

УДК 62-97/-98

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНВЕРТИРОВАННЫХ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКЕ

В. А. Морозов

В данной работе получен сравнительный анализ характеристик малогабаритных двигателей внутреннего сгорания и особенностей их эксплуатации. Рассмотрена возможность применения конвертированных поршневых двигателей неавиационного назначения в авиационной технике, проведена серия наземных и лётных испытаний на самолёте летающей лаборатории. Проведён сравнительный анализ двухтактных и четырёхтактных а также специализированных двигателей и авиаконверсий. Предложена методика построения технологического процесса перевода поршневого двигателя бытового назначения в авиационную конверсию. Предложена методика наземных испытаний для замера параметров и диагностики малогабаритных поршневых двигателей, на испытательном стенде. Построены характеристики зависимостей режима работы двигателя от тяги, оборотов и крутящего момента, замерен расход топлива, время приёмистости исследуемых двигателей.

Ключевые слова: конвертированный поршневой двигатель; испытательный стенд; малогабаритный двигатель внутреннего сгорания; исследования особенностей эксплуатации; авиационная конверсия; наземные испытания; лётные испытания; поршневой двигатель.

В настоящее время идёт активное развитие темы разработки малогабаритных двигателей внутреннего сгорания (МДВС). Так в Самарском университете разработали малогабаритный поршневой двигатель мощностью 5 л.с. [1]. В ходе выставки «HeliRussia 2016» красноярская компания НПП «Автономные аэрокосмические системы» представила свои разработки и новые проекты в сфере малогабаритных авиационных поршневых двигателей (ДВС). Компания «Автономные аэрокосмические системы» несколько лет назад взялись за создание линейки собственных двухцилиндровых двухтактных оппозитных бензиновых двигателей, предназначенных для использования в легкомоторной авиации, беспилотных летательных аппаратов (БЛА) самолётного и вертолётного типов и на парамоторах [2].

В настоящее время в сфере авиации существует направление – перевод двигателя от наземной, бытовой и другой неавиационной техники в авиационную конверсию, с целью сокращения расходов на приобретение специализированного авиационного двигателя, а

также сокращения расходов на его лётную и техническую эксплуатацию.

Авиаконверсия – внесение изменений в конструкцию двигателя, предназначенного для других задач с целью перевода его в авиационную версию, удовлетворяющую требуемым характеристикам, прочности, надёжности, эксплуатационной пригодности, экономической целесообразности. Конвертированные двигатели имеют ряд преимуществ, и ряд недостатков, но, безусловно являются важным направлением в авиации. В настоящий момент в свободном доступе очень мало информации по теме авиаконверсии, основным источником информации являются форумы конструкторов–энтузиастов.

В авиации общего назначения как никогда популярны дешёвые решения, которые воплощают в жизнь конструкторы-энтузиасты. Такие решения популярны при изготовлении парапланов, дельталетов, малых летательных аппаратов (ЛА), как например в самолёте Heath Super Parasol (рис. 1) используется конвертиро-

© Морозов В. А., 2024.

Морозов Владислав Андреевич (morozovv.01@yandex.ru),

магистрант I курса института авиационной и ракетно-космической техники Самарского университета, 443086, Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34.

ванный двигатель Lifan 2V78F-2A [3], который предназначен для установки на малую технику бытового применения. Этот двигатель имеет мощность 24 л.с., вес 47 кг. В его состав входят генератор, электростартер, датчик давления масла.

В работе [4] представлен способ адаптации двухтактного двухцилиндрового двигателя внутреннего сгорания «PM3 – 640» (рис. 2) от снегохода «Буран», где рассмотрены тепловые расчеты двигателя по методике И.И. Вибе, тепловой баланс, кинематический, динамический, прочностной расчет двигателя, расчёты узлов и отдельных агрегатов. Автор предложил мероприятия по адаптации двухтактного двигателя внутреннего сгорания для беспилотных летательных аппаратов. Эти мероприятия так же направлены на повышение безопасности эксплуатации, снижение шума и на уменьшение токсичных веществ, выбрасываемых в атмосферу.

В статье [5] рассмотрен технологический процесс перевода двигателя от снегохода PM3-640 в авиационную конверсию. Двигатель обладает мощностью 27 л.с. и весом 45 кг. Автор статьи отмечает проблемы, связанные с перегревом цилиндров и прогаром поршней.

Далее рассмотрим некоторые двигатели, которые были произведены путем использования технологий изготовления моторов для мотоциклетной техники – мопеды, скутеры, мотороллеры. Например, использование дешевой и распространённой технологии напыления зеркала цилиндра оксидом алюминия. ПД «ROTAX-912» (рис. 3) – бензиновый, четырёхтактный, четырёхцилиндровый, с оппозитным расположением цилиндров, Rotax 582 – двухтактный двухцилиндровый мотор, входящий в линейку моторов [6].



Фото взяты из сети Интернет в свободном доступе

Рис. 1. Самолёт Health Syper Parasol на стоянке (слева), мотор Lifan на самолёте (в центре) и общий вид (справа)



Фото взяты из сети Интернет в свободном доступе

Рис. 2. Двигатель «PM3-640» на снегоходе «БУРАН» (слева), общий вид (в центре), применение двигателя на самолете АОН «Ветерок»



Фото взяты из сети Интернет в свободном доступе

Рис. 3. ROTAX 912 общий вид (слева сверху), ЛА Shahed 129 (справа сверху), судно на воздушной подушке (слева снизу), УТ самолет Авантаж А-27 (справа снизу)

Для создания ЛА зачастую выбор доступного и экономичного решения выбора двигателя является серьёзной проблемой. Поэтому целью моей работы является разработка рекомендаций по выбору поршневых двигателей для ЛА, исходя из их характеристик и особенностей эксплуатации. Кроме того не существует критериев пригодности двигателя к переводу его в авиационную конверсию. Также не существует сравнительного анализа конвертированных ДВС со своими аналогами, что будет одной из целей данной работы.

Условия и методы исследования

Для данной работы потребовался анализ информации по МДВС и ДВС из сети интернет, практические навыки работы на станках ЧПУ (лазерный станок, фрезерный станок, 3D-принтер), токарный станок типа ТВ-125, навыки работы с композитными материалами, навыки проектирования, эксплуатации авиационной техники, проведения доводочных работ, написание технической документации, технического и наземного обслуживания, навыки проектирования и аэродинамических расчётов.

Применяемые методы исследования: сравнение, наблюдение, эксперимент, измерения.

Сравнительный анализ характеристик аналогов малогабаритных поршневых авиадвигателей и особенности их эксплуатации

Рассмотрим предложения малогабаритных поршневых двигателей (МДВС) в диапазоне до 5 л.с., представленных на рынке. Рассмотрим GF 40I, DLE 40, SAITO FG-61TS, SAITO FG-40 (рис.4). Характеристики приведены в табл. 1.

Выбор объектов эксплуатации для авиаконверсии

В качестве объектов для авиаконверсии выбраны двигатели от бензокос: Favourite 56 ВТ и Honda GX35 (рис. 5). Характеристики взяты из сети интернет, а также частично определены при испытаниях конвертированных двигателей на стенде табл. 2. Данные двигатели находятся в одном мощностном (до 5 л.с.) и весовом (до 3 кг) диапазоне.

Оба мотора оборудованы крыльчаткой на валу для охлаждения цилиндра в пластиковом корпусе. В полете мотор получает дополнительное охлаждение от ВВ (воздушного винта). Конструктивно состоят из корпуса, вала, ЦПГ, слева установлен карбюратор и впускной клапан, справа выпускной клапан и глушитель. У 4-тактного МДВС имеется ГРМ, который приводится в движение ремнём, а также картер, в который заливается моторное масло.



Фото взяты из сети Интернет в свободном доступе

Рис. 4. Слева направо: GF 40I, DLE 40, SAITO FG-61TS, SAITO FG-40 – МДВС

Таблица 1

Сравнительный анализ МДВС авиамodelьных двигателей

Наименование/ Характеристики	GF 40 I	DLE 40	SAITO FG-61TS	SAITO FG-40
Объём, см ³	40	40	61	40
Тактность	2Т	2Т	4Т	4Т
Мощность, л.с.	3,95	4,8	2,5	1,7
Смесеобразование	Карбюратор	Карбюратор	Карбюратор	Карбюратор
Обороты, об/мин	2000 – 7200	1500 – 8500	1500 – 7400	1700 – 8000
Количество цилиндров, расположение	1, горизонтально	2, оппозитный, вертикально	2, оппозитный, вертикально	1, горизонтально
Наличие и тип стартера	Внешний стартер, докупается отдельно			
Вибрация	высокая	высокая	низкая	низкая
Производство	Китай	Китай	Япония	Япония
Вес, кг	1,566	1,5	2,360	1,75
Зажигание	1 свеча, внешнее от АКБ	2 свечи, внешнее от АКБ	2 свечи, внешнее от АКБ	1 свеча, внешнее от АКБ
Тип топлива	Бензин АИ-92 + масло 2Т	Бензин АИ-92 + масло 2Т	Бензин АИ-92	Бензин АИ-92
Расход топлива	нет данных	нет данных	нет данных	1,8
Цена, руб.	15500	81300	177600	70100



Фото взяты из сети Интернет в свободном доступе

Рис. 5. Двигатели от бензотриммеров «Favourite BT56» (слева) и «Honda GX35» (справа)

Сравнительный анализ 2- и 4-тактных ДВС, МДВС, специализированных ДВС и авиаконверсий

Составим сводную табл. 3 для ДВС (включая МДВС) до 200 л.с., где представлены следующие характеристики: количество тактов, цена, руб, Мощность, л.с., Рабочий объём, см³, АК – Авиационная конверсия (является ли мотор специализированным или это авиаконверсия), К – отношение мощности к весу двигателя (удельная мощность), Q – расход топлива, л/ч.

Если сравнивать характеристики 2х-тактных и 4х-тактных двигателей при равных оборотах коленчатого вала, то можно увидеть, что мощность 2-тактных выше, так как за одно и то же число оборотов у 2-тактного двигателя рабочих циклов в два раза больше, но вследствие того, что часть хода поршня теряется за счёт выпускных и продувочных окон, а механические потери больше (наличие продувочного насоса), мощность двухтактных двигателей не в два, а примерно в 1,6–1,7 раза превышает мощность четырехтактных двигателей [4].

У четырёхтактных ДВС наблюдается увеличение удельной мощности, с увеличением рабочего объёма (рис. 6). Как показывает

практика ДВС с четырьмя тактами, больше распространены на мощностях от 50 л.с.

У 2-тактных ДВС наблюдается более резкое увеличение удельной мощности, чем у 4-тактных ДВС, но 2-тактные ДВС получили большое распространение в диапазоне от 0 до 50 л.с. по ряду причин, рассмотренных далее.

Согласно рис. 7, 4-тактные ДВС экономичнее чем 2-тактные, в связи с разными принципами организации тепловых процессов.

В 2-тактном двигателе масло подается вместе с топливом в виде топливной смеси и большая часть масла выплевывается с выхлопом, в связи с чем, в месте выхлопа появляется черный масляный след. В двигателе 1-й такт поршня паразитный с «выплыванием» несгоревшей ТВС, 2-й такт полезный.

В 4-тактном двигателе масло находится в картере двигателя и заливается отдельно. В бензобаке находится чистый бензин, соответственно выхлоп гораздо чище. Также в бензиновом двигателе нет паразитных ходов, один такт полезный (рабочий ход), три такта – подготовительных (впуск, сжатие, выпуск).

Таблица 2

Характеристики конвертированных двигателей, по паспорту

Наименование/ Характеристики	Favourite 56 BT AVIA	Honda GX35 AVIA
Объём, см ³	56	35
Тактность	2Т	4Т
Мощность, л.с.	3,3	1,3
Смесеобразование	карбюратор	карбюратор
Обороты, об/мин	2000–9000	3000–7000
Количество цилиндров, их расположение	1, горизонтальный	1, горизонтальный
Наличие и тип стартера	ручной, возможность установки электростартера	ручной, возможность установки электростартера
Вибрация	высокая	низкая
Производство	Китай	Япония
Вес исходный, кг	3,5	3,46
Вес после конвертации, кг	2,6	2,7
Зажигание	1 свеча, магнитный датчик	1 свеча, магнитный датчик
Тип топлива	Смесь бензин + масло (1:40)	бензин
Расход топлива	1,7 л/ч при 9000 об/мин	0,71 л/ч при 7000 об/мин
Максимальный крутящий момент	3,3 Нм	1,61 Нм (0,16 кгм) при 5500 об/мин
Объём масла в двигателе	Масло в топливной смеси	0,1 л
Цена исходного двигателя	5000 р	13740 р
Цена конвертации	1200 р	1500 р

Таблица 3

Сводная таблица характеристик ДВС

Название	Такт	Цена, руб	Мощность, л.с.	Вес, кг	Рабочий объём, см ³	АК	К	Q, л/ч
Honda GX35 AVIA	4T	15240	1,3	2,7	35	да	0,48	0,71
SAITO FG-40	4T	70100	1,7	1,75	40	нет	0,97	1,8
SAITO FG-61TS	4T	177600	2,5	2,36	61	нет	1,06	нет данных
Favourite BT 56 AVIA	2T	6200	3,3	2,8	56	да	1,18	1,7
GF 40 I	2T	15500	3,95	1,57	40	нет	2,52	нет данных
DLE 40	2T	81300	4,8	1,5	40	нет	3,2	нет данных
Lifan 2V78F-2A AVIA	4T	100000	22	47	688	да	0,47	6,9
PM3-640 АВИА	2T	160000	27	45	635	да	0,6	27
MD550	2T	нет данных	50	16	548	нет	3,13	15
ROTAX 912 ULS	4T	4000000	80	59,8	1352	нет	1,34	25
ROTAX 582	2T	нет данных	64,4	34,3	580	нет	1,88	10
BA3 2112 АВИА	4T	210000	136	114	1700	Да	1,19	14
Lycoming 0-360	4T	2000000	180	117	5900	нет	1,54	34

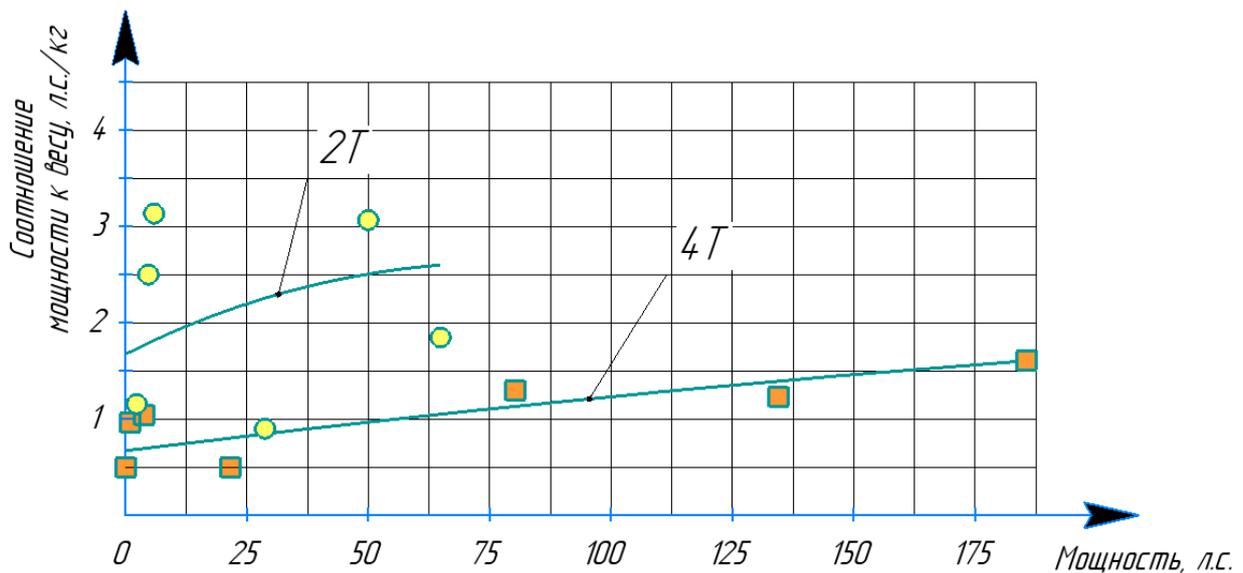


Рис. 6. Зависимость коэффициента удельной мощности и 2-тактных и 4-тактных ДВС

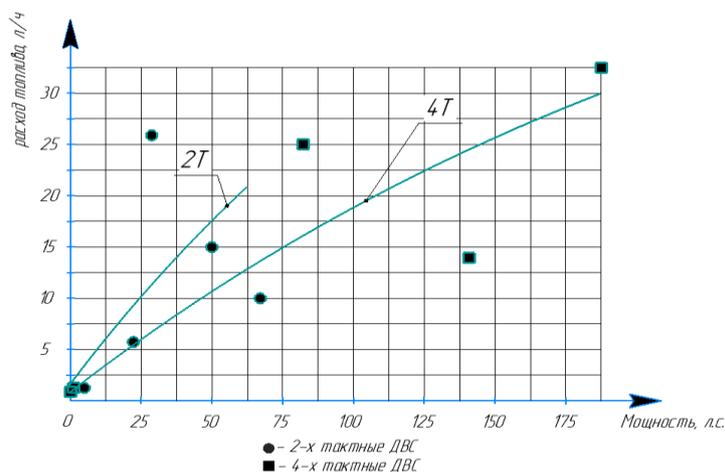


Рис. 7. Зависимость расхода топлива от мощности ДВС

Таким образом, существенным недостатком 2-тактных двигателей является худшая топливная экономичность (20–30 %) и низкая экологичность отработавших газов, в связи с неполным сгоранием масла, и его выбросом в выхлоп. Эмпирически определено, что уровень шума в 2-тактных двигателях, как правило, выше, чем в 4-тактных [4].

Графики на рис. 8, показывают, что по показателю удельной мощности (К), которая является главным параметром в подборе двигателя для ЛА, конвертированные двигатели немного уступают специализированным ДВС, и могут составить конкуренцию.

На рис. 8 слева отмечены конвертированные ДВС «Favourite VT 56 AVIA» и «HONDA GX35 AVIA», которые являются объектами эксплуатации в работе.

По удельной мощности они уступают специализированным МДВС (рис. 9), однако

образом конвертированные ДВС гораздо дешевле специализированных ДВС.

Преимущества и недостатки 2Т и 4Т ДВС:

- 2-тактные моторы по показателю удельной мощности эффективны в диапазоне до 50 л.с., в диапазоне более 50 л.с. эффективны 4-тактные ДВС;
- 4-тактные моторы более экономичны чем 2-тактные;
- 4-тактные ДВС имеют менее низкий уровень шума чем 2-тактные;
- 4-тактные ДВС менее токсичны, чем 2-тактные.

Преимущества конвертированных ДВС перед специализированными ДВС:

- финансовая доступность, широкий выбор двигателей на рынке;
- доступность запчастей;
- двигатели идут настроенные с завода (не нужно настраивать);

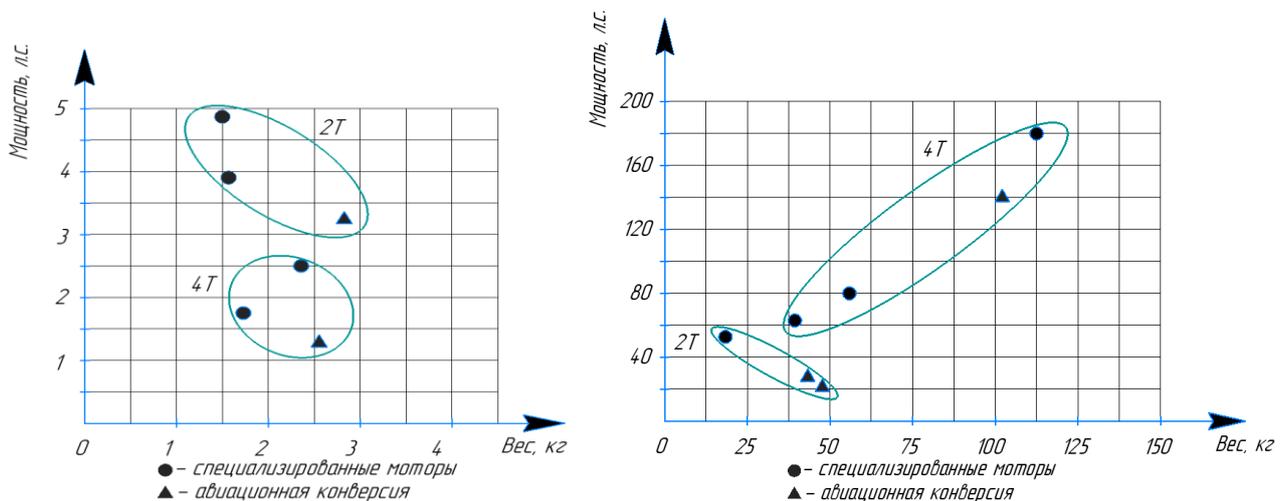


Рис. 8. Сравнение специализированных и конвертированных ДВС от 5 л.с.

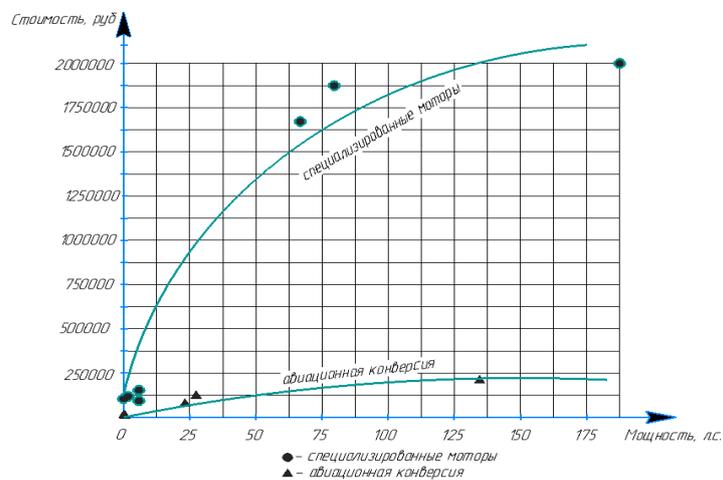


Рис. 9. Зависимость мощности от стоимости ДВС

- для МДВС (до 5 л.с.) ручной стартер в комплекте с двигателем, в отличие от специализированных авиамодельных МДВС, где требуется приобрести внешний или внутренний электростартер для запуска.

Недостатки:

- проигрыш в массе;
- проигрыш в мощности;
- требуется квалифицированные специалисты для решения задач из разных плоскостей (токарное дело, подбор виброопор, слесарные навыки, умение пользоваться измерительным инструментом и т.д.);
- несоответствия требованиям НЛГС АП-23 отсутствие дублированного зажигания;
- требуется большое время для перевода двигателя в авиаконверсию;
- при переводе двигателя в авиаконверсию появляются дополнительные расходы в виде изготовления деталей на токарном станке, на расходные материалы в виде металла и на оборудование, обслуживание инструмента, крепежа, которые складываются в общую стоимость конвертированного мотора;
- по соотношению масса-мощность (удельная мощность) выигрывают специализированные ДВС;
- у конвертированных ДВС остаются невыясненными вопросы надёжности и прочности двигателей, на что необходимы дополнительные исследования.

Результаты и их обсуждение

Существует убеждение, что до 50 л.с. выгоднее использовать двухтактные двигатели, а после 50 л.с. – четырёхтактные по причинам экономичности и удельной мощности. Но так ли это на самом деле. Проведем серию испытаний МДВС с замером характеристик.

В рамках данной работы изготовлены два объекта эксплуатации – конвертированные поршневые малогабаритные моторы от бензокосы «Favourite VT56» (рис. 10) и «Honda GX35» (рис. 11). После перевода в авиаконверсию – присвоены названия «Honda GX35 AVIA» и «Favourite VT56 AVIA» соответственно. Проведён сравнительный анализ с аналогами, выявлены преимущества и недостатки, исследованы и изучены характеристики, а также выявлены и описаны особенности эксплуатации.

Методика построения техпроцесса перевода малогабаритного поршневого двигателя в авиационную конверсию

Целью перевода в авиационную конверсию является создание дешевого, удобного в эксплуатации двигателя, для выполнения задач.

Перевод ДВС в авиационную конверсию представляет собой последовательность действий по изготовлению отдельных элементов двигателя и их монтажу, а также демонтажу лишних элементов с целью облегчения конструкции.

Для выбора двигателя для авиационной конверсии необходимо обращать внимание на следующие критерии:

- удельный вес, параметр подбирается для ЛА индивидуально;
- плоскость вращения выходного вала – необходимо учитывать для установки редуктора и ВВ;
- тактность двигателя – для двухтактных двигателей потребуются виброопоры для установки; для четырёхтактных двигателей виброопоры могут не понадобиться;
- наличие креплений для установки виброопор и крепления моторамы;
- возможность крепления хаба винта – дистанционной втулки для выноса крутящего момента двигателя и крепления ВВ.

Далее представлен *технологический процесс перевода в авиационную конверсию поршневого двигателя от бензиновой косы «FAVOURITE VT 56»* (рис. 12).

Инструменты и оборудование, необходимое для выполнения операций:

- токарный станок ТВ-125, и набор инструментов к нему;
- резцы: проходной, черновой, отрезной;
- набор метчиков и держатели к ним;
- набор инструментов стандартный (кейс);
- штангенциркуль;
- индикатор на стойке;
- линейка;
- кернило;
- набор напильников;
- набор свёрел;
- маркер;
- ветошь;
- керосин или растворитель;
- наждачная бумага;
- перчатки.



Рис. 10. «Favourite 56 BT AVIA» (слева) и исходный вариант (справа)



Рис. 11. «Honda GX35 AVIA» (слева) и исходный вариант (справа)



Рис. 12. Демонтаж деталей мотора от бензокосы

Результаты наземных испытаний МДВС «Favourite BT 56 AVIA» и «Honda GX 35 AVIA»

Наземные испытания конвертированных двигателей проводятся как в на специальном стенде. Стенд позволяет проводить доводочные, регулировочные работы отдельно от самолета, обеспечивая более удобный доступ к узлам двигателя.

Стенд для работ с МДВС (рис. 13) позволяет устанавливать любые моторы мощностью до 5 л.с. с ВВ диаметром до 0,6 м. Стенд имеет возможность крепления дополнительных агрегатов двигателя, топливного бака, магнето, АКБ и т.д. К стенду предусмотрены дополнительные разборные модификации для замера тяги и крутящего момента, оборотов и замера приёмистости на разных режимах работы двигателя.

1.1. Определение количества оборотов от положения дроссельной заслонки (табл. 4)

Замер количества оборотов проводился на различных режимах работы двигателя при помощи лазерного тахометра и специального

маркера, наклеенного на ВВ. Графики представлены на рис. 14.

1.2. Определение тяги ДВС от положения дроссельной заслонки (табл. 5 и 6, рис. 15).

1.3. Определение крутящего момента от положения дроссельной заслонки

Создание стенда для измерения крутящего момента представляет собой трудоёмкий технологический процесс, поэтому обойдёмся приблизительным расчётом с формулой на рис. 16, и будем ориентироваться на график на рисунке 17 – ТХ Honda GX 35 AVIA.

Для Honda GX35 AVIA:

$$M = \frac{P \cdot 9550}{N} = \frac{0,956 \cdot 9550}{5500} = 1,66 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

(где 1,3 л.с = 0,956 кВт).

Для Favourite BT56 AVIA:

$$M = \frac{P \cdot 9550}{N} = \frac{2,43 \cdot 9550}{6500} = 3,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

(где 3,3 л.с = 2,43 кВт).

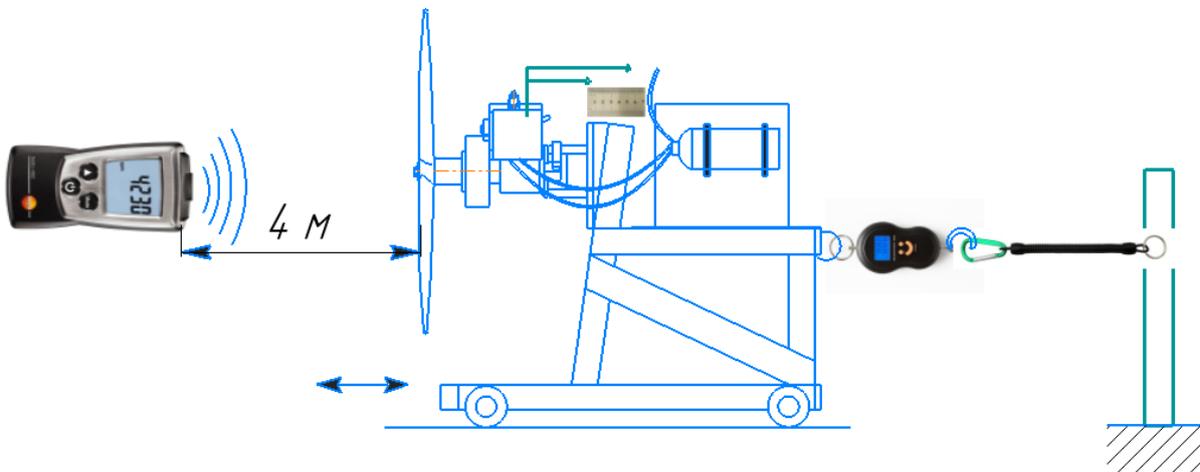
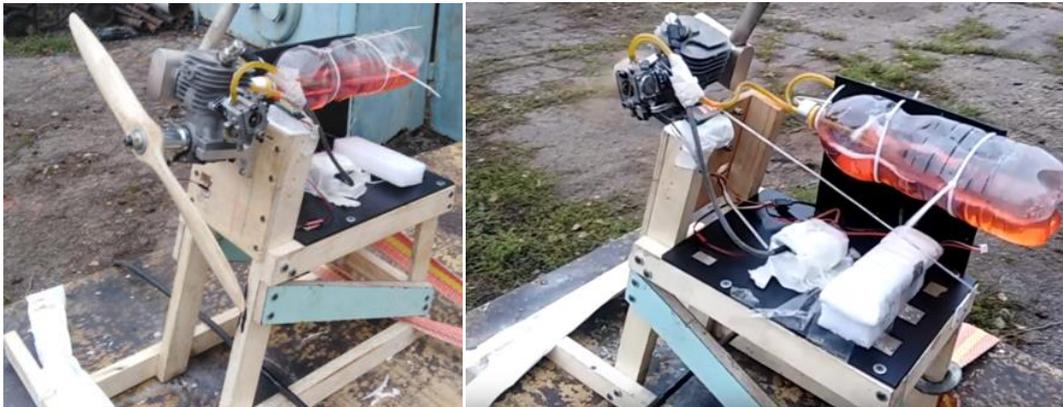


Рис. 13. Стенд для замера характеристик поршневых моторов до 5 л.с. (сверху) и принципиальная схема замера параметров двигателя на стенде (снизу)

Таблица 4

Зависимость оборотов от положения дроссельной заслонки

Favourite BT 56 AVIA		Honda GX 35 AVIA	
Винт 20*8		Винт 20*8	
Положение дросселя, %	Положение дросселя, %	Обороты коленвала, об/мин	Обороты коленвала, об/мин
0	0	3500	2600
25	25	5000	4400
50	50	6000	5150
75	75	7000	6400
100	100	8500	9000

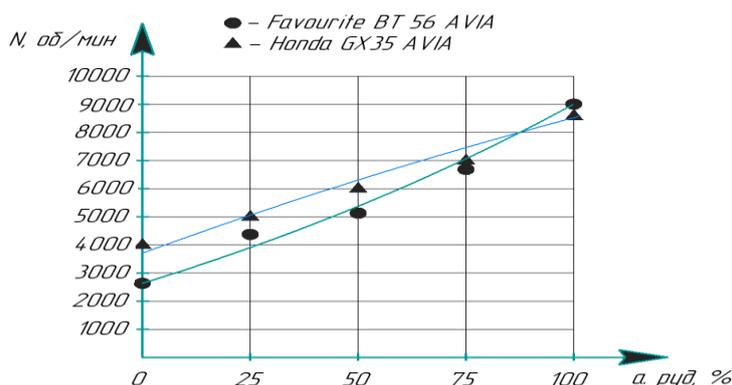


Рис. 14. График зависимости оборотов от положения дросселя для ВВ 20*8 двигателей

Таблица 5

Зависимость тяги от положения дроссельной заслонки для «Favourite BT 56 AVIA»

Винт 18*10		Винт 20*8	
Положение дросселя, %	Тяга, кг	Положение дросселя, %	Тяга, кг
0	1000	0	1300
25	1600	25	2500
50	2500	50	4300
75	3500	75	5500
100	4000	100	6800

Таблица 6

Зависимость тяги от положения дроссельной заслонки для «Honda GX 35 AVIA»

Винт 18*10		Винт 20*8	
Положение дросселя, %	Тяга, кг	Положение дросселя, %	Тяга, кг
0	600	0	1000
25	1000	25	2200
50	1800	50	3800
75	2900	75	5000
100	3600	100	6200

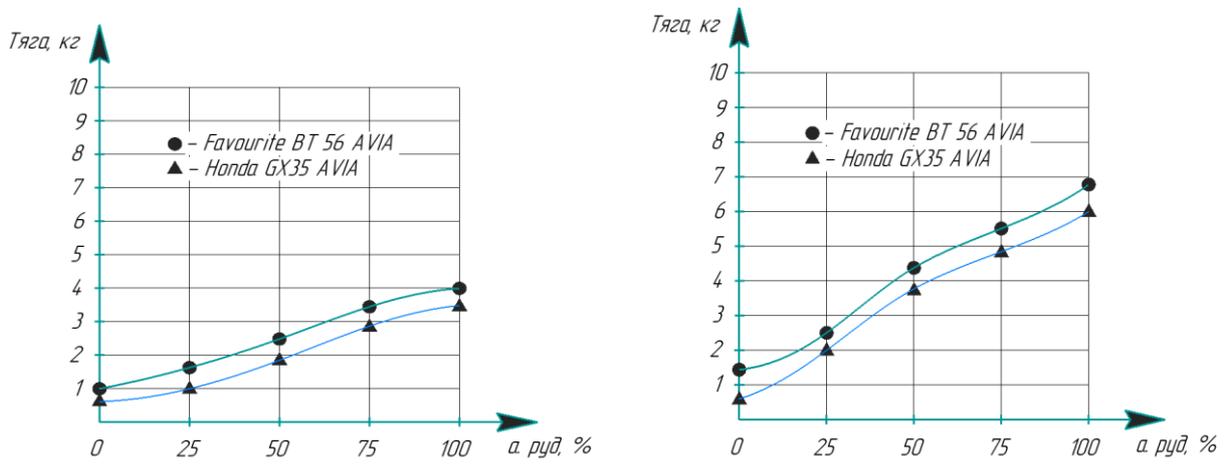


Рис. 15. График зависимости тяги от положения дросселя для воздушных винтов 18*10 и 20*10 обоих двигателей

$$N = \frac{M_{кр} \times n_{max}}{9549}$$

Крутящий момент, Нм (M_{кр}) Число оборотов двигателя, об/мин (n_{max})
 Мощность, кВт (N) Коэффициент (9549)

Рис. 16. Формула определения крутящего момента

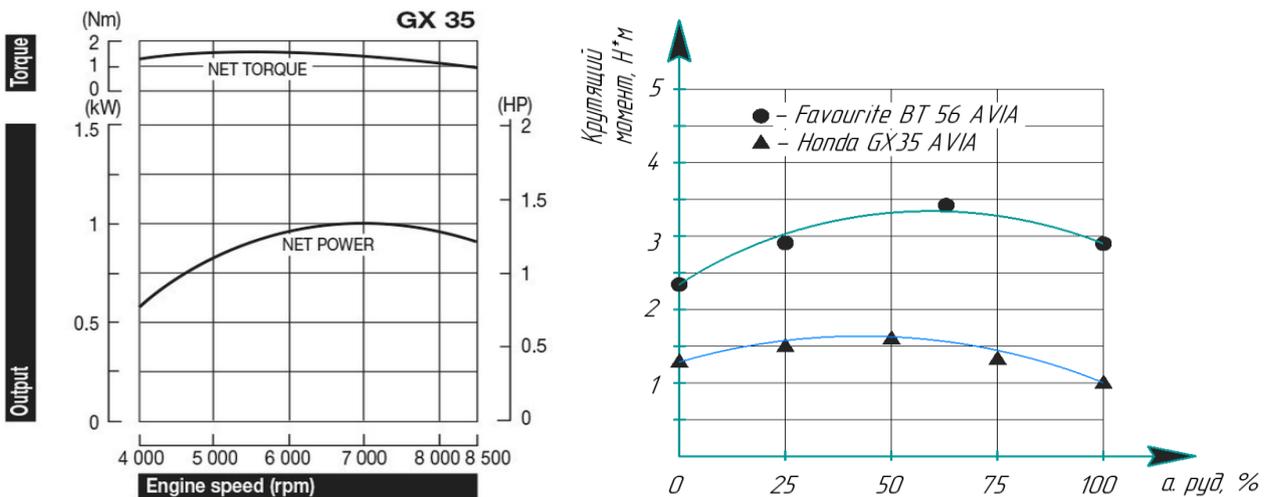


Рис. 17. Зависимость мощности и крутящего момента от оборотов коленвала, двигатель Honda GX-35, график зависимости крутящего момента от положения дросселя для воздушных винтов 20*8 обоих двигателей

Итог испытаний

Favourite BT 56 AVIA: крепление двигателя ненадежное, откручивается, лопнули шпильки, открутился глушитель, слетает насвечник, замечена искра в катушке, имеются проблемы с запуском на горячую и холодную, в целом работает устойчиво, самопроизвольно не глохнет, развивает требуемую тягу. На данный ДВС можно поставить винт большего диаметра, например 22*10, и он будет выдавать большую тягу,

но из за высокого уровня вибрации снижается ресурс двигателя, что критично для долголетающих ЛА.

Honda GX35 AVIA: крепление двигателя ненадёжное, откручивается от вибрации, лопнула шпилька, трудный запуск, проблемы с карбюратором, не развивает требуемую мощность, богатая смесь, матовый нагар на свече. Имеет меньший уровень вибрации и чистый выхлоп, и больший ресурс, но мало-мощный.

Испытания конвертированных МДВС на авиационной модели ЛА

В ходе данной работы создано 2 авиационных модели с конвертированными МДВС, проведены наземные испытания моторов, в ходе которых изучалось влияние вибрации на конструкцию ЛА, а также лётный эксперимент, в ходе которого авиационная модель «БЕНЗИНЫЧ-У» выполнил тестовый полёт, который завершился успешным приземлением на бетонную ВПП.

Авиационная модель «БЕНЗИНЫЧ-У» (рис. 18) – учебно-тренировочная модель, предназначенная для отработки навыков пилотирования и используется в учебном процессе.

Высокоплан, имеющий модульную конструкцию, отъёмные консоли, хвостовую балку, оперение, рессору шасси, двигатель для удобства транспортировки и хранения (рис. 19).

Основные характеристики: силовая установка «FAVOURITE BT56 AVIA» (опционально), максимальная взлетная масса 10 кг, размах крыла 2,9 м, длина фюзеляжа 1,8 м.

Особенности эксплуатации конвертированных ДВС

- Конвертированные ДВС, особенно 2-х тактные имеют высокий уровень вибрации, на рис. 20 виден результат испытаний двигателя «FAVOURITE BT56 AVIA» на мотораме без демпферов (на жёсткую). В результате выхода взлётный режим сломался корпус двигателя. Кроме того требуется проверка соосности и нормальной затяжки хаба винта на конвертированном МДВС.

Кроме того, вибрация негативно влияет на конструкцию ЛА. В результате лётных испытаний предыдущая авиационная модель потерпела крушение из-за разрушения тяги управления рулями высоты под воздействием вибрации, лопнул пластмассовый шаровый наконечник (рис. 21).

- Магнето у конвертированных МДВС выполнено как катушка, им не требуется магнето с аккумулятором, как на специализированных МДВС.

- Охлаждение двигателя осуществляется потоком а также от ВВ.

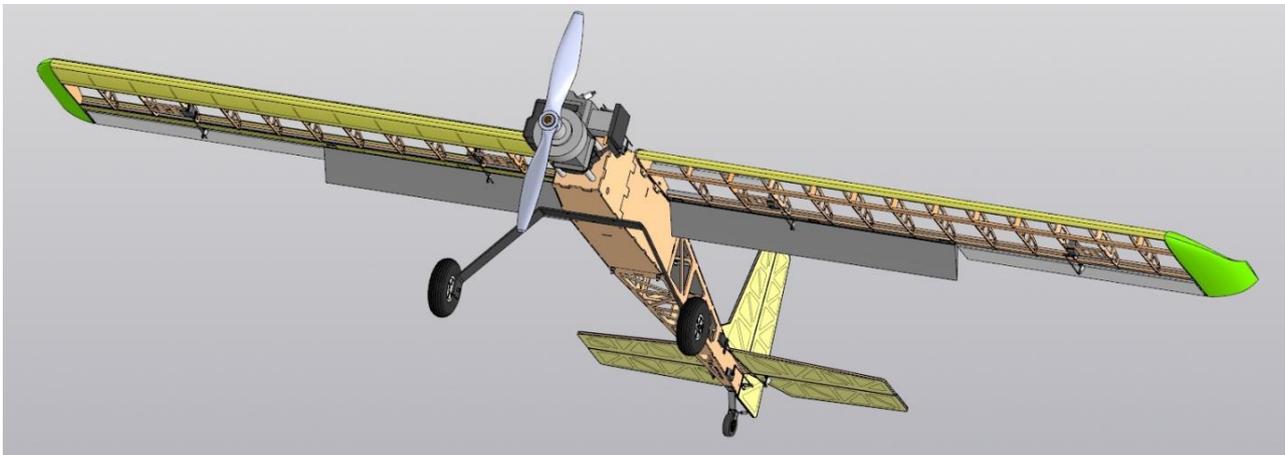


Рис. 18. 3-D модель-сборка авиационной модели с конвертированным МДВС



Рис. 19. Модель «Бензиныч-У» после приземления (слева), в полёте (справа)



Рис. 20. Разрушение корпуса двигателя из-за отсутствия демпфирования опор крепления



Рис. 21. Крушение ЛА из-за воздействия вибрации двигателя на систему управления

Заключение

Таким образом, изучена область применения двухтактных и четырёхтактных конвертированных ДВС и МДВС в авиации, проведен сравнительный анализ МДВС и ДВС, рассмотрены особенности их эксплуатации, исследованы достоинства и недостатки по характеристикам двухтактных и четырёхтактных ДВС.

Предложена методика испытаний конвертированных авиадвигателей для подтверждения их характеристик, представлена методика построения технологического процесса перевода ДВС в авиационную конверсию. Описан процесс создания авиационной модели для испытаний конвертированного двигателя и выделены ключевые результаты. Рассмотрено применение конвертированного двигателя на прототипе БПЛА, получен практический опыт эксплуатации АТ с малогабаритными поршневыми ДВС.

Даны рекомендации по выбору конвертированных и специализированных ПД при создании ЛА.

Создана практическая база из двух единиц авиационных моделей «Бензиныч-У», стенд для настройки и замера характеристик МДВС до 5 л.с. и ремонтный комплект запчастей, для проведения дальнейших испытаний и научных работ.

Для данной авиационной модели по совокупности параметров лучше подходит двигатель «Favourite BT 56 AVIA», т.к. имеет более высокую мощность и тягу, а также более надежен в эксплуатации. Также за счёт большего крутящего момента способен выдерживать винт большего диаметра, что позволит увеличить тягу.

Список сокращений

ЛА – летательный аппарат
 АТ – авиационная техника
 ДВС – двигатель внутреннего сгорания
 МДВС – малогабаритные двигатели внутреннего сгорания
 АКБ – аккумуляторная батарея
 АОН – авиация общего назначения
 АХР – авиационные химические работы

ВВ – воздушный винт
ТЭ – техническая эксплуатация
4Т – 4-тактный ДВС
2Т – 2-тактный ДВС
ТВС – топливо-воздушная смесь
ВФ – воздушный фильтр
ТХ – технические характеристики
УТ – учебно-тренировочный
ПД – поршневой двигатель

Литература

1. В Самарском университете разработали поршневой малогабаритный двигатель. 2023. URL: <https://ssau.ru/news/21503-v-samarskom-universitete-im-koroleva-razrabotan-malorazmernyy-porshnevoy-dvigatel-dlya-bespilotnikov> (дата обращения: 10.12.2023).

2. В ходе выставки «HeliRussia 2016» красноярская компания представила свои разработки и новые проекты в сфере малогабаритных авиационных поршневых двигате-

лей (ДВС). 2023. URL: <https://missiles.ru/tag/ooo-aerob/> (дата обращения: 09.12.2023).

3. Самолёт Heath Super Parasol. Самолёт который может построить каждый! 2023. URL: <https://reaa.ru/threads/samoljot-heath-super-parasol-samoljot-kotoryj-mozhet-postroit-kazhdyj.6885/page-7> (дата обращения: 12.12.2023).

4. Климанов А. В. Двигатель внутреннего сгорания адаптированный для беспилотных летательных аппаратов. 2023. URL: <https://workspay.ru/work/104138/> (дата обращения: 12.12.2023).

5. Двигатель для дельталета – как доработать двигатель РМЗ-640 «Буран». 2023. URL: <http://stroimsamolet.ru/dvigatel-dlja-deltaleta-kak-dorobotat-dvigatel-rmz/> (дата обращения: 12.12.2023).

6. ROTAX. URL: <https://www.flyrotax.com/> (дата обращения: 12.12.2023).

STUDY OF CHARACTERISTICS AND OPERATIONAL FEATURES OF CONVERTED PISTON ENGINES IN AVIATION ENGINEERING

V. A. Morozov

In this article there are a comparative analysis of the characteristics of small-sized internal combustion engines and the features of their operation is obtained. The possibility of using converted piston engines for non-aviation purposes in aviation equipment is considered, a series of ground and flight tests on a flying laboratory aircraft is carried out. A comparative analysis of two-stroke and four-stroke, as well as specialized engines and aircraft conversions is carried out. A methodology for constructing a technological process for converting a domestic piston engine into an aviation conversion is proposed. A methodology for ground tests for measuring the parameters and diagnosing small-sized piston engines on a test bench is proposed. The characteristics of the dependencies of the engine operating mode on thrust, speed and torque are constructed, fuel consumption and throttle response time of the engines under study are measured.

Key words: converted piston engine; test bench; small-sized internal combustion engine; performance study; aviation conversion; ground testing; flight testing; piston engine.

Статья поступила в редакцию 31.05.2024 г.

© Morozov V. A., 2024.

Morozov Vladislav Andreevich (morozovv.01@yandex.ru),

1st year master student of the Institute of Aerospace Engineering of Samara University, 443086, Russia, Samara, Moskovskoye shosse, 34.