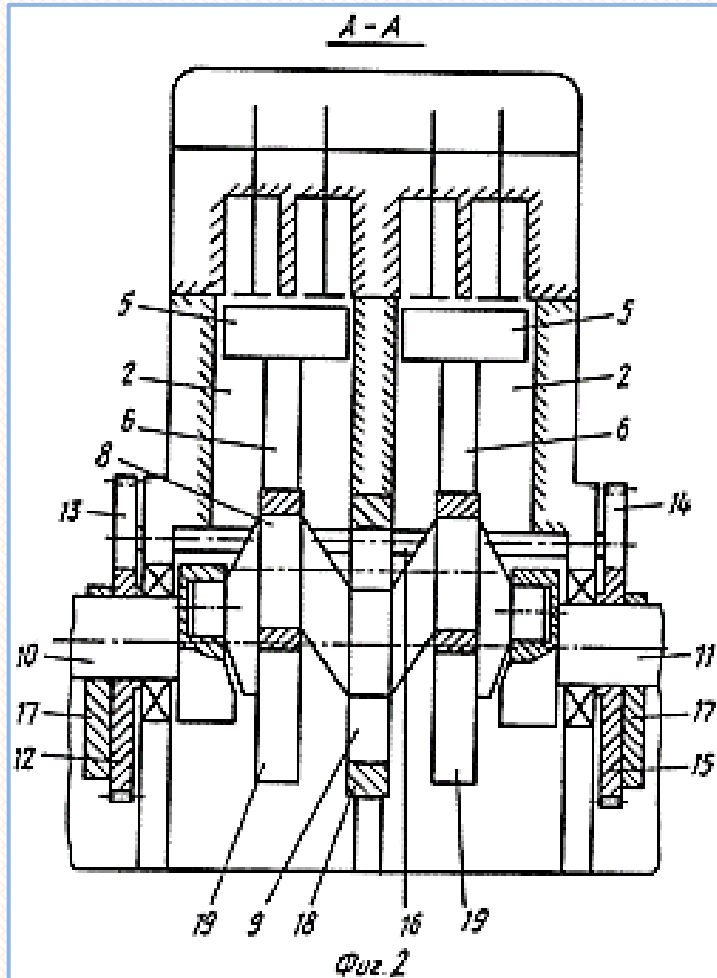
### **Конструктивная сложность и себестоимость изготовления двигателей с БСМ и КШМ сопоставимы по следующим причинам:**

1. Количество деталей силовых механизмов двигателей с БСМ и КШМ сопоставимо.
2. Детали бесшатунного силового механизма проще и меньше по размерам аналогичных деталей кривошипно-шатунного механизма.

Например, коленчатый вал четырехцилиндрового рядного кривошипно-шатунного двигателя имеет 9 шеек (оппозитный авиационный, например Ротакс 912 – 7 шеек). Коленчатый вал четырехцилиндрового рядного бесшатунного двигателя ДНБ – 4 имеет 5 шеек. Кроме коленчатого вала в БСМ так же необходимы еще два кривошипа (плюс 4 шейки) и соединительный вал (плюс 2 шейки и 4 зубчатых колеса). Итого 11 шеек, но при этом бесшатунный силовой механизм полностью уравновешен, а двигатели с КШМ: рядный - не уравновешен по силам инерции второго порядка, а оппозитный имеет неуравновешенный момент. Слайд №18.

При уравнивании рядного четырёхцилиндрового кривошипно-шатунного двигателя по силам инерции второго порядка, в его силовой механизм будет необходимо добавить еще два уравнивающих вала и три зубчатых колеса.

# СХЕМА БЕСШАТУННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДНБ - 4



При этом его силовой механизм станет сопоставимым по сложности и себестоимости производства с аналогичным двигателем с БСМ.

3. Наличие в конструкции БСМ более простых и меньших по размеру деталей (даже при большем их числе) позволяет применять для их производства более доступное и недорогое оборудование, что особенно важно при производстве мелких и средних серий.

4. Так как поршень БСМ не является парой трения, то его форма является телом вращения, и при его производстве нет необходимости обеспечения эллипсного и бочкообразных профилей поршня. При этом так же исключается необходимость доводки данной пары трения при создании нового двигателя.

5. Перенос поверхности трения с тронка поршня на ползуны (в зону с более низкой температурой и с гарантированным жидкостным трением) обеспечивает более стабильные зазоры и гидромеханические характеристики трибосопряжения «ползун – направляющая» при любом тепловом режиме двигателя. При этом облегчается доводка данной пары и всего двигателя при создании нового двигателя.

6. За счет отсутствия трибосопряжения «поршень – цилиндр» достигается значительное снижение расхода масла в направлении камеры сгорания, потерь на сопротивление движения поршня на смазочном слое, а так же уменьшение шума.

7. В двигателе с БСМ обеспечиваются более лучшие условия работы поршневых колец, из за отсутствия колебаний поршня вокруг оси поршневого пальца при переключке поршня в мертвых точках.

8. Ресурс двигателя с БСМ, (который определяется в основном ресурсом трущихся пар механизма) будет выше, чем у аналогичного двигателя с КШМ.

Так как потери на трение, составляют 60-75 % величины механических потерь, (остальные потери в основном насосные или на газообмен), то фиксируемое на испытаниях снижение величины механических потерь может относиться только к потерям на трение. Остальная же доля механических потерь в двигателях с БСМ не снижается, или даже выше, так как сравнение величины мехпотерь опытных образцов БСМ идет с доведенными серийными двигателями.

Снижение потерь на трение в БСМ служит основанием для прогноза существенного увеличения ресурса основных трущихся поверхностей бесшатунного двигателя при прочих равных условиях.

Таким образом улучшаются все потребительские характеристики нового АПД:

1. Крейсерские мощности новых двигателей будут достигаться при эффективном обеднении смеси (без дросселирования) на больших  $\alpha$ , по сравнению с обычными АПД, что (как и большая степень сжатия  $\epsilon = 11,5 - 13$ ) приводит к росту экономичности на 15 - 25%.

2. Силовой механизм нового АПД полностью уравновешен при любом числе цилиндров и обеспечивает большой ресурс и экономичность.

3. Себестоимость изготовления нового двигателя будет сопоставима с себестоимостью изготовления отечественного двигателя с искровым зажиганием (дешевле дизеля).

4. Стоимость владения и эксплуатации нового авиационного двигателя будет существенно ниже стоимости существующих двигателей с искровым зажиганием из за меньшей (более чем в 2 раза) стоимости и большей распространенности авиационного топлива типа ТС – 1, ГОСТ 10227 – 86 (авиакеросина).



## **6. Апробация предложения; история и динамика развития проекта:**

ГУАП и ВНИИмотопром (г. Серпухов) проводили совместное исследование нового рабочего процесса на бензиновом двухцилиндровом двухтактном двигателе с кривошипно – камерной продувкой.

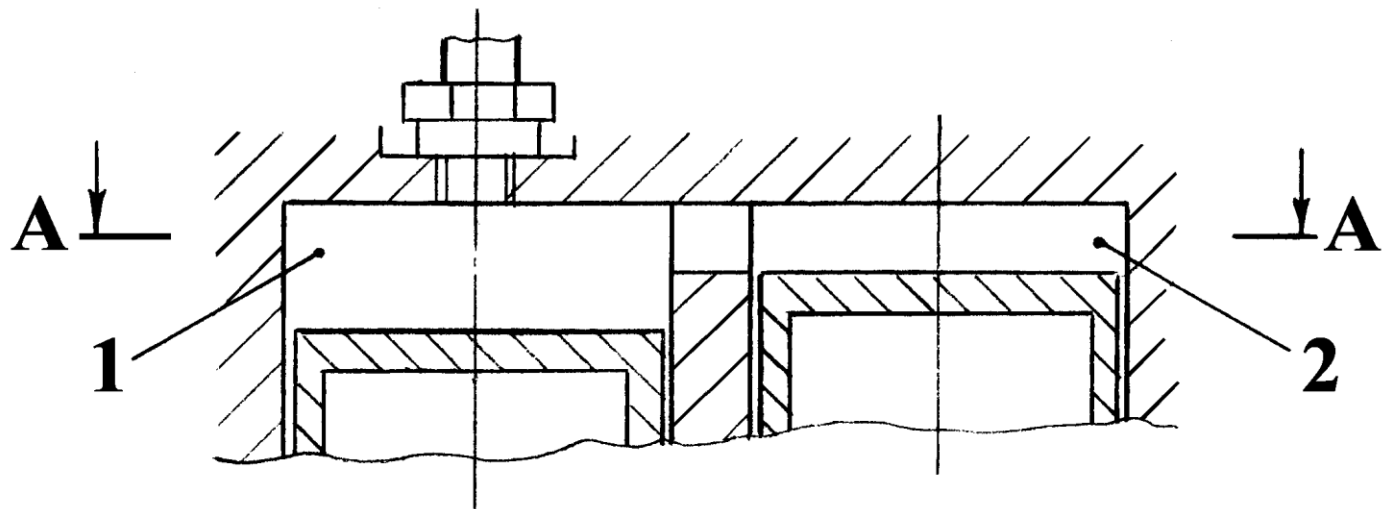
Для наибольшей достоверности сравнение показателей двигателя с послойным смесеобразованием и обычного двигателя в испытаниях был использован один и тот же двигатель. Переход от обычного двигателя к ДПС сводился к перестановке кривошипов 0 градусов (вместо 180 градусов) и замене головки цилиндров. В обоих вариантах для питания цилиндров использовались отдельные карбюраторы. Двигатели имели равные степени сжатия  $\epsilon_g = 13$  и работали на бензине А - 76, что допустимо для обычного двигателя малой размерности.

Рабочий процесс происходит следующим образом: (Слайд №22)

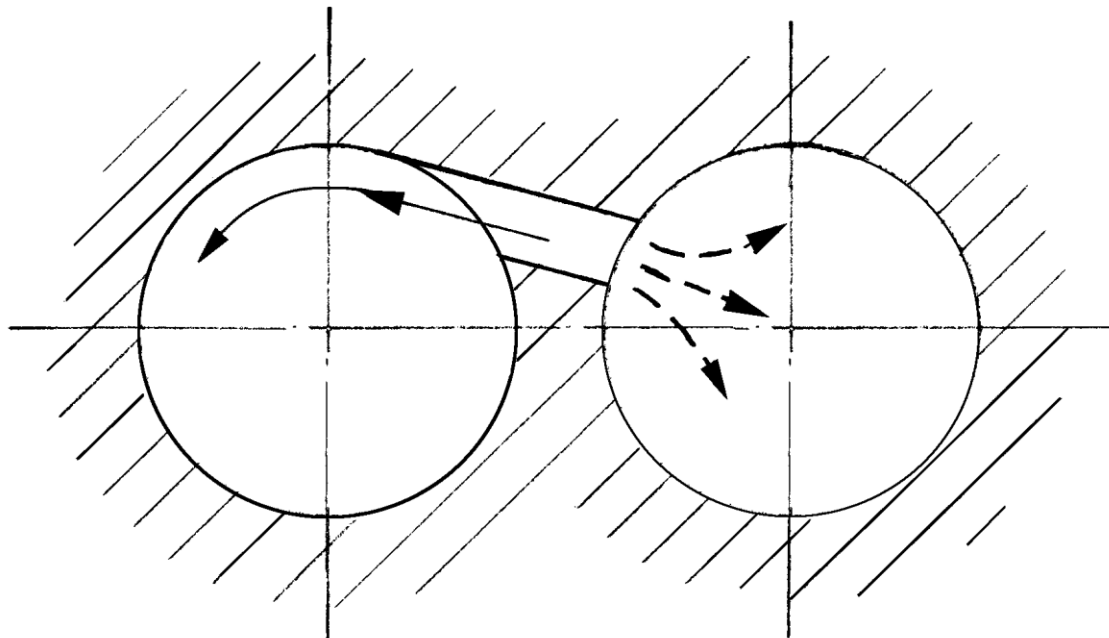
Камеры сгорания цилиндров 1 и 2 имеют разные степени сжатия ( $\epsilon_1 < \epsilon_2$ ) и соединены каналом. В цилиндр 1 со свечой зажигания подается смесь топлива с воздухом в пределах устойчивого искрового зажигания с  $\alpha \approx 1$ .

В цилиндр 2 подается обедняемая по мере уменьшения нагрузки смесь в пределах от  $\alpha = 1$  до воздуха. В последнем случае двигатель работает на режиме холостого хода при суммарном коэффициенте избытка воздуха  $\alpha_{\Sigma} = 2$ .

При синхронном движении поршней в цилиндрах 1 и 2 в процессе сжатия часть заряда цилиндра 2 перетекает через канал в цилиндр 1 из – за разности объемов камер сжатия. Заряд цилиндра 1 после его воспламенения от свечи интенсивно турбулизуется перетекающим зарядом, что обеспечивает быстрое и полное его сгорание.



**A-A**



С развитием сгорания пламя в виде факела выбрасывается через канал в камеру сгорания цилиндра 2. В результате факельное зажигание обеспечивает сгорание бедных смесей с высокими скоростями.

Таким образом, предлагаемый двигатель может работать без дросселирования в пределах  $\alpha = 1 - 2,5$ , что обеспечивает повышение экономичности:

- на 15% на режиме максимальной мощности;

- на 20 – 25 % на режиме 0,5 максимальной мощности;

- на 30 – 40 % на режимах  $Ne = 0,3$  максимальной мощности и свыше 40 % на режимах, близких к холостому ходу, в сравнении с дросселируемым двигателем, работающим при  $\alpha = 1$ .

Дополнительное преимущество предлагаемого двигателя многотопливность, т. е. способность работы без детонации на низкооктановых (дешевых) сортах топлива, при указанном выше значении  $\epsilon = 11 - 12$ . Ускорение процесса сгорания за счет создаваемой турбулизации заряда подтверждено индицированием и уменьшением оптимальных значений угла опережения зажигания на 8 – 10 градусов.

Отмечена высокая стабильность рабочего процесса на всех режимах работы двигателя, а так же его нечувствительность к изменению угла опережения зажигания в широких пределах, что существенно повышает надежность нового двигателя. [6]

В публикации советской технической литературы указывалось, что данный двухтактный двигатель может при дальнейшем развитии выйти на уровень эффективных параметров четырехтактного двигателя без применения впрыска топлива, катализаторов и других устройств повышения экономичности и снижения токсичности отработавших газов (ОГ) (слайд № 24).[7]

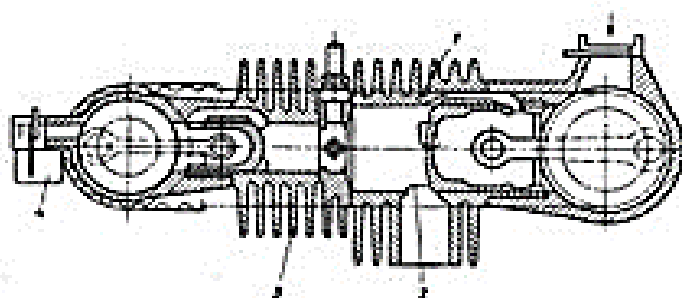


Рис. 2.20. Двухцилиндровый двигатель с боковым распределением топлива

Первый вариант двигателя имеет противоположно лежащие цилиндры (рис. 2.20) различного рабочего объема. В цилиндрах два входных отверстия, одно из которых расположено в основном цилиндре, а другое — во вспомогательном.

В основном цилиндре 1 большего рабочего объема (200 см<sup>3</sup>) подается воздух, а то время как во вспомогательный цилиндр 3 (50 см<sup>3</sup>) из карбюратора 4 поступает обогащенная топливно-воздушная смесь, состав которой зависит от соотношения рабочих объемов цилиндров. В процессе продувки воздух, поступающий из картера в основной цилиндр двигателя, вытесняет ОГ, которые частично выходят через выпускное окно 2, а то время как свежая смесь подается из НМТ цилиндра 3, имеющего меньший рабочий объем. Затем следует такт сжатия и в результате турбулентного перемешивания струй топливно-воздушной смеси и чистого воздуха происходит разбавление рабочей смеси до стехиометрической или бедной.

Полученная удельная литровая мощность двигателя  $N_{дл}$  мм 37 кВт является достаточно низкой по сравнению с этим же показателем высокофорсированных двухтактных карбюраторных ДВС. Это, однако, вполне объяснимо, поскольку для снижения расхода топлива необходимо до некоторой степени ухудшить эффективность продувки и увеличить содержание остаточных ОГ после продувки.

Второй вариант двигателя с кривошипно-камерной продувкой рабочим объемом 125 см<sup>3</sup> с двумя сообщающимися цилиндрами разработан и исследован во Всесоюзном научно-исследовательском институте мотоциклетной промышленности (ВНИИМотопром). Двигатель имеет рабочие цилиндры 1 и 2, кривошипные камеры 3 и 4, разделенные манжетой 5 (рис. 2.21). Самостоятельные впускные 11 и 12, продувочные 10 и выпускные 9 окна позволяют осуществлять независимый газообмен в каждом цилиндре. На впус-

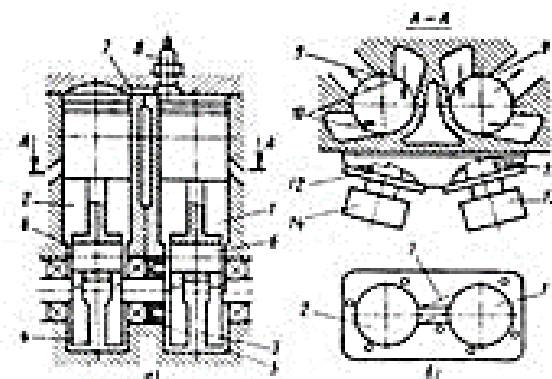


Рис. 2.21. Двухцилиндровый двигатель с боковым распределением топлива в карде

ных каналах установлены карбюраторы 13 и 14 для индивидуального питания каждого цилиндра. Кривошипные 6 обеспечивают синхронное без сдвига по фазе движение поршней. В одном из цилиндров установлена свеча зажигания 8. Головки цилиндров сообщаются с камерами сгорания осевым (рис. 2.21, а) или тангенциальным (рис. 2.21, б) каналом 7.

Рабочий процесс осуществляется следующим образом. В цилиндре 1 со свечой зажигания на всех режимах работы подается смесь от мощностного до экономичного состава, а в цилиндр 2 — смесь переменного состава, в зависимости от нагрузки на двигатель. На режимах, близких к режиму холостого хода, в цилиндр 2 поступает чистый воздух, по мере увеличения нагрузки на двигатель смесь в цилиндре 2 обогащается до мощностного состава. В результате в соединенной камере создается разделение заряда по составу на зону богатой смеси в области свечи зажигания и бедной в камере цилиндра 2. Причем с увеличением нагрузки на ДВС глубина расслоения заряда возрастает.

Испытания двигателя показали: уровень форсировки до 80 кВт/л; высокую межцикловую стабильность; нечувствительность к октановому числу бензина; снижение токсичности ОГ на 30 ... 50 %. Двигатель с боковым смешением воздуха и сгорания обеспечивает достаточно высокие экономические показатели. Дальнейшее его совершенствование может довести показатели работы (с точки зрения эффективного КПД и расхода топлива) до уровня четырехтактного ДВС.

Основные трудности заключены в стабилизации процесса горения при работе на переобогащенных смесях, а следовательно,



Первый четырехтактный двигатель - "Каспий - 65", работающий по новому рабочему процессу имел БСМ с симметричным коленчатым валом и удобную (упрощающую конструкцию и обслуживание двигателя) рядную компоновку с вертикальными цилиндрами.

Проект двигателя «Каспий-65» для спасательной шлюпки разрабатывался совместно двумя группами конструкторов: в Санкт-Петербурге и на заводе «Дагдизель» (г. Каспийск). Опытный образец был изготовлен на «Дагдизеле», там же начались первые испытания.

В сравнении с крестообразным двигателем С. С. Баландина (при той же размерности цилиндров) объем "Каспия - 65" оказался в 1,4 раза меньше.

Главный вопрос по БСМ – величина механических потерь. При прокрутке двигателя при  $n = 1000$  мин-1 и температуре масла  $t_m = 70$  °С мощность механических потерь составила  $N_{m1} = 1,32$  кВт.

Для двигателя близкой размерности МЗМА-407 (4Ч 7,6/7,5) при  $t_m = 70$  °С, по опубликованным данным,  $N_{m2} = 1,44$  кВт, т. е. на 9 % больше чем у двигателя с БСМ - (отношение мощностей механических потерь):

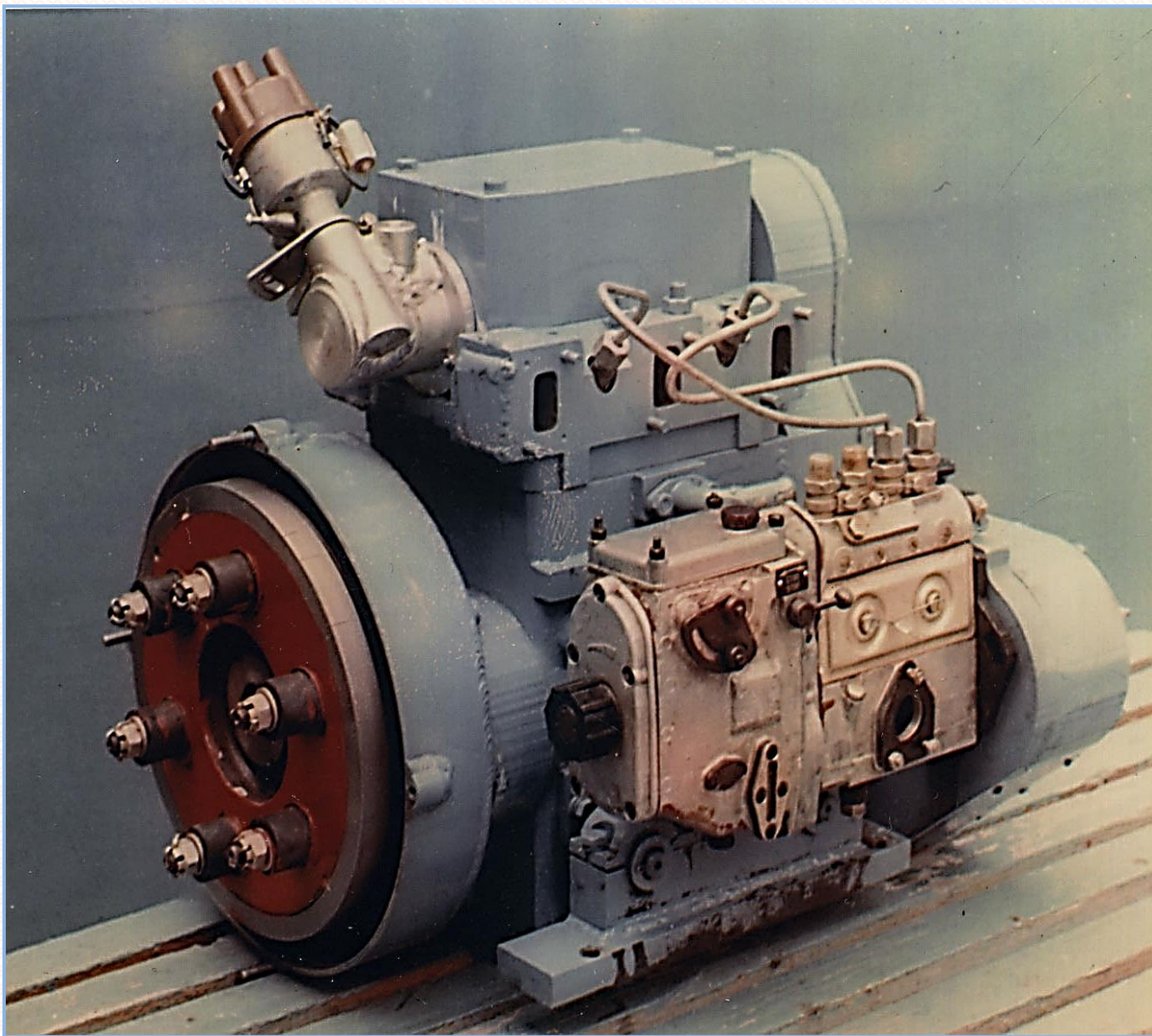
$$N_{m-отн} = N_{m2} / N_{m1} = 1,44 / 1,32 = 1,09.$$

Если же учесть большие значения хода поршня  $S$  (8,8 вместо 7,5 см) и степени сжатия  $\epsilon$  (11,5 вместо 7,0), то снижение  $N_m$  составляет 52 %:

$$N_{m-отн} = 1,09 \cdot 1,08 \cdot 1,29 = 1,52.$$

При этом следует отметить, что конструкция «Каспия-65» усложнена использованием двух БСМ (Слайд №10), расположенных параллельно, кривошипы которых синхронизированы одним соединительным валом.

# ДВИГАТЕЛЬ КАСПИЙ 65, ПАТЕНТ № 2008478





Двигатель работал под нагрузкой до  $n = 4000$  мин-1, а на режимах холостого хода до  $n = 3000$  мин-1.

В проекте двигателя ДНБ-4 (автомобильная модификация) был учтен опыт «Каспия-65». В результате была использована конструктивно более простая схема БСМ с уменьшенным числом трущихся пар, уменьшены размеры и масса двигателя.

Упрощение конструкции достигнуто использованием одновальной схемы БСМ (слайд № 18, Патент РФ №2117790). На рабочую шейку коленвала действуют одновременно два поршня, а нижняя часть штоков объединена в общий ползун.

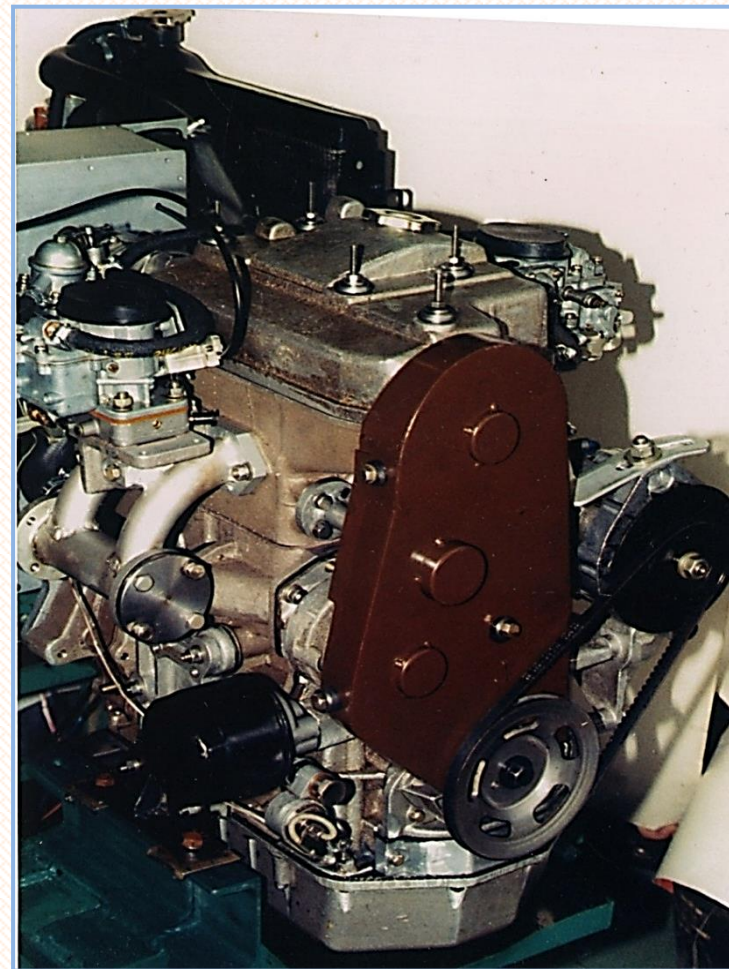
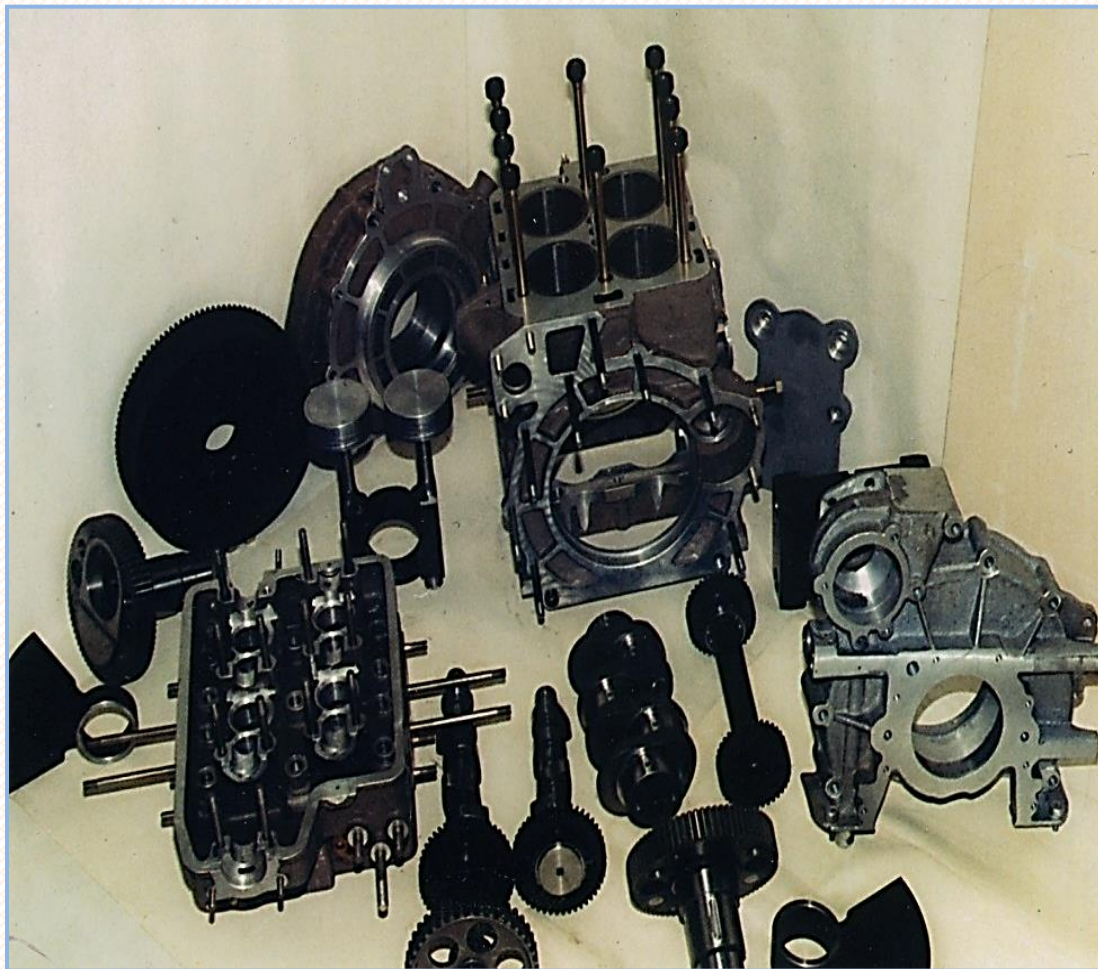
Основная часть деталей была изготовлена на Турбомоторном заводе (г. Екатеринбург). Там же были проведены холодная обкатка и горячая на режиме холостого хода до  $n = 3000$  мин-1.

Временный стенд позволял осуществлять прокрутку и запуск двигателя при отсутствии нагрузочного устройства. Расход топлива, замеренный на 2400 об/мин. оказался на 10% ниже по сравнению с двигателем МЗМА - 407.

Двигатель испытывался в диапазоне 700 – 3000 об/мин. и работал при степени сжатия  $\epsilon = 11,5$  на бензине А – 76. Слайд №28. [8]

Двигатель мотоциклетного типа 2Д-200 разрабатывался по инициативе СКБ ЗИД (г. Ковров), профинансировавшего эскизный проект двигателя и рабочий проект системы непосредственного впрыскивания бензина. В дальнейшем, благодаря спонсорской поддержке, был разработан технический проект и изготовлены опытные образцы. Разработка документации, и ее сопровождение проводились при активном участии конструкторов СКБ ЗИД.

## ДВИГАТЕЛЬ ДНБ 4, ПАТЕНТ № 2117790





Особенностью данного двигателя является замена балансира 6 (слайд №30) штоком с поршнем продувочного насоса (Патент РФ № 2117791). Фотография 2Д-200 представлена на слайде №31.

Опытный образец 2Д-200 испытывался на стенде лаборатории каф. ДВС ЭнМФ СПбГПУ. Проведены холодная и горячая обкатки двигателя. Характеристика механических потерь после 15-ти часовой обкатки при  $t_m = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$  приведена на слайде №10, при наличии масляного и водяного насосов, а также приводного продувочного насоса. На первом этапе испытаний (горячая обкатка и под нагрузкой) двигатель работал с карбюратором в диапазоне  $n = 1400 \div 5000$  мин-1.

Данные по  $N_m$  не являются окончательными. Необходимо провести испытания при  $t_m = 70\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что в обычном ДВС (в сравнении с  $t_m = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) снижает  $N_m$  приблизительно на 20 %. Кроме того, в отличие от двигателя С. С. Баландина, в парах ползун-направляющая не были использованы специальные антифрикционные материалы (подшипниковые сплавы).

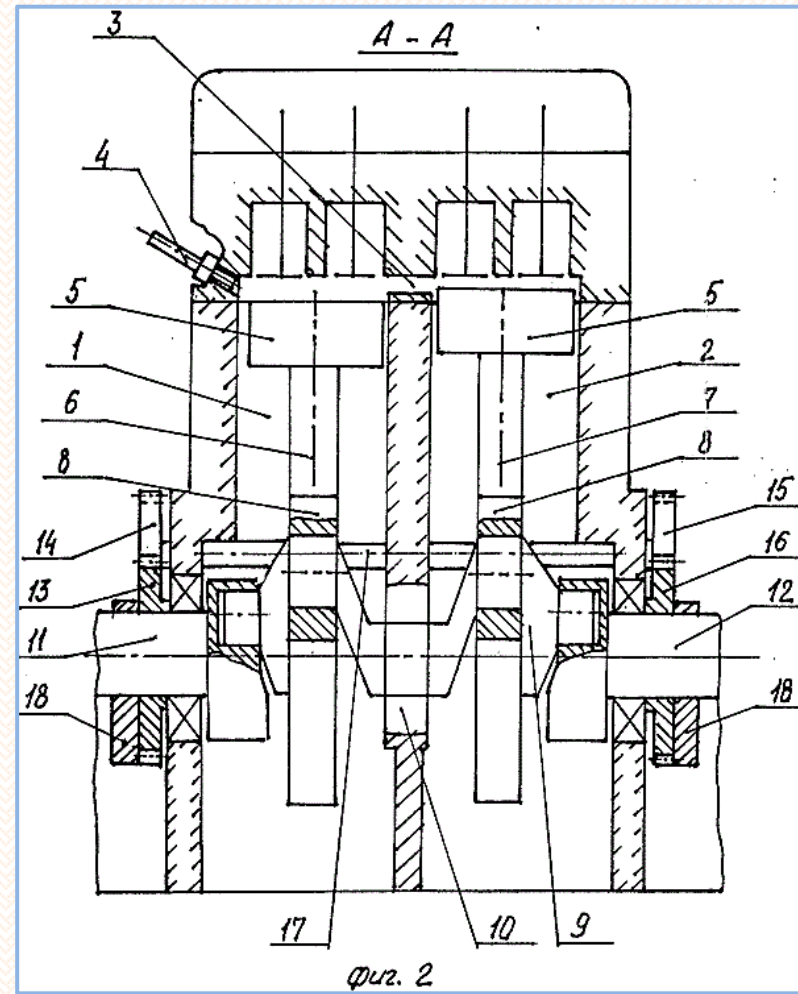
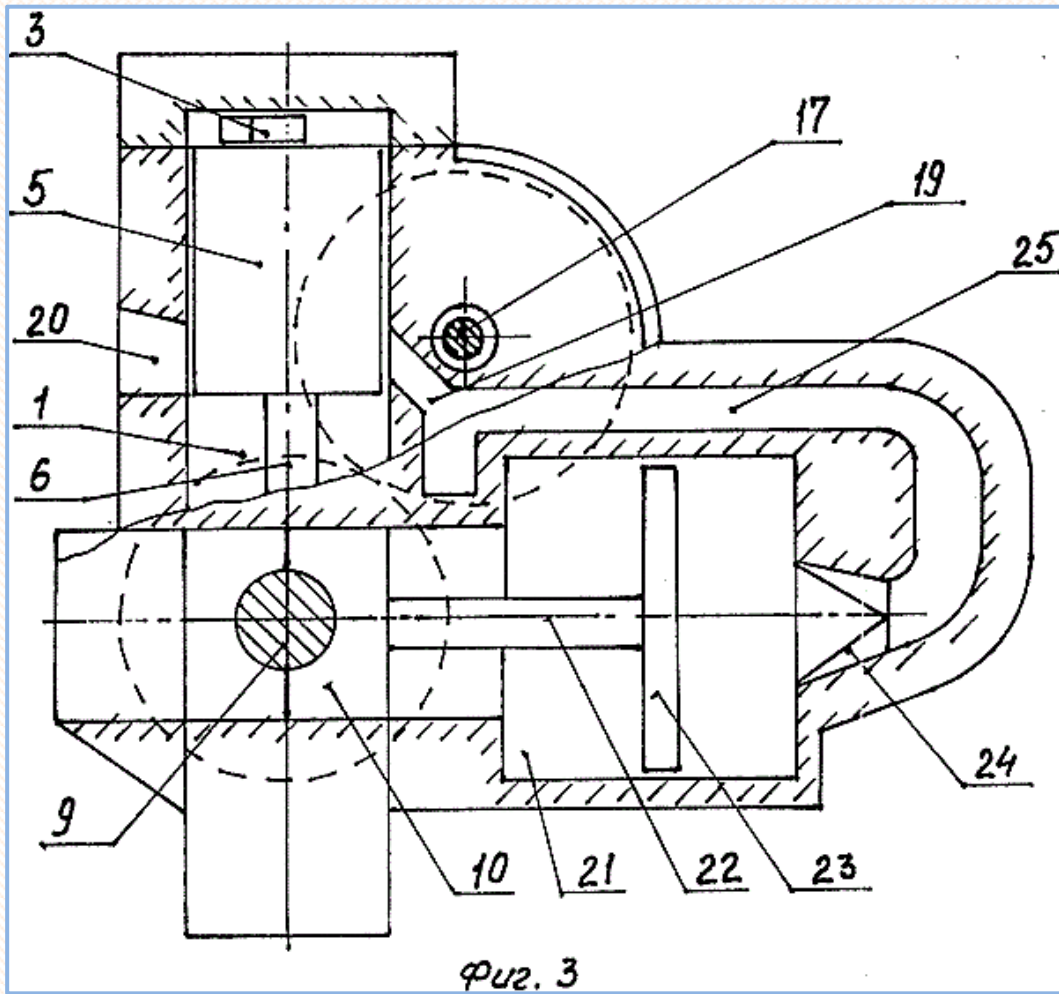
Следующий этап испытаний должен был быть проведен после нанесения на поверхности ползуну анти-фрикционного слоя и при замене карбюратора системой впрыскивания топлива. [9]

В Интернете есть видео с испытаниями этого двигателя. [10]

Было проведено динамическое моделирование БСМ, построена характеристика механических потерь. [11]

Двухтактный двигатель с кривошипно - шатунным механизмом АИК - 97 был создан в ГУАПе для демонстрации возможностей нового рабочего процесса.

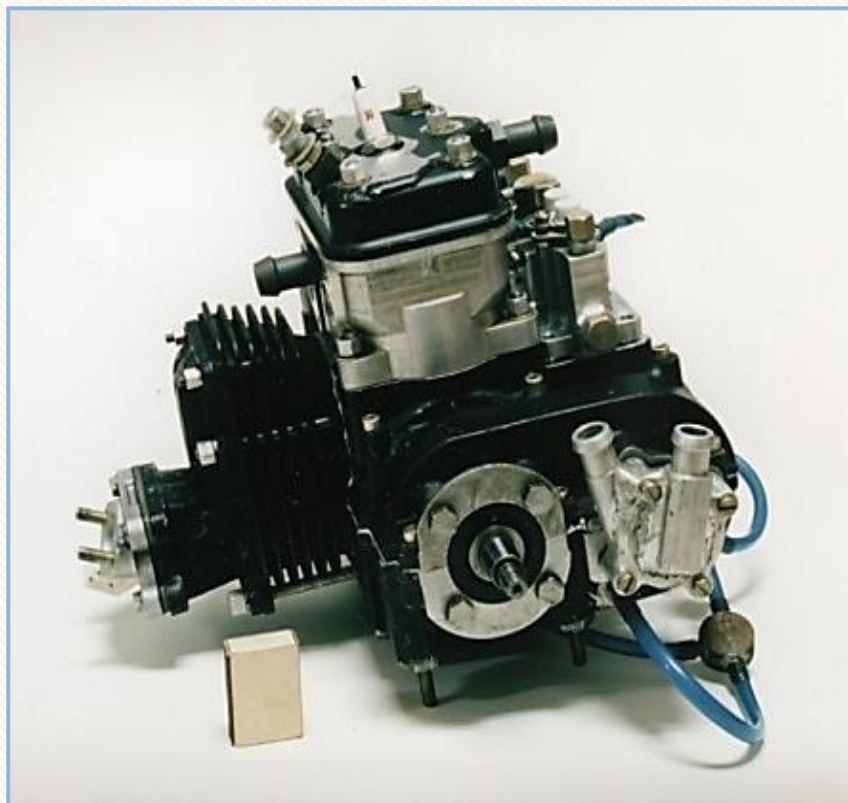
# СХЕМА БЕСШАТУННОГО ДВИГАТЕЛЯ 2Д200



## **МАЛОТОКСИЧНЫЙ ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С БЕСШАТУННЫМ СИЛОВЫМ МЕХАНИЗМОМ**

Разработан и прошел первый этап стендовых испытаний на кафедре «Двигатели внутреннего сгорания» СПбГПУ уникальный двухтактный двигатель с улучшенными мощностными, экономическими, экологическими характеристиками и увеличенным моторесурсом. На конструкцию двигателя получен патент РФ №2117791.

Число цилиндров	2	Степень сжатия геометрическая	12,5
Диаметр цилиндров, мм	52	Мощность, кВт (л. с.)	16,5 (22,4)
Ход поршня, мм	47	Частота вращения, мин	1 - 6000
Рабочий объем, см	3 - 200	Минимальный удельный расход топлива, г/кВт·ч (г/л. с. ч)	270 (200)





## 7. Основные технологические и рыночные тренды в рассматриваемой отрасли:

Рынок авиационного двигателестроения сейчас переживает кризис. Причина – высокая конкуренция между такими крупными игроками, как **GE, RR, International Aero Engines** и др. В результате, производители вынуждены продавать двигатели по цене, ниже себестоимости.

Отечественные двигатели разрабатываются на основе тех же зарубежных аналогов (например, **PowerJet SaM146** НПО Сатурн изготовило на базе французского **CFM56**, а на ОАО «Русская механика» началось производство гаммы двухцилиндровых двухтактных двигателей по лицензии фирмы **Ротакс** и т.д.).

Страна так же вынуждена закупать австрийские, японские и американские двигатели для оснащения малой авиации и БПЛА.

На данный момент в России отсутствует маломощный легкий авиационный двигатель, способный эффективно работать на топливе различного качества.

Несмотря на то, что в данном сегменте рынка присутствуют хорошо зарекомендовавшие себя поршневые двигатели зарубежных фирм **Rotax, Subaru** и других, задача создания поршневого авиационного двигателя, эффективно работающего на топливе для авиационных газотурбинных двигателей не решена до сих пор, а применение авиационных дизелей носит ограниченный характер.[12]

Предпринимаются попытки создания такого двигателя. [13. Поэтому именно многотопливный поршневой двигатель, предлагаемый к разработке в данном проекте, имеет большой потенциал коммерциализации на российском рынке и в перспективе на мировом.[14]



Разрабатываются и исследуются различные виды бесшатунного силового механизма. К бесшатунным относят разные виды механизмов, например - кривошипно - кулисный механизм (ККУ), силовые механизмы двигателей Wiseman, Revitek и др. По конструкции эти механизмы сильно отличаются, как от БСМ Баландина, так и друг от друга.

При создании двигателей с ККУ, например, были получены положительные результаты: «Результаты опытов показали положительное влияние кинематики поршня бесшатунного двигателя на его индикаторные показатели (Рис. 4.24). Как видно, например, при  $N_e = 0,8$  кВт,  $n = 3000$  об/мин, и  $\epsilon = 7,7$  удельный индикаторный расход топлива ниже на 11% по сравнению с экспериментальным классическим двигателем...можно заключить, что в бесшатунном двигателе по сравнению с классическим ДВС механические потери при одинаковых  $N_e$  и  $\epsilon$  во всех случаях ниже.» [5] На бесшатунном двигателе Wiseman были получены отрицательные результаты. [15]

В нашей стране, после выхода в свет книг С. С. Баландина, группами энтузиастов предпринимались попытки создать двигатель транспортного типа с Х-образным, V-образным и оппозитным расположением цилиндров. К сожалению, никаких конкретных данных о полученных результатах испытаний подобных двигателей опубликовано не было, а в ряде публикаций вообще ставилась под сомнение возможность повышения эффективных характеристик при наличии БСМ.

В данной заявке представлены три опытных образца двигателей с БСМ, реализующих, кроме того, и послойное смесеобразование на основе совместно работающих цилиндров. Остальные опытные двигатели имели кривошипно – шатунный механизм. [8].

Использование других схем может привести к потере преимущества бесшатунного силового механизма и требует обязательной опытной проверки.

Предлагаемая концепция нового АПД основывается на опыте авторов разработки и положительных результатах испытаний опытных образцов, а так же на опыте КБ С.С. Баландина, которое работало более 10 лет, даже во время войны, и при этом создавались все более мощные образцы бесшатунных авиадвигателей.[16]

## **8. Наиболее близкие аналоги предлагаемого АПД:**

### **1. Конструкторским бюро Вуля.**

**КБ Вуля** разработана серия дизельных двигателей. Применяемый в конструкции бесшатунный силовой механизм обеспечивает полную уравновешенность всех сил моментов инерции и низкую величину механических потерь. Однако традиционный рабочий процесс дизельного двигателя, используемый здесь, ухудшает параметры этих двигателей. По сравнению с предлагаемыми двигателями данные дизельные двигатели имеют более высокую степень сжатия ( $\epsilon = 17$ ), что увеличивает их массу и уменьшает рабочие обороты. Это (как и работа на полной мощности с  $\alpha \approx 1,5$ ) приводит к меньшей литровой и удельной мощности этих моторов в сравнении с нашими двигателями с искровым зажиганием.

### **Характеристики рынка (объем, динамика, ссылки на исследования):**

Нет данных о производстве и использовании этих двигателей у потребителей.

### **2. Двигатель автора - конструктора В.И. Якущенко (Борисполь, Украина).**

Автор и конструктор двухтактных крестообразных бесшатунных ДВС авиационного назначения В.И. Якущенко в настоящий момент заканчивает изготовление опытного образца (третий по счету) авиационного поршневого двигателя. Двигатель изготавливается с использованием (унификацией) цилиндров и головок серийного двигателя РМЗ - 550 производства ООО "Русская механика" (г. Рыбинск).

Опытный образец построен по малоисследованной эксцентриковой схеме, которая при больших размерностях (как в РМЗ - 550) может создавать большие механические потери (потери на трение).

Кроме этого автор использует уплотнение штока для сжатия воздуха для продувки в подпоршневом пространстве, что требует применения качественных материалов и соответствующей доводки.

Двигатель работает по традиционному рабочему процессу, который не обеспечивает значительного обеднения смеси (качественного регулирования мощности), высокой степени сжатия и многотопливности.

### **Характеристики рынка (объем, динамика, ссылки на исследования):**

Двигатели не вышли на рынок.

### **3. Двигатель Гессельмана**

В 1930-е годы компания **Volvo** выпускала двигатель Гессельмана, который имел непосредственный впрыск по дизельному принципу и искровое зажигание от свечей с мощной искрой. Двигатель мог работать на тяжелом топливе. Впрыск топлива происходил с небольшим опережением до ВМТ, форсунка подавала топливо в район свечи зажигания в камере сгорания, где существовала область с обогащенной

смесью. Поскольку смесь находилась при высоком давлении и температуре в течение очень короткого времени, детонация не развивалась.

Двигатель имел степень сжатия значительно меньшую, чем дизель, и примерно такую же, как у бензиновых моторов того периода (степень сжатия  $\varepsilon = 6$ ), был нечувствителен к октановому и цетановому числу топлива. За счет меньших нагрузок на КШМ двигатель Гессельмана был легче и надежнее дизеля.

Недостатком этого рабочего процесса является неполнота сгорания на частичных нагрузках и, трудность запуска холодного двигателя, при низкой температуре головки цилиндров, невозможность использования высокой степени сжатия, как средства повышения экономичности и литровой мощности.



## **Характеристики рынка (объем, динамика, ссылки на исследования):**

В настоящий момент двигатель серийно не производится

[https://en.wikipedia.org/wiki/Hesselman\\_engine](https://en.wikipedia.org/wiki/Hesselman_engine)

### **4. Двигатель Mitsubishi GDI**

Из зарубежных аналогов на сегодняшний день наиболее передовым двигателем является двигатель Mitsubishi GDI с послойным смесеобразованием и непосредственным впрыском топлива. Но при этом существенно усложняется топливная аппаратура и увеличивается ее стоимость. По приблизительным подсчетам, стоимость дополнительного оборудования двигателя GDI по сравнению с традиционным двигателем не менее 1500 USD.

Недостатки двигателей типа Mitsubishi GDI:

1. Крайне прихотливый к топливу, из-за использования топливного насоса высокого давления (аналогичный ТНВД в дизельных двигателях). За счёт использования ТНВД двигатель реагирует не только на твёрдые частицы (песок и т.п.), но и на содержание серы, фосфора, железа и их соединений. Стоит отметить, что отечественное топливо имеет повышенное содержание серы.

#### **2. Специфика форсунок.**

В двигателях GDI форсунки подают топливо прямо в цилиндры. Они должны обеспечивать высокое давление, но рабочий потенциал их невысок, так как смазывающие способности бензина невелики. Также невозможен их ремонт, а потому форсунки меняются целиком, что приносит владельцам немало дополнительных расходов.



3. Необходимость непрерывного контроля за качеством воздуха. Поэтому приходится постоянно контролировать чистоту воздушного фильтра. На автомобилях с GDI первого поколения топливный насос высокого давления (ТНВД) имел малый ресурс. Владельцам “немолодых” автомобилей необходимо использовать очиститель впуска двигателя раз в 2-3 года.

Источник: <http://mytopgear.ru/interesting/engine/dvigatel-gdi-cto-eto-takoe-i-chem-on-horosh/>

Таким образом, в отличии от предлагаемого АПД двигатель Mitsubishi GDI не обладает многотопливностью, необходимой надежностью и относительной небольшой ценой изготовления и эксплуатации.

В этих двигателях не используется БСМ.

#### **Характеристики рынка (объем, динамика, ссылки на исследования):**

Сейчас многие автомобильные концерны выпускают автомобили с двигателями с данной системой впрыска топлива, но у разных автопроизводителей она именуется по-разному. Непосредственный впрыск у Ford – EcoBoost, Mercedes – CGI, концерна VAG – FSI и TSI и т.д. Однако полностью вытеснить двигатели других типов они не смогли.

Источник: <http://mytopgear.ru/interesting/engine/dvigatel-gdi-cto-eto-takoe-i-chem-on-horosh/>

## **9. Научные группы, институты, компании, ведущие аналогичные или близкие разработки:**

Компания Hirth Motor совместно с Orbital разрабатывает серию авиационных поршневых ДВС для работы на тяжелом топливе (керосин JP5, JP8, дизельное топливо).

В компании Continental ведется программа по разработке ПДВС на альтернативном топливе (дизельное и биотопливо).

Компания Rotax совместно с Orbital разрабатывает систему непосредственного впрыска топлива DI.

В РФ:

1. Частная российская компания из Уфы "Двигатели для авиации" создала опытный отсек двигателя, способного при степени сжатия  $\epsilon = 10,5$  работать на авиакеросине.

Планируется на базе этого отсека создать рядный трехцилиндровый АПД мощностью 130 л.с.

Рабочий процесс данного двигателя не позволяет осуществить качественное регулирование мощности, которое (не смотря на заявление фирмы) может быть в одноцилиндровом РП не более  $\alpha \approx 1,6$ . Кроме этого трехцилиндровая рядная схема с кривошипно - шатунным механизмом плохо уравновешена, что приведет к высокому уровню вибраций этого двигателя.

2. На выставке в Фридрихсхафене немецкая компания RED Aircraft GmbH представила авиационные дизельные двигатели нового поколения - двенадцатицилиндровый RED A03 V12 и шестицилиндровый RED A05 V6. Двигатели предлагаются для поставки в РФ.

По сравнению с нашими двигателями данные дизельные двигатели имеют высокую степень сжатия ( $\epsilon = 16$ ), что увеличивает их массу и уменьшает рабочие обороты. Это (как и работа на полной мощности с  $\alpha \approx 1,5$ ) приводит к меньшей литровой и удельной мощности этих моторов в сравнении с нашими двигателями с искровым зажиганием. Схема двигателя V6 плохо уравновешена (в отличие от схемы R 6).

Двигатели изготавливаются в Германии на основе зарубежных технологий и достижений. Освоение их производства в РФ может столкнуться с отсутствием отечественных поставщиков агрегатов, материалов и технологий. По некоторым данным например, отечественное авиационное топливо (авиакеросин) не может использоваться в этих двигателях.

**10. Рынки, на которых потенциально может быть реализован проект (страны, регионы, основные потребители, примерный объем рынка, его динамику, будущее позиционирование на нем):**

В случае освоения серийного производства предлагаемых двигателей, будет необходимо обеспечить выявление реальных и потенциальных покупателей и учет их потребностей. Будет нужна разработка определенных программ, направленных на удовлетворение выявленных потребностей по всем основным типам рынков:

1. Рынок потребителей
2. Рынок производителей
3. Рынок торговцев – посредников
4. Государственный и международный рынки.

Основным потребителем должна быть авиация общего назначения (АОН) и БПЛА. Предполагается активное участие в Технологической платформе "Авиационная мобильность и авиационные материалы" (АМиАТ).

<https://aviatp.ru/enginewg#04-05042018>

В виду наличия явных конкурентных преимуществ возможно позиционирование нового АПД как «новый товар на существующем рынке».

Продажи двигателей компании Rotax в РФ: 2013 год - 166 штук, 2014 - 167; 2015 - 32 штуки; 2016 – 18 штук. При этом средняя цена двигателя составляла 25 000 Евро. Так же в РФ на рынке присутствуют АПД других компаний.

Несмотря на пессимистическое состояние производства ВС АОН в России (после известных политических событий) сегодня, мы, безусловно в ближайшие годы будем наблюдать его рост и возвращения объемов продаж на уровень 2014 года.

Для защиты интеллектуальной собственности предполагается создание портфеля патентов, что означает, что будут получены следующие документы о защите промышленной собственности:

- патент на изобретение (уровень основного решения)
- 2-5 патентов на полезные модели (защищают отдельные элементы - узлы, блоки, оснастку)
- 1 и более Свидетельств на программы ЭВМ
- система секретов производства (вводится приказом по фирме, на чье имя получены патенты). Система секретов производства является многоуровневой: от некоторых операций до направлений усовершенствования.



## **11. Предполагаемые основные направления коммерциализации проекта (в ближайшей перспективе и (или) в будущем):**

Коммерциализация технологии возможна в виде продажи простой или абсолютной лицензии на серийное производство. Продажа патента, проекта и ноу - хау. Возможно получения заказов на проектирование и создание новых проектов двигателей.

В будущем коммерциализация возможна путем освоения серийного производства двигателей, их продажи, сервисное обслуживание, продажа запасных деталей и т.д.

Ссылки на соответствующие исследования рынков:

"О СОСТОЯНИИ И ПРОГНОЗАХ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ВС АВИАЦИИ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ", Никитин И.В., президент Национальной ассоциации производителей техники авиации общего назначения

<http://www.aviatp.ru/newturn/#techconcepts>

**12. Имеющие непосредственное отношение к проекту российские и (или) зарубежные научные публикации, патенты и (или) заявки на выдачу патента, обладателем (заявителем по которым) является Соискатель, а также разработанные алгоритмы, протоколы, программы для ЭВМ и (или) базы данных:**

1. Патент РФ №2008478 Двигатель внутреннего сгорания

Ссылка <http://allpatents.ru/patent/2008478.html>

2. Патент РФ №2099547 Многотопливный двигатель внутреннего сгорания

<http://www.freepatent.ru/patents/2008478>

3. Патент РФ №2117790 Двигатель внутреннего сгорания  
<http://allpatents.ru/patent/2117790.html>

4. Патент РФ №2117791 Двигатель внутреннего сгорания  
<http://allpatents.ru/patent/2117791.html>

5. Рабин А. В., Миллер А. О. Программное обеспечение моделирование отработки рабочего процесса многотопливного авиационного поршневого двигателя, способного работать без детонации на широком диапазоне низкооктановых сортов топлива. Свидетельство в реестре программ для ЭВМ №2020616888 от 25 июня 2020 года.

### **13. Инвестиции**

Объем необходимых ассигнований определен методом укрупненного калькулирования с учетом опыта проведения аналогичных работ.

Общая расчетная трудоемкость работ составляет 170,7 чел/мес.

В работе примут участие 2 организации: ООО «ПАС»; ОИВТ РАН.

Функции исполнителей:

ООО «ПАС» - координация работы, проектирование, размещение заказов и ответственность за выполнение проекта, патентные исследования. Проведение пусконаладочных и доводочных работ по опытному образцу. Проведение полевых испытаний.

ОИВТ РАН – стендовые и лабораторные исследования опытного отсека и опытного образца.

Расходы по статьям оплата труда, единый социальный налог и накладные расходы составят около 34,85 млн. руб.

Стоимость материалов, покупных изделий и оборудования составит около 1,672 млн. руб. Общая стоимость выполнения комплекса всех работ по данному мероприятию составит 45 млн. руб.

### **14. Предложение инвестору**

При инвестициях в размере -45 000,0 тыс. рублей, доход через 5 лет составит 357 000 тыс. рублей при продаже 510 штук двигателей по 700 тыс. рублей. Цена аналога – АПД Ротакс 912 – около 25 000 Евро. Объем продаж в РФ – 2013 год – 166 штук, 2014 год – 167 штук.



**СВОДНАЯ КАЛЬКУЛЯЦИЯ ПО УКАЗАННЫМ РАБОТАМ:**

№ п/п	Наименование расходов	Объем расходов (тыс. рублей)
1	Затраты на приобретение материалов и спецоборудование	1672,0
	Основная заработная плата	12784,8
3	Дополнительная заработная плата (8,66%)	1212,2
4	Отчисления на социальные нужды (30,2%)	4227,1
5	Накладные расходы (130%)	16620,3
6	Себестоимость	34844,4
7	Прибыль (10%)	3484,5
8	Затраты по работам, выполняемым сторонними организациями	5 000,0
9	Итого цена за выполненную работу	45 000,0
10	Трудоемкость в человеко-месяцах (ФОТ=82,0 т.р)	170,7 чел/мес.

## **15. КОМАНДА**

### **1. Миллер Андрей Олегович**

**Роль в проекте (должность в компании)** - Руководитель работ, изобретатель.

**Описание функций, задач, работ, которые будет выполнять данный член команды в рамках проекта:**

Проведение научно–исследовательских работ по созданию предлагаемого двигателя, разработка концепций нового двигателя, разработка технического проекта, разработка КД и РКД, авторский надзор за изготовлением и проведением испытаний и доводки.

### **Сфера деятельности и профессиональные достижения:**

Инженер – конструктор 1 категории, является автором и разработчиком предлагаемых двигателей, соавтором патентов на предлагаемые двигатели. Конструктор – разработчик опытных образцов предлагаемых двигателей. Работал так же в сфере предпринимательства и торговли. В 2007 году занимался развитием продаж бренда "Спарки" (электроинструмент, Болгария) в Северо - Западном регионе РФ, в 2013 – 14 годах работал региональным менеджером по продажам в ООО "Центроинструмент" (Москва).

### **Ключевой опыт, имеющий отношение к области данного проекта:**

С 1980 года работал конструктором по разработке средств технологического оснащения в ЦНИИТС (технологии судостроения). Разрабатывал и внедрял оборудование для постройки судов и кораблей, в том числе для строительства экраноплана «Лунь». В конце 1980 х годов участвовал в серийном внедрении комплекта оборудования по программе конверсии на Серпуховском радиотехническом заводе.

В 1987 году (в соавторстве с И.М. Кирилловым), предложил бесшатунный силовой механизм с симметричным коленчатым валом и компоновку четырехцилиндрового двигателя внутреннего сгорания (будущий «Каспий 65») с рядным, вертикальным расположением цилиндров. В 1988 году (вместе с В. М. Кушулем и А. И. Костиным) разработал эскизный проект двигателя «Каспий 65», затем принял участие (со стороны ГУАПа) в разработке технического проекта двигателя и рабочей конструкторской документации.

После успешного испытания двигателя «Каспий – 65», в 1992 году, по приглашению В. М. Кушуля, перешел на работу в ЛИАП (сейчас - ГУАП), где работал над техническим проектом двигателя БК – 93 по теме НИР. В 1993 году (совместно с А. И. Костиным) предложил концепцию и разработал эскизный проект нового четырехцилиндрового двигателя (будущий ДНБ – 4) и двухцилиндрового двухтактного двигателя (будущий двигатель 2Д - 200). В 1994 году разработал эскизный и технический проекты двухцилиндрового двигателя с воздушным охлаждением для ПО «Красный Октябрь». В 1996 – 1998 годах разрабатывал технический проект двигателя ДНБ – 4, разрабатывал проект и участвовал в изготовлении двухцилиндрового двухтактного двигателя АИК – 97.

В 1999 – 2000 годах спроектировал новую головку блока на серийный двигатель ВАЗ – 1111 (Ока), которая была изготовлена на НПО им. Климова. В 2000 – 2001 годах участвовал в испытаниях двигателя ВАЗ – 1111 с новой головкой, который работал по новому рабочему процессу. С 2003 по 2005 год участвовал в доводке и испытаниях двигателя 2Д - 200 на стенде кафедры ДВС Политехнического университета.



В 2018 году разработал рабочую конструкторскую документацию для изготовления опытного отсека авиационного двигателя с большой размерностью цилиндров для отработки нового рабочего процесса.

Научные публикации:

1. Костин А.И. Миллер А.О. Повышение эффективных показателей и снижение токсичности отработавших газов судовых дизелей, стр. 102, Материалы V Всероссийской межотраслевой научно – технической конференции «Актуальные проблемы морской энергетики», Санкт – Петербургского Гос. Морского Технического Университета, 2016 г.

2. Костин А.И. Миллер А.О. Высокоэкономичный, полностью уравновешенный поршневой авиационный двигатель, работающий на топливе для авиационных газотурбинных двигателей стр. 110, 16-я Международная конференция "Авиация и космонавтика - 2017", Москва, МАИ, 20-24 ноября 2017 тезисы

3. Рабин А. В., Миллер А. О. Программное обеспечение моделирование отработки рабочего процесса многотопливного авиационного поршневого двигателя, способного работать без детонации на широком диапазоне низкооктановых сортов топлива. Свидетельство в реестре программ для ЭВМ №2020616888 от 25 июня 2020 года.

Патенты:

1. Патент РФ №2008478 Двигатель внутреннего сгорания
2. Патент РФ №2099547 Многотопливный двигатель внутреннего сгорания
3. Патент РФ №2117790 Двигатель внутреннего сгорания
4. Патент РФ №2117791 Двигатель внутреннего сгорания

## **2. Яковлева Елена Николаевна**

Роль в проекте (должность в компании): Специалист по маркетингу

**Описание функций, задач, работ, которые будет выполнять данный член команды в рамках проекта:**

1. Исследование рынка двигателей по теме проекта, поиск заинтересованных организаций, рассылка коммерческих предложений, реклама и преддоговорные переговоры.

2. Разработка, моделирование и макетирование электрических и электронных узлов разрабатываемого двигателя.

3. Подготовка технико-экономических обоснований, бизнесплана производства двигателей по проекту.

Сфера деятельности и профессиональные достижения:

Сопровождение инновационных предложений и проектов от стадии технической документации до передачи в серийное производство.

Ключевой опыт, имеющий отношение к области данного проекта:

Сопровождение инновационных предложений и проектов от стадии технической документации до передачи в серийное производство. Подготовка технико-экономических обоснований, бизнес-планов и рекламных предложений.

Подготовка предложений по изменению товарного ассортимента, направлений производственно-хозяйственной и предпринимательской деятельности. Контроль за сбытом. Выявление конъюнктуры рынка по профилю двигателестроения. Разработка критериев роста эффективности предпринимательской деятельности, прибыли и доходов, повышения конкурентоспособности.

Участие в разработке маркетинговой политики, определении цен, создание условия для планомерной реализации товара и расширения номенклатуры оказываемых услуг для развития спроса клиентов. Определение мер по повышению качества и улучшению потребительских свойств товаров, необходимых для этого затрат ресурсов, включая сырье, материалы, энергию, кадры. Совершенствование информационного обеспечения исследований рынка двигателей. Имеется опыт организации рекламных кампаний, оптовой и розничной продажи технических изделий, их постпродажного сопровождения и обслуживания.

**Места работы, должности за последние 5 лет:**

Инжиниринговый центр "Центр компьютерного инжиниринга «Санкт-Петербургского политехнического университета имени Петра Великого, инженер ООО Лаборатория "Вычислительная механика" (CompMechLab® LLC).

**Научные публикации:**

Отчеты по НИОКР: Совершенствование информационного обеспечения исследований рынка двигателей. Разработка и производство задней подвески электромобиля-демонстратора. Решение задач тепломассопереноса для эффективного охлаждения двигателя.

**Патенты:** Способ получения активированного угля. Патент РФ 2393990.



### **3. Шатунов Андрей Иванович**

**Роль в проекте (должность в компании):** Инженер - конструктор

Описание функций, задач, работ, которые будет выполнять данный член команды в рамках проекта: Проектирование и выпуск рабочей документации.

**Сфера деятельности и профессиональные достижения:**

Занимается проектированием и выпуском рабочей документации: а) дизельных приводов для гидравлических станций (силовых приводов) для вертлюгов по добыче нефти (запущено в серию), б) дизельного привода для станка по обработке кромок под сварку газовых труб, в) переносных гидравлических станций с бензиновым двигателем для РЖД запущено в серию).

**Ключевой опыт, имеющий отношение к области данного проекта:**

Опыт работы инженером-конструктором с 1980 г. до сегодняшнего дня.

## **16. Венчурное и (или) иное финансирование (инвесторы, суммы, результаты):**

В 1988 году ЛИАП (ГУАП) заключил договор с ПО «Дагдизель» (г. Каспийск) о совместной работе по разработке нового двигателя для спасательной шлюпки. Две группы конструкторов (в ЛИАПе и Дагдизеле) спроектировали четырехтактный двигатель «Каспий – 65». Двигатель "Каспий - 65" создавался по заказу НПО "Редан" (г. Санкт - Петербург) и должен был производиться на отраслевом предприятии - ПО «Дагдизель», (г. Каспийск). После успешного испытания двигателя «Каспий – 65» вплоть до конца 1990 года проводилась его доводка и отработка технологического процесса его серийного изготовления. Но так как серийное производство не началось, то работа по полной доводке двигателя не была завершена.

Однако этот двигатель привлек внимание частных инвесторов, и после этого в нашей стране, (на трех разных заводах) на полностью отечественной научной, технологической и производственной базе было создано еще 3 опытных двигателя разной конструкции и назначения, с положительными результатами испытаний. На двигатели были получены патенты РФ: №2008478, №2117790, №2117791.

Объем инвестиций составил 300 000 USD, инвесторы вошли в состав авторов патентов.

## **17. Текущий статус проекта (какие результаты уже достигнуты и чем они подтверждены):**

Разработаны и испытаны ряд новых двигателей внутреннего сгорания с перспективными показателями. Результаты этих работ подтверждаются публикациями, диссертациями и отчетами. Получены патенты РФ: №2008478, №2117790, № 2117791

В 2017 году был заключен договор с ОИВТ РАН (Объединенный институт высоких температур РАН) по созданию опытного отсека двигателя большой размерности для изучения нового рабочего процесса.

В 2018 году разработана рабочая конструкторская документация для изготовления опытного отсека авиационного двигателя с большой размерностью цилиндров для отработки нового рабочего процесса.

В настоящий момент решается вопрос об изготовлении опытного отсека и проведения его испытаний для отработки рабочего процесса на больших размерностях цилиндра. Данный этап работы необходим для создания нового многотопливного авиационного двигателя. Необходимое финансирование пока отсутствует.

В 2020 году заявка по теме «Авиационный многотопливный поршневой двигатель с искровым зажиганием, инновационным рабочим процессом и послойным смесеобразованием и сгоранием в двух цилиндрах» получила положительное решение международной экспертизы Сколково.

ООО «ПАС» стало участником Сколково.



Была разработана программа для ЭВМ «Программное обеспечение моделирование отработки рабочего процесса многотопливного авиационного поршневого двигателя, способного работать без детонации на широком диапазоне низкооктановых сортов топлива», Рабин А. В., Миллер А. О. Свидетельство в реестре программ для ЭВМ №2020616888 от 25 июня 2020 года.

## **18. Ссылки на исследования и материалы, подтверждающие актуальность заявленной проблемы:**

1. Л.А. Финкельберг, Авиационные поршневые двигатели XXI века  
<http://www.ciam.ru/press-center/interview/aviation-pistonengines-of-the-xxi-century/>
2. Баландин С. С. Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1972. стр.39. <http://www.morkniga.ru/p825689.html>
3. Экспресс – информация «Поршневые и газотурбинные двигатели» №40, 1978, Москва.
4. Костин А.И., Герзон П.С., Пирогов Ю.А., О двухтактном карбюраторном двигателе с послойным распределением топлива в заряде, Автомобильная промышленность, №11, 1981 г.
5. Химченко А.В., Улучшение топливной экономичности и снижение токсичности двухтактных бензиновых двигателей на частичных режимах, диссертация, Горловка, 2004, С. 137.
6. Костин А. И. ДВС с послойным смесеобразованием, 3 стр.- Материалы X Международной научно – практической конференции «Актуальные проблемы управления качеством производства и эксплуатации автотракторных средств», Владимирского Гос. Университета, 2004 г.
7. В. М. Кондрашев, Ю. С. Григорьев, В. В. Тупов. "Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания", Москва, Машиностроение, 1990г.
8. Лашманов В. В., Костин А. И. Первые результаты испытаний макетного образца двигателя // Двигателестроение, 2003. – №2.
9. Костин А.И. Куколев М.И. Опытные образцы бесшатунных двигателей. Материалы XII Междунар. науч. – практ. конф. Владим. гос. ун-т. – Владимир. 2010, с.194-198.

10. <https://www.youtube.com/watch?v=gEqzV9iRxtY>
11. Дворцов, В.С., Динамическое моделирование бесшатунного силового механизма, Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 3(226)'2015.
12. <https://www.red-aircraft.com/>
13. Коляда Евгения, Уфимский универсальный мотор, <http://www.ato.ru/publications/showobserver/helirussia>
14. Е. П. Голубков, Авиационные бесшатунные двигатели. Сравнительный анализ с кривошипно-шатунными и воздушно-реактивными двигателями <https://knigabook.com/books/aviaczionnyebesshatunnye-dvigateli-sravnitelnyj-analiz-s-krivoshipnoshatunnymi> ivozdushnoreaktivnymidvigatelyami-976449
15. Priyesh Ray and Sangram Redkar, Analysis and simulation of Wiseman hypocycloid engine // Cogent Engineering (2014), 1: 988402 <http://dx.doi.org/10.1080/23311916.2014.988402>
16. Котельников В.Р., Отечественные авиационные поршневые моторы 1910 – 2009, Москва, 2010, стр. 411 – 421