

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

DOI 10.35264/1996-2274-2019-3-143-156

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА РОТОРНО-ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ БПЛА ЗА РУБЕЖОМ

А.Н. Костюченков, нач. сект. ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», канд. техн. наук, ankostyuchenkov@ciam.ru

В.П. Минин, инж.-конст. ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова», vpmimin@ciam.ru

С.А. Клементьев, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, klements@extech.ru

А.В. Федин, аналитик ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, avfedin@extech.ru

Рецензент: И.А. Репина

Целью проведенного исследования являлся анализ научно-технических аспектов разработки и производства современных роторно-поршневых двигателей (РПД) для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) ведущих иностранных государств и разработка рекомендаций по приоритетам их развития в Российской Федерации.

В ходе проведения исследования обобщен, проанализирован и систематизирован значительный объем информации об основных, наиболее значимых достижениях в создании авиационных РПД за рубежом. По результатам проведенного анализа показаны основные факторы и тенденции, ряд конкретных направлений, наиболее характерных для проведения исследований и разработок, определяющих развитие авиационных РПД в наиболее развитых странах, даны рекомендации по разработке и производству РПД в России.

Ввиду остроты проблемы импортозамещения зарубежных РПД для БПЛА в Российской Федерации показанные в статье результаты исследования являются актуальными, могут быть использованы заинтересованными специалистами при решении проблем разработки, производства и использования РПД в интересах обороны и безопасности России.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, двигатели внутреннего сгорания, импортозамещение, малоразмерные авиационные двигатели, роторно-поршневые двигатели, научно-технический потенциал, оборона, гражданская и военная техника, патенты, Европейское агентство авиационной безопасности.

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CREATION AND PRODUCTION OF ROTARY PISTON ENGINES FOR UAVS ABROAD

A.N. Kostyuchenkov, Head of the Sector, FSUE «CIAM named after P.I. Baranov», Doctor of Engineering, ankostyuchenkov@ciam.ru

V.P. Minin, Design Engineer, FSUE «CIAM named after P.I. Baranov», vpmimin@ciam.ru

S.A. Klementyev, Head of Department, SRI FRCEC, klements@extech.ru

A.V. Fedin, Analyst, SRI FRCEC, avfedin@extech.ru

The purpose of the study was to analyze the scientific and technological aspects of the development and production of modern rotary piston engines (MRPE) for unmanned aerial vehicles (UAVs) of leading foreign countries and to develop recommendations on the priorities of their development in the Russian Federation.

In the course of the study, a significant amount of information on the main, most significant achievements in the creation of aviation MRPE abroad was summarized, analyzed and systematized.

Based on the results of the analysis, the main factors and trends are shown, a number of specific areas most typical for research and development, determining the development of aviation MRPE in the most developed countries, recommendations for the development and production of MRPE in Russia are given.

Due to the severity of the problem of import substitution of foreign MRPE for UAVs in the Russian Federation, the results of the study shown in the article are relevant, can be used by interested specialists in solving the problems of development, production and use of MRPE in the interests of defense and security of Russia.

Keywords: unmanned aerial vehicles, internal combustion engines, import substitution, small aircraft engines, rotary piston engines, scientific and technological potential, defense, civil and military equipment, patents, European aviation security Agency.

Современный мир переживает период активного развития беспилотных летательных аппаратов. Расширяется спектр задач использования БПЛА, существенно видоизменяются их конструкции, общее количество в мире стремительно растет. Особенно бурно развитие этого вида техники происходит в наиболее развитых странах за рубежом.

В то же время в России развитие БПЛА отстает от аналогичных программ наиболее развитых стран. Такое отставание во многом связано с тем, что в стране до недавнего времени практически полностью отсутствовало, в частности, промышленное производство широкого спектра отечественных авиационных поршневых двигателей (АПД) мощностью до 300 л.с., соответствующих задачам развития БПЛА, легких самолетов и вертолетов. Сложившееся положение в создании двигателей для силовых установок БПЛА с учетом антироссийских санкций, введенных рядом стран Запада, особенно остро ставит вопросы их импортозамещения.

Само создание силовых установок является важнейшей частью программ развития БПЛА. В настоящее время в мире в составе силовых установок БПЛА используется большое разнообразие типов двигателей: поршневые, газотурбинные, электрические, гибридные и др. При этом самые распространенные среди них – поршневые ДВС традиционной компоновки. Их конструкции достигли высокого уровня технического совершенства и широко используются по различным назначениям. Они активно применяются в БПЛА самолетного и вертолетного типа, например в сегментах среднего класса (взлетной массой от 20 до 200 кг, временем полета до нескольких часов и высотой до 3–5 км) и тяжелого класса (взлетной массой более 200 кг до 1500 кг, временем полета 10–12 ч и высотой до 9–10 км).

В России в целях преодоления критической зависимости от зарубежных технологий и промышленности в авиастроении в 2015 г. был разработан, преимущественно для БПЛА, первый полностью отечественный поршневой двигатель АПД-45. Двигатель создан Инженерным центром «Итлан» в качестве возможной альтернативы АПД иностранного производства (например, итальянскому Zanzottera 498, применяемому, в частности, на БПЛА Aeronautics Aerostar). Двигатель АПД-45 представляет собой двухтактный бензиновый двухцилиндровый ДВС с воздушным охлаждением и горизонтальным оппозитным расположением цилиндров, имеет мощность около 37 кВт, массу 30 кг, систему ограничения по вибрациям, температурам и давлению. Он способен обеспечить полет беспилотного аппарата на высоте более 6000 м и при этом значительно дешевле зарубежных аналогов (рис. 1).

Дальнейшее совершенствование поршневых авиационных двигателей традиционных компоновок существенно ограничено. Это связано, с одной стороны, с возрастающими техническими проблемами и затратами по их развитию и с получением относительно невысокого итогового эффекта – с другой. Поэтому большое внимание в разработках авиационных двигателей стало уделяться силовым установкам нетрадиционных конструктивно-компоновочных схем. Так, в последние десятилетия в технически наиболее развитых странах активно ведутся исследования, производятся и используются в составе силовых установок БПЛА авиационные роторно-поршневые двигатели.

Перспективность применения РПД на БПЛА имеет ряд причин, связанных с преимуществами роторно-поршневых двигателей перед другими двигателями по ряду существенных параметров:

- низкий уровень вибраций: двигатель полностью механически уравновешен, что позволяет БПЛА нести на борту чувствительную высокоточную аппаратуру;
- высокие динамические характеристики: за счет отсутствия в механизме преобразования возвратно-поступательного движения во вращательное РПД способен выдерживать гораздо более высокие обороты по сравнению с традиционными ДВС и имеет меньшую неравномерность крутящего момента;
- более высокая мощность при небольшом объеме камеры сгорания: однороторный двигатель выдает мощность в течение трех четвертей каждого оборота выходного вала, в отличие от четырехтактного поршневого двигателя, который выдает мощность только в течение одной четверти каждого оборота выходного вала (например, современный РПД с объемом рабочей камеры 1300 см³ имеет мощность 220 л.с., а с турбокомпрессором – 350 л.с.);
- высокая удельная мощность (л.с./кг): масса движущихся частей в РПД гораздо меньше, чем в аналогичных по мощности поршневых двигателях, так как в его конструкции отсутствуют коленчатый вал и шатуны;
- меньшие массогабаритные показатели: конструкция двигателя содержит меньше деталей, в том числе подвижных. Габаритный объем РПД примерно втрое меньше, чем у поршневых двигателей, при одинаковой мощности, что позволяет, соответственно, уменьшить объем мотоотсека БПЛА;
- меньшая склонность к детонации;
- уникальные возможности стандартизации и унификации: используя одну секцию (модуль или группу), состоящую из статора и ротора с уплотнениями, можно создавать двигатель мощностью, пропорциональной числу используемых секций – одной, двух или трех;
- современный уровень технологии и производства позволяет решать все технические вопросы производства РПД и обеспечения приемлемого ресурса этих двигателей;
- выигрыш по сравнению с электрическими двигателями при длительном полетном цикле БПЛА;
- меньшая себестоимость и др.

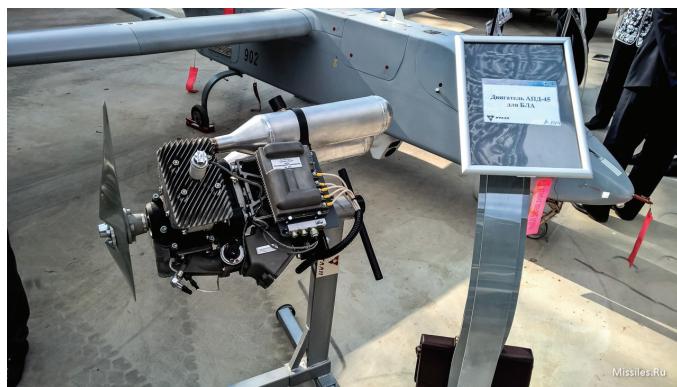


Рис. 1. Поршневой двигатель АД-45 для БПЛА

Решение проблем замены на российском рынке двигателей иностранного производства отечественными в сегменте АПД предполагает изучение передового зарубежного опыта производства и применения авиационных двигателей для различных классов БПЛА, анализ научно-технических аспектов и особенностей их разработки.

В настоящее время наиболее значимых успехов в создании и применении БПЛА, в том числе в создании и использовании РПД, добились такие страны, как США, Израиль, Великобритания, Германия, Австрия, Китай, Япония и др.

БПЛА также активно разрабатываются и используются в таких «неавиационных» государствах, как Австралия, Алжир, Бельгия, Болгария, Нидерланды, Греция, Индия, Иран, Испания, Италия, Норвегия, Пакистан, Польша, Португалия, Канада, КНДР, Словения, Турция, Финляндия, Франция, Хорватия, Чехия, Швейцария, Швеция, Южная Африка, Южная Корея и даже Таиланд, Тунис.

Масштабные работы по созданию и производству РПД для авиации и наземного применения наиболее активно ведутся многими фирмами в зарубежных странах: UAV, Cubewano (Великобритания); WST, Audi, Aixro, Wankel Rotary (Германия); Mistral (Швейцария); Austro engine (Австрия); Rotapower (США) и др.

В последние годы значительно возрос интерес к разработкам РПД в Канаде (OMC, LML, Pratt Whitney), а также в Японии (Mazda, Nitto). Широкое применение нашли РПД английской фирмы UAV в БПЛА, производимых в разных странах: в Израиле, Франции, Китае и др. (более 30 стран). Швейцарская фирма Mistral производит авиационные РПД в диапазонах мощностей 200–360 л. с. в атмосферном варианте и с турбонаддувом.

Подавляющее большинство БПЛА оснащено двигателями, разрабатываемыми компанией UAV (Великобритания). В табл. 1–3 показаны и приведены основные технические характеристики наиболее популярных роторных двигателей из линейки UAV.

Таблица 1



Основные технические характеристики двигателя AR-801

Тип	Роторный, односекционный
Объем камеры сгорания, см ³	294
Мощность, л.с. (6000 об/мин) л.с. (8000 об/мин) с карбюратором л.с. (8000 об/мин) с системой впрыска	40 51 60
Топливо	Mogas (этилированный и неэтилированный), AVGAS 100LL
Расход топлива при мощности 70 % от максимальной, г/л.с.·ч Расход топлива при максимальной мощности, г/л.с.·ч	224 251
Система зажигания	Электронная система зажигания с магнитными датчиками
Способ запуска	Электростартер
Охлаждение	Водяное охлаждение
Габаритные размеры, мм	305 × 325 × 249
Вес двигателя, кг	19,5

В Австрии разработчиком и изготовителем авиационных ДВС является дочернее предприятие известной авиастроительной компании Diamond Aircraft Industries – фирма Austro Engine. В продуктовой линейке данного предприятия есть РПД AE 50R – однороторный двигатель AVGas мощностью 40,4 кВт, сухой массой 25 кг. Так, например, AE 50R устанавливается на один из самых популярных БПЛА вертолетного типа – Schiebel Camcopter S-100. Хорошее соот-

ношение мощности и веса обеспечивает его уникальное положение на мировом рынке. С момента запуска первой линейки продукции AE 50R, роторный двигатель мощностью 40,4 кВт, имеет успешный послужной список, включающий более 1100 установок в планерах и БПЛА ведущих производителей. Следует отметить, что данный двигатель сертифицирован Европейским агентством авиационной безопасности (EASA) в соответствии с подразделом Н, ч. 22, и может применяться на сверхлегких летательных аппаратах (табл. 4). В январе 2013 г. было объявлено, что Austro Engine завершает разработку нового роторно-поршневого двигателя мощностью 80 л.с. (58 кВт) и весом 27 кг (AE 80R) [12].

Таблица 2



Основные технические характеристики двигателя AR-731

Тип	Роторный, односекционный
Объем камеры сгорания, см ³	208
Мощность, л.с. (7800 об/мин)	38
Топливо	Mogas Regular grade или AVGAS 100LL
Расход топлива при установившемся полете, г/л.с.·ч	233
Расход топлива при максимальной мощности, г/л.с.·ч	255
Система зажигания	Электронное бесконтактное магнето
Охлаждение	Воздушное
Габаритные размеры, мм	600 × 328 × 262
Вес двигателя, кг	9,9

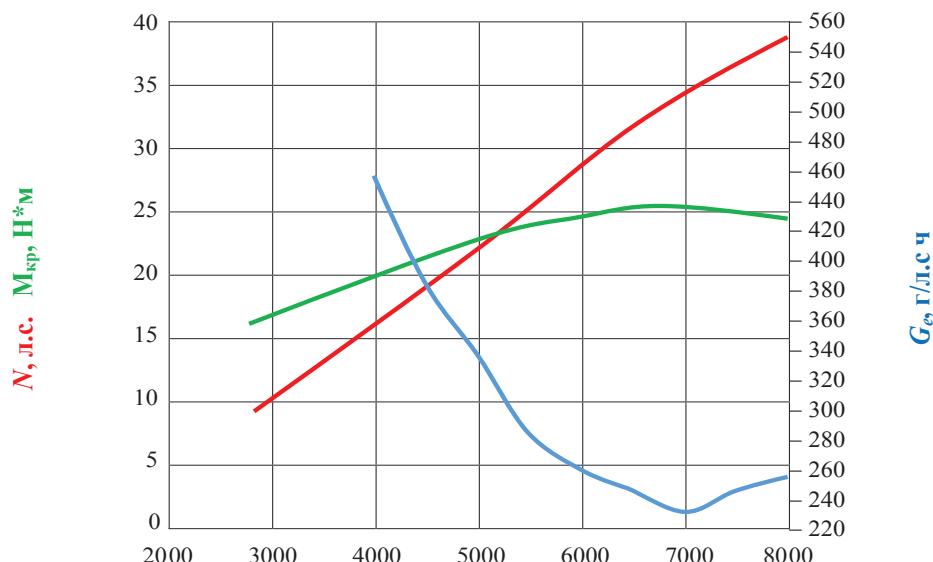
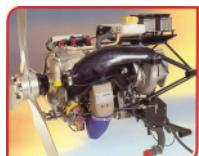


Рис 2. Кривые мощности, крутящего момента и удельного расхода топлива AR-731

Таблица 3



**Основные технические характеристики двигателя
AR-682**

Тип	Роторный, двухсекционный
Объем камеры сгорания, см ³	588
Мощность, л. с. (6000 об/мин) л.с. (8000 об/мин) с карбюратором л.с. (8000 об/мин) с системой впрыска	40 51 60
Топливо	Mogas (этилированный и неэтилированный), AVGAS 100LL
Расход топлива, г/л.с.·ч	233...246
Система зажигания	Электронная система зажигания с магнитными датчиками и полностью экранирована
Передаточное отношение редуктора	от 1,6 до 2,2, стандартное отношение 1,93
Охлаждение	Водяное охлаждение
Вес двигателя с генератором, кг	51

Таблица 4



**Основные технические характеристики двигателя
AE 50 R**

Тип	Роторный, карбюраторный, двухсекционный
Объем камеры сгорания, см ³	294
Мощность, л.с. (7750 об/мин)	55
Крутящий момент Н·м (7750 об/мин)	52,5
Топливо	Неэтилированное AVGAS 100LL или RON 95
Масло	Синтетическое, одобренное для данного двигателя
Система питания	1 карбюратор
Способ запуска	Электростартер
Система электроснабжения	Генератор переменного тока 14 В, 18 А
Охлаждение	Водяное охлаждение с воздушным охлаждением ядра ротора. Охладитель: 50 % гликоль, вода.
Вес двигателя, включая генератор, кг	27,8

Кривые мощности и крутящего момента АЕ 50 R представлены на рис. 3.

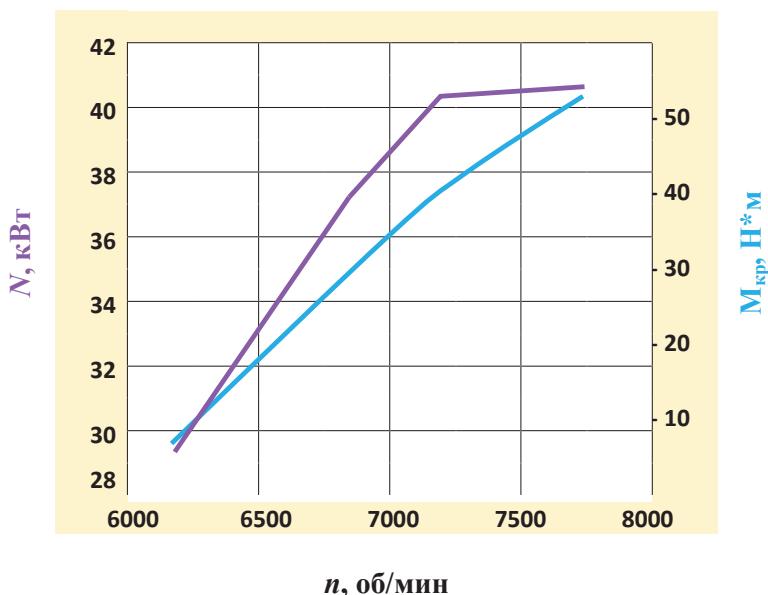


Рис. 3. Характеристики двигателя АЕ 50 Р

Индийская фирма Aeronautical Development Establishment, подразделение компании National Aerospace Laboratories, разработала РПД для установки на БПЛА собственного изготовления – Nishant. Общий вид и основные характеристики этого двигателя представлены в табл. 5.

Таблица 5



Основные технические характеристики двигателя AerDE

Тип	Роторный, односекционный
Объем камеры сгорания, см ³	324
Степень сжатия	9,2:1
Мощность, л. с./кВт (8000 об/мин)	55/41
Топливо	AVGAS 100LL
Способ запуска	Электростартер
Охлаждение	Картер – вода/гликоль, ротор – воздушное охлаждение

Британская фирма Cubewano Ltd является разработчиком и производителем РПД для миниатюрных БПЛА. Характерная особенность двигателей – возможность изготовления (по требованию заказчика) с воздушным или жидкостным охлаждением. Также эти двигатели могут работать на автомобильном бензине или авиационном керосине. Общий вид и основные характеристики одного из двигателей, разрабатываемых Cubewano Ltd, представлены в табл. 6.

Таблица 6



**Основные технические характеристики двигателя
Sonic 35**

Тип	Роторный, односекционный
Объем камеры сгорания, см ³	35
Мощность, л. с. л.с. (8000 об/мин)	6–11 7,5
Топливо	Автомобильный бензин или керосин (JP8/JET A1) в смеси с маслом
Расход топлива, г/л.с.·ч	360
Охлаждение	Охлаждение воздухом от набегающего потока, возможна встроенная система охлаждения
Вес двигателя, кг	3,5

В Японии производством РПД для автомобильной промышленности занимается фирма Mazda. Следует заметить, что на базе силовых агрегатов этой фирмы изготавливается много авиационных конвертированных двигателей, в основном в США. Также силовой агрегат РПД от Mazda является основой авиационных РПД, изготавляемых фирмой Mistral Engines (Швейцария). Широкое распространение как в авиамоделизме, так и для миниатюрных БПЛА получили двигатели японской фирмы O.S. Engines, в частности двигатель O.S. Engines-49-PI Type II.30. Его общий вид и основные характеристики представлены в табл. 7.

Таблица 7



**Основные технические характеристики двигателя
O.S. Engines-49-PI Type II.30**

Тип	Роторный, односекционный
Объем камеры сгорания, см ³	4,97
Мощность, кВт (17000 об/мин)	0,934
Топливо	Спирт
Вес двигателя, кг	0,335

В Германии разработкой и изготовлением авиационных РПД занимаются несколько фирм. Наиболее продвинутые результаты представлены фирмами WinkelSuperTec GmbH и Aixro GmbH. Общий вид и характеристики двигателей представлены в табл. 8.

Большинство представленных двигателей имеют мощность 30–60 л.с., что является наиболее востребованным диапазоном для аппаратов наземной и авиационной техники, в том числе и беспилотной.

Анализ публикаций и других информационных источников показывает, что разработкой авиационных РПД занимаются в основном небольшие частные компании. Некоторые из

них, такие как Wankel Supertec, UAV, имеют значительный опыт, другие же, например Cubewano, Aixro, появились на рынке сравнительно недавно. Финансирование разработки перспективных технологических решений идет за счет государственных, в том числе и военных, программ [4, 8].

Таблица 8



**Основные технические характеристики двигателя
Wankel SuperTec GmbH KKM 501**

Тип	Роторный, односекционный
Объем камеры сгорания, см ³	294
Мощность, кВт (5500 об/мин)	48
Крутящий момент, Н·м (4500 об/мин)	90
Топливо	Авиационный керосин и дизельное топливо
Расход топлива, г/л.с.·ч	195
Система зажигания	Электронная система зажигания с магнитными датчиками
Способ запуска	Электростартер
Охлаждение	Водяное охлаждение
Габаритные размеры, мм	305 × 325 × 249
Вес двигателя с системой охлаждения и генератором, кг	24,4

Большинство представленных двигателей разработаны за счет частных или внутренних инвестиций самих компаний-разработчиков и являются коммерческими продуктами. При этом одни и те же образцы двигателей могут устанавливаться на гражданскую и военную технику. Например, Austro AE 50R весьма широко применяется на ультралегких самолетах и мотопланерах типа Schleicher ASH 30 и в то же время является основой силовой установки одного из самых популярных БПЛА вертолетного типа Schiebel Camcopter S-100, используемого для решения как гражданских, так и военных задач.

Исключением из представленного обзора является индийский двигатель AerDE для БПЛА Nishant – данный двигатель разработан за счет средств военного ведомства [11].

По сравнению с традиционными поршневыми двигателями, к числу достоинств роторно-поршневых относится то, что они наиболее просто могут быть адаптированы к возможности работы как на «легких» топливах, так и на «тяжелых». Air Force Research Laboratory (AFRL) изучает возможности применения «тяжелых» топлив для малых БПЛА [7].

В рамках рассмотренной информации можно выделить долгосрочное сотрудничество Министерства обороны США с одним из основных производителей РПД – британской фирмой UEL. Подтверждение этому представлено в публикациях. Кроме того, можно выделить ряд фирм (Cubewano, Wankel AG, Rotron и др.), которые разрабатывают такие двигатели.

Одним из наиболее крупных зарубежных проектов в области РПД, представленных за последние годы, являются роторно-поршневые двигатели новой конструкции, разрабатываемые фирмой Liquid piston. По открытой информации, одним из источников финансирования данного проекта является агентство DARPA. На рис. 4 представлены сравнительные

габариты двигателей мощностью 5 л.с., слева расположен классический поршневой двигатель Honda Metropolitan, а справа – двигатель, выполненный по новой схеме Liquid Piston X Mini.



**Рис. 4. Двигатели Honda Metropolitan
и Liquid Piston X Mini**

Предлагаемый двигатель позиционируется разработчиком как универсальная основа силовых установок различного применения. Одно из основных направлений – его применение в БПЛА.

Развитие БПЛА – одно из приоритетных направлений для иранской авиационной промышленности. В настоящее время Иран серийно производит несколько типов БПЛА военного и гражданского назначения. Фирма Iran Aircraft Manufacturing Company выпускает разведывательные БПЛА и воздушные мишени. Семейство беспилотных летательных аппаратов типа Ababil выполнено по схеме «утка» с высокорасположенным крылом, аппараты оснащены одним роторно-поршневым двигателем Р73, приводящим в движение толкающий воздушный винт.

В 1988 г. южнокорейская фирма Daewoo (в настоящее время входит в состав корпорации KAI) приступила к разработке проекта разведывательного БПЛА «Доесяй», который оснащен одним роторно-поршневым двигателем AR 731 мощностью 38 л.с., приводящим двухлопастный толкающий воздушный винт.

Большое внимание в зарубежных исследованиях уделено созданию современных систем, обеспечивающих работоспособность авиационных РПД и ЛА, для которых они предназначены. Наиболее часто рассматриваются системы топливоподачи и зажигания, позволяющие повысить эффективные параметры и использовать различные виды топлив, в том числе «тяжелые» и газообразные. Также развивается направление систем запуска и генерирования электроэнергии для нужд силовой установки и бортового оборудования БПЛА. Наиболее часто стали применяться электромашины обратимой конструкции, в которых они сначала используются в качестве электродвигателя для обеспечения запуска, а после этого переходят в режим генерации тока. Кроме того, такая конструкция может выполнять функции маховика, который необходим для снижения неравномерности вращения РПД.

В части исследования новых технологических решений для создания перспективных РПД рассматривается возможность применения новых материалов и покрытий, в том

числе керамических. Кроме снижения массово-габаритных характеристик это позволит значительно повысить ресурсные показатели РПД. Много внимания уделено применению так называемых аддитивных технологий, позволяющих в кратчайшие сроки создавать опытные, а в перспективе – и серийные образцы наиболее сложных и ответственных деталей: ротора, статора, уплотнительных элементов и др. Наибольшее количество таких исследований проводится в Великобритании, Австрии, Германии, Японии и США. Кроме того, можно отметить группы исследователей, располагающиеся в Израиле, Китае и Индии.

Среди зарубежных компаний можно выделить патентную активность фирмы Pratt & Whitney Canada. В течение последних 5–6 лет данная компания оформляет по 2–3 заявки в год на патенты, связанные с РПД. Данная фирма занимается разработкой более мощных – авиационных газотурбинных – двигателей, но в 2010 г. были публикации об участии Pratt & Whitney Canada в проекте DARPA и Lockheed (США) по созданию универсального наземно-авиационного транспорта с вертикальным взлетом и посадкой Aerial Reconfigurable Embedded System (ARES).

В ближайшем будущем в России для обеспечения энергопотребности в силовых установках БПЛА планируется создание семейства РПД на базе унифицированных роторно-статорных групп. Данный подход позволяет в кратчайшие сроки создавать линейки отечественных двигателей различной мощности (50; 120 и 300 л.с.) для БПЛА широкого спектра действия. Данные двигатели могут быть предназначены как для непосредственного привода воздушных винтов традиционных БПЛА самолетного, вертолетного или аэростатического типа, так и для использования в составе гибридных силовых установок БПЛА вертикального взлета-посадки типа мультикоптеров.

Следует также отметить и имеющиеся недостатки современных РПД, оказывающих влияние на возможность их использования в составе силовой установки БПЛА:

– состояние уплотнителей. Площадь пятна контакта очень невелика, а перепад давления очень высокий. Следствием износа уплотнителей становятся высокие утечки между камерами, падение КПД и токсичность выхлопа. Проблема быстрого износа уплотнителей на высокой скорости вращения вала была решена применением высоколегированной стали;

– склонность к перегреву. Камера сгорания имеет серповидную форму, т.е. при маленьком объеме у нее относительно большая площадь. При температуре горения рабочей смеси основные потери энергии идут через излучение, интенсивность которого пропорциональна четвертой степени температуры; с точки зрения снижения удельной поверхности и за счет этого потерь теплоты идеальная форма камеры сгорания – сферическая. Лучистая энергия не только бесполезно покидает камеру сгорания, но и приводит к перегреву рабочей полости.

Большой объем работ, направленный на возрождение авиационного поршневого двигателестроения в России, решение технических проблем, создание конкурентоспособных отечественных РПД, проведен в ФГУП «ЦИАМ им. П.И. Баранова». В течение последних 5 лет выполнен ряд НИР по исследованию современных путей создания авиационных РПД, разработаны подходы и методики, позволяющие создавать высокоэффективные отечественные РПД. Так, результатом этих работ стало то, что создан и проходит испытания базовый односекционный РПД-демонстратор в классе мощности 100 л.с. (рис. 5).

При планировании будущих работ по созданию семейства авиационных РПД мощностью до 300 л.с. необходимо учитывать возможность двойного применения таких двигателей (военного и гражданского), а также перспективу их диверсификации в части использования в других областях техники. Приоритетные темы для исследований в данном направлении научно-технологического развития Российской Федерации в интересах обороны и обеспечения безопасности государства целесообразно определить по следующим направлениям:

– исследования методов совершенствования рабочего процесса авиационных роторно-поршневых двигателей и их систем;

- применение перспективных технологий, включающих аддитивные;
- использование новых конструкционных материалов (керамика, композиты и др.);
- вопросы снижения затрат при серийном производстве и жизненном цикле РПД с учетом возможности диверсификации и двойного применения;
- исследование возможностей гибридных силовых установок с РПД.

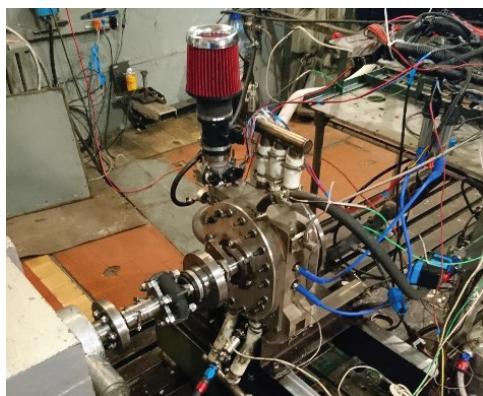


Рис. 5. Односекционный РПД-650 на испытательном стенде

Исходя из анализа мирового уровня развития технологий, направленных на создание малоразмерных авиационных двигателей, а также потребностей создания современных российских БПЛА различного назначения, наиболее правильным и актуальным направлением являются разработка и производство линейки отечественных РПД мощностью от 10 до 300 л.с. При этом направление актуализации создания авиационных РПД для ЛА малой авиации и БПЛА в полной мере соответствует задачам достижения индикаторов развития поршневых двигателей, поставленным основополагающими документами государственного планирования развития науки и технологий в авиастроении, – в частности, снижения их удельной массы на 20–25 %, удельного расхода топлива на 15–20 %, увеличения назначенного ресурса не менее чем до 4000 моточасов и др. к 2030 г. [18–20].

Как уже отмечалось, современные отечественные существующие и разрабатываемые БПЛА оснащены в основном зарубежными двигателями, причем большинство их изготавливается в странах Европейского союза. Данный факт вызывает достаточно высокий уровень опасений из-за возможного запрета поставки в Россию этого вида техники. Так, в случае введенных в строй БПЛА тип «Форпост», «Орлан» и др. возможно продолжение их эксплуатации до истечения ресурсов двигателей, а в случае с вновь разрабатываемыми БПЛА («Корсар», «Орион», «Форпост-р» и др.) отказ в поставках двигателей будет означать полную остановку проводимых работ.

Проведенный анализ научно-технических аспектов разработки и производства современных роторно-поршневых двигателей для беспилотных летательных аппаратов, практики их применения в ведущих иностранных государствах позволяет сделать вывод о том, что переход к силовым установкам с РПД отечественного производства будет способствовать достижению необходимых их технико-экономических характеристик и БПЛА в целом, но сопряжен с рисками реализации новых технических решений.

Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания № 075-00938-19-02.

Список литературы

1. Костюченков А.Н., Зеленцов А.А., Семенов П.В., Минин В.П. Разработка односекционного роторно-поршневого двигателя-демонстратора на основе современной комплексной методики расчета // Вестник СГАУ. 2014. № 5 (47). Ч. 2.
2. Бениович В.С., Апазиди Г.Д., Бойко А.М. Ротопоршневые двигатели. М.: Машиностроение, 1968.
3. Клементьев С.А., Федин А.В., Зубарев В.С. Основные факторы, оказывающие влияние на развитие единого транспортного пространства Российской Федерации // Инноватика и экспертиза. М.: ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. 2015. Вып. 1 (14). С. 252–260.
4. Michael Irvin Resor Computational investigation of rotary engine homogeneous charge compression ignition feasibility M.S. Thesis B.S., Wright State University, 2014.
5. Thanapol Poojitanont, Heinz Peter Berg, Husni Taher Izweik, Axel Himmelberg, Multi-fuel Wankel Engine for Small Aircrafts and UAVs Applications: Strategies of the Engine Development Brandenburg University of Technology Cottbus, Germany, ISABE—2007—1128.
6. Ryoji Kagawa, Syunki Okazaki, Nobuhiro Somyo, Yuji Akagi, Study of a Direct-Injection Stratified-Charge Rotary Engine for Motor Vehicle Application, Mazda Motor Corp, 2004.
7. Asela A. Bentara Wadumesthrige Computational Investigation of Optimal Heavy Fuel Direct Injection Spark Ignition in Rotary Engine M.S. Thesis B.S., Wright State University, 2011.
8. Brian C. Huffman Rotary Engine Friction Test Rig Development Report Army Research Laboratory, ARL-CR-685, 2011.
9. Huai-Lung Ma, Cheng-Hsiung Kuo, Chien-Chang Chen, Chamber Contour Design and Compression Flow Calculations of Rotary Engine, Journal Of C.C.I.T., Vol. 39, No.1, May, 2010.
10. Palmer Dean, Coating reduces engine wear in unmanned aircraft. Eureka ISSN: 0261-2097, 2005.
11. Sarveswaran V., Murthy Y.V.S., and Ganesan V. Altitude performance comparison of a Wankel engine with carburetor and fuel injection, SAE India paper 0301017, 2003.
12. EAA News – Austro Successfully Tests the AE 80R Rotary Engine.
13. URL: <https://ok.ru/yulsun38/topic/67254830312238> (дата обращения: 11.11.2019).
14. Павлущенко М., Евстафьев Г., Макаренко И. Беспилотные летательные аппараты: угроза распространения и перспективы развития. М.: Права человека, 2005. 612 с.
15. Финкельберг Л.А. Авиационные поршневые двигатели XXI века. URL: http://www.ciam.ru/press-center/interview/?PAGEN_1=3 01.12.2017 (дата обращения: 11.11.2019).
16. URL: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/austro-engine-gmbh/product-171935-1654.html> (дата обращения: 11.11.2019.)
17. URL: <http://www.bwbooks.net/index.php?id1=4&category=tehnika&author=pavlushenko-m&book=2005&page=197> (дата обращения: 11.11.2019).
18. Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 22.11.2008 № 1734-р).
19. Национальный план развития науки и технологий в авиастроении на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу (Протокол № 1 совещания Министерства промышленности и торговли Российской Федерации от 28.06.2011).
20. Основы государственной политики Российской Федерации в области авиационной деятельности на период до 2020 г. (утверждены Президентом Российской Федерации 01.04.2012).

References

1. Kostyuchenkov A.N., Zelentsov A.A., Semyonov P.V., Minin V.P. (2014) Razrabotka odnosektsionnogo rotorno-porshnevogo dvigatelya-demonstratora na osnove sovremennoy kompleksnoy metodiki rascheta [Development of a single-section rotary-piston engine demonstrator on the basis of modern complex calculation methods] Vestnik SGAU [Messenger of SSAU]. No. 5 (47). Part 2.

2. Benovic V.S., Apazidy G.D., Boyko A.M. (1968) *Rotoporshnevye dvigateli* [Rotary piston engines]. *Mashinostroenie* [Mashinostroyenie]. Moscow.
3. Klementyev S.A., Fedin A.V., Zubarev V.S. (2015) *Osnovnye faktory, okazyvayushchie vliyanie na razvitiye edinogo transportnogo prostranstva Rossiyskoy Federatsii* [Main factors influencing the development of the unified transport space of the Russian Federation] *Innovatika i ekspertiza. FGBNU NII RINKTsE* [Innovatika and expert examination. SRI FRCEC]. Moscow. Vol. 1 (14). P. 252–260.
4. Michael Irvin Resor Computational investigation of rotary engine homogeneous charge compression ignition feasibility M.S. Thesis B.S., Wright State University, 2014.
5. Thanapol Poojitanont, Heinz Peter Berg, Husni Taher Izweik, Axel Himmelberg. Multi-fuel Wankel Engine for Small Aircrafts and UAVs Applications: Strategies of the Engine Development Brandenburg University of Technology Cottbus. Germany. ISABE-2007-1128.
6. Ryoji Kagawa, Syunki Okazaki, Nobuhiro Somyo, Yuji Akagi. Study of a Direct-Injection Stratified-Charge Rotary Engine for Motor Vehicle Application. Mazda Motor Corp. 2004.
7. Asela A. Benthera Wadumesthrige Computational Investigation of Optimal Heavy Fuel Direct Injection Spark Ignition in Rotary Engine M.S. Thesis B.S. Wright State University. 2011.
8. Brian C. Huffman Rotary Engine Friction Test Rig Development Report, Army Research Laboratory. ARL-CR-685. 2011.
9. Huai-Lung Ma, Cheng-Hsiung Kuo, Chien-Chang Chen, Chamber Contour Design and Compression Flow Calculations of Rotary Engine, Journal of C.C.I.T. Vol. 39. No. 1. May. 2010.
10. Dean Palmer, Coating reduces engine wear in unmanned aircraft. Eureka ISSN: 0261-2097. 2005.
11. Sarveswaran V., Murthy Y.V.S., Ganesan V. Altitude performance comparison of a Wankel engine with carburetor and fuel injection, SAE India paper 0301017. 2003.
12. EAA News – Austro Successfully Tests the AE 80R Rotary Engine.
13. Available at: <https://ok.ru/yulsun38/topic/67254830312238> (date accessed 11.11.2019).
14. Pavlushenko M., Evstafiev G., Makarenko I. (2005) *Bespilotnye letatel'nye apparaty: ugroza rasprostraneniya i perspektivy razvitiya* [Unmanned aerial vehicles: the threat of proliferation and development prospects] *Prava cheloveka* [Human Rights]. Moscow. 612 c.
15. Finkelberg L.A. *Aviatsionnye porshnevye dvigateli XXI veka* [Aviation piston engines of the XXI century]. Available at: http://www.ciam.ru/press-center/interview/?PAGEN_1=3 01.12.2017 (accessed 11.11.2019).
16. Available at: <https://www.aeroexpo.com.ru/prod/austro-engine-gmbh/product-171935-1654.html> (accessed 11.11.2019.)
17. Available at: <http://www.bwbooks.net/index.php?id1=4&category=tehnika&author=pavlushenko-m&book=2005&page=197> (accessed 11.11.2019).
18. *Transportnaya strategiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda (utverzhdena Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22.11.2008 No. 1734-r)* [Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030 (Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 22.11.2008 No. 1734-P)].
19. *Natsional'nyy plan razvitiya nauki i tekhnologiy v aviastroenii na period do 2025 g. i dal'neyshuyu perspektivu (Protokol № 1 soveshchaniya Ministerstva promyshlennosti i torgovli Rossiyskoy Federatsii ot 28.06.2011)* [National plan for the development of science and technology in the aircraft industry for the period up to 2025 and beyond (Minutes No. 1 of the meeting of the Ministry of industry and trade of the Russian Federation dated 28.06.2011)].
20. *Osnovy gosudarstvennoy politiki Rossiyskoy Federatsii v oblasti aviatsionnoy deyatel'nosti na period do 2020 g. (utverzhdenы Prezidentom Rossiyskoy Federatsii 01.04.2012)* [Fundamentals of the state policy of the Russian Federation in the field of aviation activities for the period up to 2020 (approved by the President of the Russian Federation on 01.04.2012)].