

ВЫСОКОЭКОНОМИЧНЫЕ И ЭКОЛОГИЧНЫЕ ПОЛНОСТЬЮ УРАВНОВЕШЕННЫЕ ПОРШНЕВЫЕ ДВИГАТЕЛИ ДЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И СУДОВ

Андрей Олегович Миллер, ведущий специалист ГИАП, Санкт-Петербург

Предлагается двухконтурная организация рабочего процесса сгорания топлива в двух совместно работающих цилиндрах, при которой обеспечивается существенное улучшение эффективных характеристик поршневого ДВС. Процесс сгорания топлива активизируется благодаря факельному зажиганию топливно-воздушной смеси (обедняемой по мере снижения нагрузки) и завихрению заряда в конечной фазе сгорания. Благодаря интенсивной турбулизации заряда ускоряется его сгорание, что препятствует возникновению детонации и обеспечивает эффективную работу двигателя на низкооктановых сортах топлива. При этом токсичность отработавших газов снижается в 3...5 раз по сравнению с традиционными двигателями. Применение бесшатунного силового механизма позволило повысить механический КПД на 6...10 % и обеспечило полную уравновешенность сил инерции.

A two-circuit organization of the working process of fuel combustion in two jointly working cylinders is proposed, which provides a significant improvement in the effective characteristics of a reciprocating internal combustion engine. The process of fuel combustion is activated due to flare ignition of the fuel-air mixture (depleted as the load decreases) and charge turbulence in the final phase of combustion. Due to the intense turbulence of the charge, its combustion accelerates, which prevents the occurrence of detonation and ensures the efficient operation of the engine on low-octane grades of fuel. At the same time, the toxicity of exhaust gases is reduced by 3...5 times compared to traditional engines. The use of a recoilless power mechanism made it possible to increase the mechanical efficiency by 6...10% and ensured complete balance of inertia forces.

Ключевые слова: двухконтурный рабочий процесс, турбулизация заряда, факельное зажигание, бесшатунный силовой механизм.

Keywords: two-circuit workflow, charge turbulence, flare ignition, recoilless power mechanism.

Производители современных ДВС испытывают на себе давление государственных регуляторов и общественности из-за выбросов токсичных веществ с отработавшими газами (ОГ) и эмиссии CO_2 .

Для сохранения привлекательности применения ДВС необходимо создание двигателей с более высокими эффективными характеристиками, к которым относятся:

1. Токсичность отработавших газов.
2. Экономичность.
3. Литровая и удельная мощность.
4. Массо-габаритные показатели.
5. Уровень вибрации и шума.
6. Себестоимость изготовления и цена продажи.
7. Стоимость эксплуатации и владения.
8. Ресурс и ремонтпригодность.
9. Многоотопливность.

В нашей стране создан ряд опытных ДВС в которых благодаря применению нового двухконтурного рабочего процесса и бесшатунного силового механизма (БСМ) с симметричным коленчатым валом (КВ), достигнуто существенное улучшение всех эффективных характеристик.

В новом рабочем процессе сгорание топлива происходит в двух цилиндрах, соединенных каналом, с последовательным воспламенением их зарядов. Это позволяет активно воздействовать на процессы смесеобразования и сгорания.

При этом используются два фактора, которые активно воздействуют на процесс сгорания:

1. Факельное зажигание топливно-воздушной смеси, обедняемой по мере снижения нагрузки.
2. Завихрение заряда в конечной фазе сгорания.

В результате в двигателе используется оптимальная степень сжатия $\varepsilon = 11...13$ и достигается нечувствительность к детонационным свойствам топлива.

Существенное повышение экономичности и снижение токсичности ОГ обеспечиваются обеднением смеси на частичных нагрузках до коэффициента избытка воздуха $\alpha = 2,5$.

Другая особенность новых двигателей - БСМ, позволяющий дополнительно к преимуществам нового рабочего процесса повысить механический КПД, обеспечить полную уравновешенность сил инерции даже при малом числе цилиндров и увеличение ре-

сурса по сравнению с двигателем с кривошипно-шатунным механизмом [1].

Схема БСМ с рядным расположением цилиндров представлена на рис. 1.

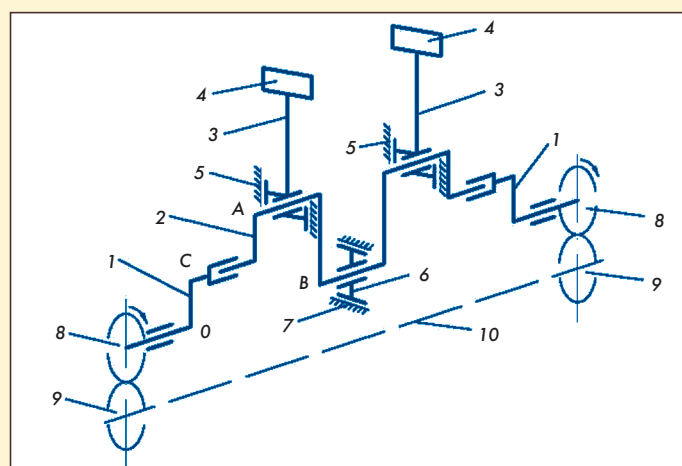


Рис. 1 Кинематическая схема рядного бесшатунного силового механизма

В кривошипах 1 концевыми шейками установлен симметричный коленчатый вал 2. Нижняя часть штоков 3, жестко связанных с поршнями 4, выполняет функцию ползуна и движется вертикально по направляющим 5. Балансир 6 также выполняет функцию ползуна и движется горизонтально по направляющим 7. Синхронизация и силовое замыкание кривошипов обеспечивается соединительным валом 10 и шестернями 8, 9. При действии инерционных и газовых сил боковые усилия в БСМ с поршней перенесены на ползуны и воздействуют на направляющие 5 и 7.

Применение симметричного КВ обеспечивает отсутствие неуравновешенного продольного момента, который присутствует в других схемах БСМ, что приводит к лучшей уравновешенности и большей нагрузочной способности механизма при прочих равных условиях.

Для нового двигателя возможны различные применения. Рассмотрим некоторые из них.

Авиационный поршневого двигателя (АПД), эффективно работающий на топливе для авиационных газотурбинных двигателей - авиационном керосине

Существует ряд требований, которые современные АПД удовлетворить не могут:

1. Многоотпливность.

АПД с искровым зажиганием работают на авиационном этилированном бензине 100LL или на высокооктановых автомобильных бензинах. Между тем существует авиационное топливо с меньшей стоимостью и большей распространенностью - авиационный керосин. Данный факт стимулирует применение в авиации многоотпливных дизельных двигателей.

В случае применения такого топлива в двигателе с искровым зажиганием, встает проблема детонационной стойкости авиационного керосина, который не тестируется и не стандартизируется по этому параметру.

2. Ресурс АПД в среднем не превышает 2000 моточасов.

3. Уравновешенность силового механизма АПД.

Низкий уровень вибрации обеспечивает нормальную работу чувствительной аппаратуры летательных аппаратов.

В самом распространенном диапазоне мощностей от 5 до 140 л.с., как правило, применяются АПД с числом цилиндров до 4 включительно, однако ДВС с небольшим числом цилиндров полностью, как правило, не уравновешиваются. Поэтому даже оппозитный четырехцилиндровый двигатель не является полностью динамически уравновешенным.

Проблему создания полностью уравновешенного АПД с искровым зажиганием, эффективно работающего на авиационном керосине, можно решить путём использования нового рабочего процесса и применения БСМ с симметричным КВ.

В этом случае улучшаются все эффективные характеристики нового АПД:

1. Токсичность отработавших газов снижается в 3...5 раз.

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

3. Двигатель при высокой степени сжатия нечувствителен к октановому числу топлива и является многоотпливным; но в сравнении с дизелем степень сжатия меньше, что существенно облегчает двигатель и увеличивает литровую мощность благодаря возможности работы с коэффициентом избытка воздуха $\alpha \approx 1$, вместо $\alpha = 1,4$ у дизеля.

4. Возможность увеличения мощности увеличением частоты вращения коленчатого вала до $n = 6000$ об/мин., тогда как нормальная работа дизеля ограничена $n = 4000$ об/мин.

5. Снижение уровня шума из-за уменьшения максимального давления сгорания в 1,5 раза и снижения жесткости рабочего процесса.

7. Силовой механизм нового АПД полностью уравновешен при любом числе цилиндров и обеспечивает отсутствие вибрации, больший ресурс и экономичность, а также меньший мидель (радиальный габарит) двигателя.

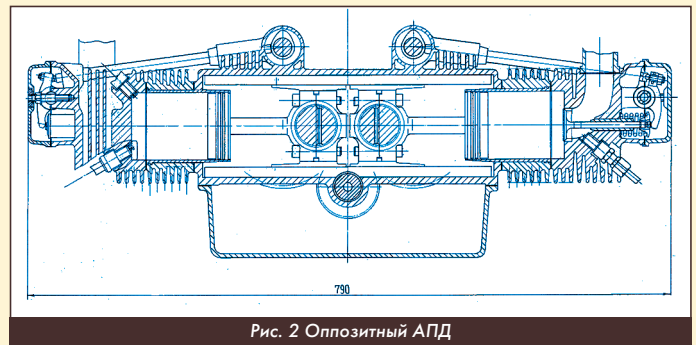
8. Себестоимость изготовления нового двигателя будет сопоставима с себестоимостью изготовления двигателя с искровым зажиганием (но дешевле дизеля).

В качестве примера возможных конструкций новых четырехтактных АПД с полностью воздушным охлаждением можно привести две концепции:

1. Четырехцилиндровый четырехтактный оппозитный АПД с полностью воздушным охлаждением (рис. 2), предназначен для одно и двухместных самолетов, БПЛА и мотодельтапланов.

Ориентировочные технические данные:

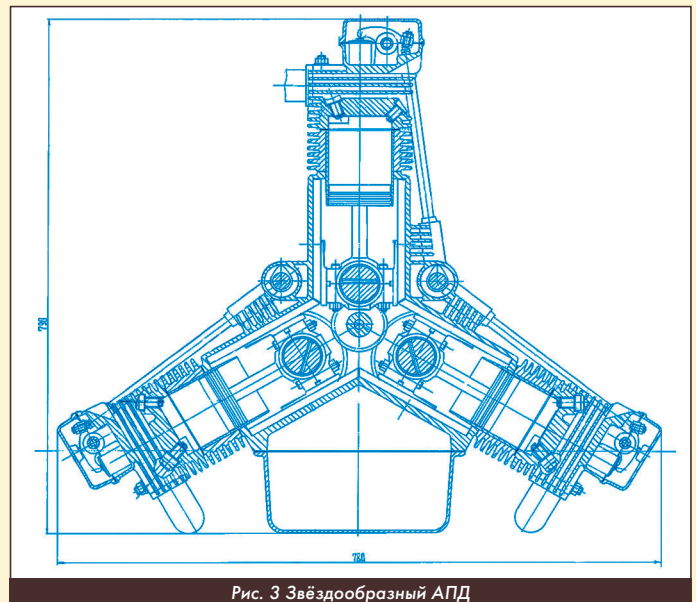
- Рабочий объём - 1,8 л (D/S - 8,2/8,2).
- Мощность максимальная на 4200 об/мин. - 104 л.с.
- Мощность крейсерская на 2900 об/мин. - 70 л.с.
- Масса - 65 кг.



2. Шестицилиндровый четырехтактный звездообразный АПД с полностью воздушным охлаждением (рис. 3), предназначен для 4-местных легких самолетов, БПЛА (возможна модификация для вертолетов).

Ориентировочные технические данные:

- Рабочий объём - 2,6 л (D/S - 8,2/8,2)
- Мощность максимальная на 4200 об/мин - 156 л.с.
- Мощность крейсерская на 2900 об/мин - 106 л.с.
- Масса - 85 кг. [2].



При использовании в конструкции АПД жидкостного охлаждения возможно создание двигателя с меньшим миделем. Прототипом такого АПД может быть опытный двигатель ДНБ - 4 (рис. 4) [3].



Новый судовой (транспортный) дизельный двигатель с более высокими эффективными характеристиками и низкой токсичностью отработавших газов

На базе конструкций опытных 4-цилиндровых 4-тактных двигателей - ДНБ-4 и "Каспий-65" (рис. 5) возможно создание нового двигателя с искровым зажиганием, но работающий на дизельном топливе и имеющий эффективный КПД выше, чем у дизельного двигателя.

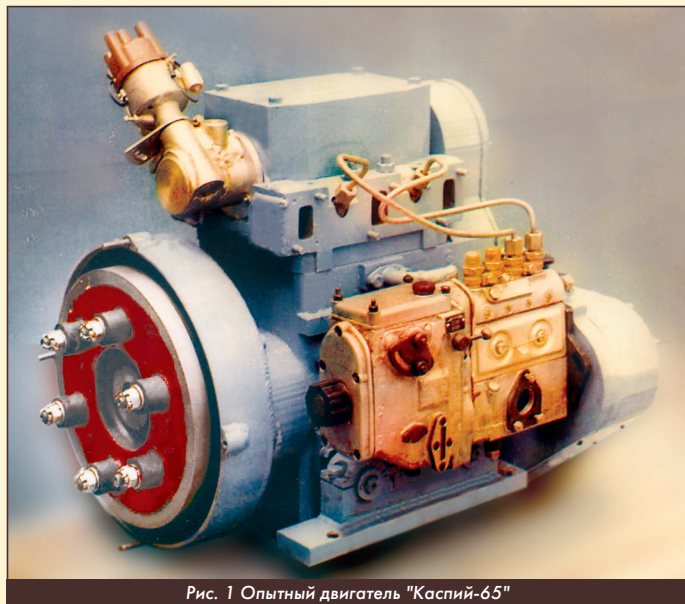


Рис. 1 Опытный двигатель "Каспий-65"

Преимущества нового двигателя по сравнению с традиционным дизелем:

1. Токсичность отработавших газов снижается в 3...5 раз. Для дополнительного снижения токсичности могут быть использованы средства по снижению токсичности ОГ, применяемые в современном двигателестроении.

2. Экономичность нового двигателя будет выше, чем у дизеля на 9 % благодаря уменьшению механических потерь и сокращению продолжительности сгорания топлива по углу поворота коленчатого вала (механический КПД равен 0,83 вместо 0,78) при увеличении литровой мощности на 14 % [4].

3. Уменьшение массы двигателя при одинаковой мощности примерно в 2 раза.

4. Возможность увеличения мощности увеличением частоты вращения до $n = 6000$ об/мин., тогда как нормальная работа дизеля ограничена 4000 об/мин.

5. Стоимость предлагаемого двигателя в 1,3...1,6 раза ниже (на уровне стоимости современного бензинового двигателя).

6. Многотопливность, т.е. способность работы без детонации на низкооктановых сортах топлива и, в связи с этим, более низкая стоимость топлива. Например, стоимость бензина А-80 на 20 % ниже стоимости дизельного топлива.

7. При применении в конструкции нового дизеля БСМ решается проблема вибраций двигателя с малым (2 или 4 цилиндра) числом цилиндров, что особенно важно именно для дизельного двигателя.

Становится возможным создание морских подвесных дизельных двигателей большой мощности, дизель-генераторных и гибридных силовых установок с передовыми массо-габаритными и эффективными характеристиками.

Литература

1. Баландин С.С. Бесшатунные двигатели внутреннего сгорания. - М.: Машиностроение, 1972. стр.39.
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. Лашманов В.В., Костин А.И. Первые результаты испытаний макетного образца двигателя // Двигателестроение, 2003. - № 2.
4. Костин А.И. ДВС с послойным смесеобразованием, Материалы X Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы управления качеством производства и эксплуатации автотракторных средств", Владимирского Гос. Университета, 2004 г., с.254-256.
5. 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.

Связь с автором: miller_amida@mail.ru