

## ПЕРСПЕКТИВНАЯ ВИНТОМОТОРНАЯ УСТАНОВКА НА БАЗЕ ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЗК-2000 «МОДУЛЬ-Д»

**Аннотация.** В статье приводится краткий анализ современного состояния дел в сфере силовых установок для легких воздушных судов на территории России. Обосновывается направления конструирования силовой установки для ремоторизации самолёта Як-52. Рассматриваются результаты испытания первого экземпляра двигателя. Составляются новые требования к внешнему облику винтомоторной установки на базе нового двигателя ЗК-2000 «Модуль-Д».

В настоящее время в России отсутствуют двигатели для лёгких воздушных судов. К ним в частности относятся самолёты авиации общего назначения взлётной массой от 1 до 5 тонн. Выяснение причин, почему так получилось, не является целью данной статьи. Следует сфокусироваться на том, что проблема осознана в различных слоях авиационного сообщества и предпринимаются шаги к исправлению ситуации. Из доступных публикаций можно выделить несколько точек роста. Первая, это, безусловно, ЦИАМ им. Баранова. Отделом авиационных поршневых двигателей проведены исследования по определению потребностей в авиационных поршневых двигателях на период до 2035 года и ведутся работы по созданию разного типа двигателей [1]. Это классические четырёхтактные поршневые двигатели, роторнопоршневые двигатели и турбокомпаундные силовые установки. Подробнее можно ознакомиться в работах [2,3]. Вторая точка роста, это кафедра двигателей внутреннего сгорания Уфимского государственного Авиационного технического университета. В этом центре разрабатываются и изготавливаются как четырёх так и двухтактные авиационные поршневые двигатели. Большое внимание этой группой уделяется задаче обеспечения многотопливности авиационного двигателя. Подробнее о результатах можно узнать в работах [4,5]. Продолжаются работы по модернизации двигателя М-14П на Опытном конструкторском Бюро Моторостроения, г. Воронеж [6]. Ещё один четырёхтактный звездообразный двигатель разрабатывается в компании ООО «Промсервис» г. Истра [7]. Его конструкция родилась в результате аналитической работы [8].

Однако попытка применения этих двигателей в реальных условиях эксплуатации Сибири, в частности на посадочной площадке «Мочище» показала, что это или слишком дорого или всё ещё не возможно по причине отсутствия серийных образцов двигателя. По этому, была инициирована разработка своего двигателя, главными критериями которого являются доступная цена и возможность эксплуатации в суровых зимних условиях. В силу того, что необходимый для сибирского региона лёгкий самолёт с взлётной массой от 1.2 до 1.5 тонн отсутствует, в качестве базовой была поставлена задача ремоторизации самолёта Як-52, где используется мотор нужного целевого диапазона от 350 до 400 л.с.

Анализ рынка авиационных поршневых двигателей показывает, что цена за лошадиную силу (euro/л.с.) лежит в диапазоне от 170 (rotax 912) до 300 euro/л.с (RED). То есть наблюдается тенденция к повышению удельной стоимости с повышением мощности двигателя. Опрос эксплуатантов показал, что за 350-400 сильный двигатель не готовы платить даже по 170 евро за лошадиную силу. Желаемый уровень это 70 euro/л.с. В экономических расчётах принято использовать понятие удельной стоимости отнесённой к килограмму изделия. Для перехода к этой величине необходимо принять во внимание показатель удельной мощности двигателя. Проанализировав справочную литературу [9], не сложно заметить, что для двухтактных двигателей этот показатель составляет 0.5-0.6 кг/л.с., для четырёхтактных 0.7-0.9 кг/л.с. Тогда удельная рыночная стоимость двухтактного двигателя должна быть в пределах 120-140 евро за кг. Для четырёхтактных 70-100 евро за килограмм. Рыночная цена двигателя с удельными показателями 100 евро за килограмм характерна для автомобильных двигателей премиум класса, массовость выпуска которых выше 10 тыс. штук в год. Потребность в авиационных поршневых двигателях мощностью 400 л.с., по самым оптимистическим прогнозам, не превысит 100 штук в год. По этим причинам удержание удельной стоимости двигателя 100-140 евро за килограмм представляет очень сложную задачу.

Для её решения была выбрана следующая концепция: 1) Двигатель строить по двухтактной схеме; 2) максимальное использование алюминиевых сплавов. Доля цены за материал при замене стальных изделий на алюминиевые увеличивается с 1 до 3.3 процентов, но можно в 2-3 раза уменьшить стоимость обработки деталей. В общей структуре цены это может принести снижение стоимости за килограмм изделия на 10-12%.

Необходимым условием работы алюминиевых деталей в паре трения является их обработка с помощью Плазменно-Электролитического оксидирования (ПЭО обработка). Процесс не слишком затратный, в среднем стоимость обработки не превышает 12-13 евро за кв.дм. В удельной цене доля ПЭО обработки составляет 1%. Единственный крупный недостаток технологии это длительность процесса ПЭО обработки и необходимость специальной конструкторской проработки изделия для обеспечения возможности качественной обработки трущейся поверхности.

Компанией ЗК-Мотор в содружестве с Новосибирским Государственным Техническим Университетом и Институтом Неорганической Химии. Был спроектирован и изготовлен первый целиком алюминиевый двигатель ЗК-4000 «Аэроэндуро». Более подробно о его технических характеристиках и применение ПЭО технологии можно ознакомиться в работе [10]. Двигатель прошёл первоначальные испытания совместно с винтом В-530-Д11 диаметром 2.75 метра на наземном стенде (рис.1).



Рисунок 1 – Двигатель ЗК-4000 «Аэроэндуро» на испытательном стенде.

Общая наработка двигателя составила 10 часов. На рис. 2. представлен расчётный график внешней характеристики двигателя и результат измерений максимальной мощности.

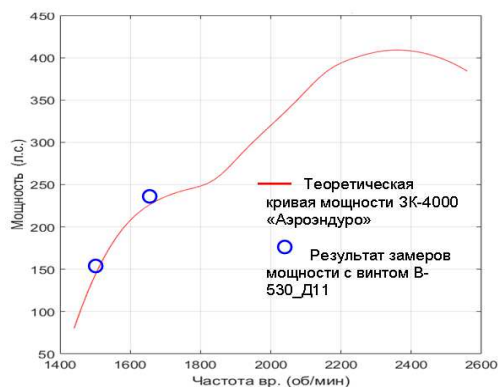


Рисунок 2 –Теоретическая внешняя характеристика двигателя ЗК-4000 «Аэроэндуро» и результаты измерений на стенде с винтом В-530-Д11.

Максимально зафиксированные показатели составили 240 л.с. при 1650 об/мин. На заданные показатели в 400 л.с. помешало выйти отсутствие подходящего по диаметру винта. В планах было продолжить испытания с винтом В-530-Д35 или MTV-9 однако после 10 часов работы обнаружилось сильное дымление одного из цилиндров в результате чего испытание было решено прекратить.

После испытаний двигатель был разобран и проведена инспекция трущихся поверхностей. На рис.3 представлены фотографии нижней головки шатуна и шипа кривошипа дымящего цилиндра.

Было обнаружено, что произошёл скол упрочнённого слоя на острой кромке масляной канавки шатуна. В результате этого образовался задир в паре трения, и продуктами износа был повреждён уплотнительный сальник масляной системы. Это и вызвало повышенное дымление.



а)

а) Кривошип коленвала;



б)

б) Нижняя головка шатуна

Рисунок 3 – Состояние пары трения в нижней головки шатуна дымящего цилиндра.

Были проинспектированы остальные нижние головки шатунов, но там неисправностей не выявлено. Проведённые измерения с помощью микрометрического инструмента износа не обнаружили (рис. 4).



а)

а) Кривошип коленвала;



б)

б) Нижняя головка шатуна

Рисунок 4 – Состояние пары трения в нижней головки шатуна исправного цилиндра.

Были осмотрены так же зубья шестерён алюминиевого редуктора. Обработанные ПЭО технологией поверхности зубьев в процессе работы получили дополнительную прикатку, что выразилось в потемнении поверхности в зоне контакта зубьев. Обнаружено некоторое увеличение бокового зазора на 0.02-0.03 мм. Однако в целом зубчатое зацепление остается работоспособным и пригодным к дальнейшей эксплуатации. При замене коленвала с задранной шатунной шейкой двигатель пригоден к дальнейшей эксплуатации, однако с целью экономии времени и ресурсов его испытание было решено прекратить, и переключится на создание нового алюминиевого двигателя проекта ЗК-2000 «Модуль-Д».

Основные требования к конструкции нового двигателя остались прежними двигатель должен быть двухтактным и выполнен из алюминиевых сплавов с обработкой трущихся поверхностей с помощью ПЭО технологии. Основные характеристики проиллюстрированы таблицей 1.

Таблица 1. Основные характеристики Двигателя ЗК-2000 «Модуль-Д»

1	2	3	4	5
Мощность двигателя, л.с.	Рабочий объем, куб. см	Масса двигателя (без жидкостей) кг.	Габаритные размеры (ДхШхВ), мм	охлаждение
200	2035	100	583х632х572	водяное

Главным отличием новой конструкции является то, что 400 сильный двигатель получается с помощью спаривания двух двигателей, которые могут являться самостоятельными силовыми установками рис 5.

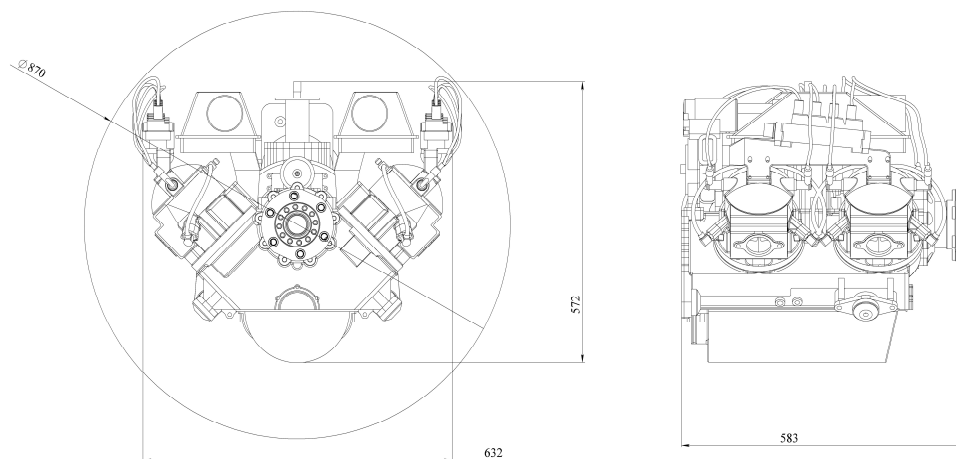
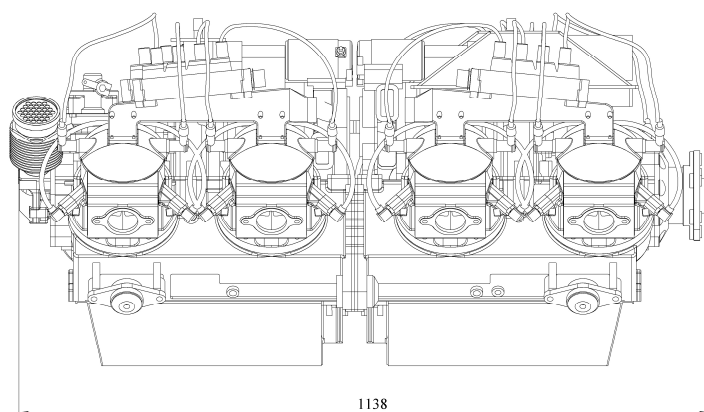


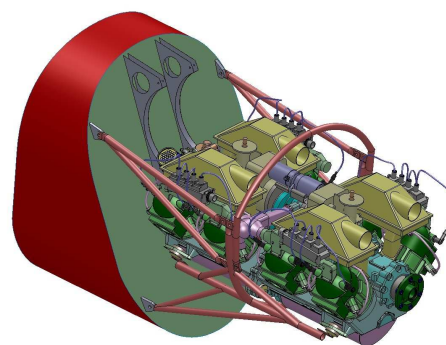
Рисунок 5 – Габаритные размеры двигателя ЗК-2000 «Модуль-Д».

При этом возможны различные конфигурации при установке на самолёт, что должно принести расширение сферы применения и повысить серийность выпускаемого двигателя. Двигатель рассчитан на применение, как с винтами правого, так и левого вращения, по этому в самом простом случае спаривания двигателя «Модуль-Д» стыкуются задними плитами и во втором двигателе меняется выходной вал. Этот вал позволяет произвести стыковку с фланцем винта переднего двигателя, а так же присоединить компрессор АК-50 и регулятор Р-2 (рис. 6(а)).



а)

а) длина спаренного двигателя;



б)

б) Предварительная компоновка на фюзеляж ЯК-52

Рисунок 6 –Двигателя ЗК-4000 «Спарка».

С винтами ВД-530 или MTV-9 получается винтомоторная группа пригодная для установки на самолёт ЯК-52. На рис 6(б) представлена эскизная компоновка двигателя на передней части фюзеляжа самолёта Як-52. В случае замены двигателя М-14П мотораму и капоты придётся изготавливать новые, однако предварительные расчёты показывают, что новая силовая установка позволит вписаться в допустимые пределы центровки самолёта.



Более сложный вариант который позволяет реализовать конструкция ЗК-2000 «Модуль - Д» это схема с соосными винами. Размеры алюминиевого выходного вала позволяют провести в нём ещё один стальной вал для обеспечения противоположного вращения второго винта. Механическая синхронизация соосных винтов в данной силовой установке не предусматривается. На данном этапе конкретного воздушного винта под эту задачу не существует. Требуют так же дополнительной проработки система регулировки шага винтов соосной схемы.

Для того чтобы избавиться от большого количества сальников присутствовавших на предыдущем варианте конструкции ЗК-4000 «Аэрозндуро» где продувка шла через кривошипную камеру, в новой конструкции поршни соединяются с кривошипно-шатунным механизмом через промежуточный ползун. На ползуне установлены маслосъёмные кольца. На поршне установлено только компрессионное кольцо.

Система смазки двигателя с «сухим» картером. Система откачки масла из картера предусматривает возможность долговременной работы двигателя в перевернутом положении и в вертикальном положении. Однако установочное положение на самолёте должно быть выполнено головками цилиндров вверх.

Двигатель имеет дублированную полностью независимую систему зажигания и топливоподачи. На каждый цилиндр устанавливается пара свечей и топливных форсунок. Каждый контур управляется своим электронным блоком управления. Двигатель рассчитан на применение авиационного бензина Б-91, выпуск которого возобновился в России.

Водяная система охлаждения рассчитана на применение предпускового подогревателя, что является необходимым условием эксплуатации в условиях Сибири и Крайнего Севера. Систему охлаждения так же можно выполнить по дублированной схеме, замкнув каждые 4 цилиндра в отдельный контур.

Технологические решения применённые при создании кривошипно-шатунного механизма двигателя ЗК-2000 «Модуль-Д» проверены на предыдущем двигателе ЗК-4000 «Аэрозндуро». Новизной данной конструкции будет применение собственной цилиндропоршневой группы, поверхности которой так же обработаны с помощью ПЭО технологии. По результатам испытаний намеченных на 2019 год будет приниматься решение о выпуске установочной партии для прохождения испытаний необходимых для получения сертификата типа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Костюченков А.Н., Минин В. П. Работы ЦИАМ в обеспечение создания НТЗ в области авиационных поршневых двигателей // Сборник тезисов докладов Всероссийской научно-технической конференции «Авиадвигатели XXI века» (Москва, 24-27 ноября, 2015.). Москва, 2015.– С. 64-67
2. Костюченков А.Н.,Финкельберг Л.А. Повышение эффективности перспективных авиационных поршневых двигателей//Сборник тезисов докладов симпозиума НТКД-2018( Москва, 4-6 апреля 2018г.).-Москва, 2018.– С. 282–284
3. Филькенберг Л.А. Авиационные поршневые двигатели XXI века// Интервью 7 декабря 2017 г. URL: <http://www.ciam.ru/press-center/interview/aviation-piston-engines-of-the-xxi-century/>
4. Еникеев Р.Д. Семейство перспективных авиационных поршневых двигателей АПД-УФА//доклады конференции «Технические концепции и проекты создания авиационных двигателей для малой и региональной авиации» (Москва, 3 ноября 2017г.)
5. Еникеев Р.Д., Борисов А.О. Перспективные методы регулирования двигателей внутреннего сгорания. Учебное пособие. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа: УГАТУ, 2009. – 110 с/
6. Байрамов Р.С. Перспективы развития двигателей серии М14 // 24.03.14 URL : <https://okbm.ru/Publ/Articles.pdf>
7. Бабенко Э.Б. Преимущества и недостатки нижнееклапанной компоновки авиационных поршневых радиальных двигателей на примере двигателя «РИТМ» мощностью 200 л.с.// Сборник тезисов докладов симпозиума НТКД-2018( Москва, 4-6 апреля 2018г.).-Москва, 2018.– С. 282–284
8. Бабенко Э.Б. Поршневые авиационные двигатели. Анализ современного состояния // Истринский авиатор 8/2 2009 г. URL: <http://www.istra.aero/node/55>
9. Hellmut Penner H.,Herzog F. Faszination Ultraleichtfliegen //Motorbuch Verlag, Postfach 103743, 70032 Stuttgart Ein Unternehmen der Paul Pietsch-Verlage GmbH&Co. ISBN : 978-3-613-03332-0
10. Зверков И.Д., Коваль Н.А., Рогов А.Б. Внедрение технологии плазменно-электролитического оксидирования в разрабатываемый авиационный поршневой двигатель // Сборник докладов XI конференции по амфибийной и безаэродромной авиации «Гидроавиасалон – 2016» .(Геленджик, 23-24 сентября, 2016.). Москва 2016. С. 186 –191.