

## Перспективы развития авиационного поршневого двигателестроения в России

Гордин М.В., Финкельберг Л.А., Семенов П.В.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

e-mail: piston@ciam.ru

Представлен облик перспективного авиационного поршневого двигателя. Рассмотрено текущее состояние авиационного поршневого двигателестроения в России, указаны основные проблемы и причины отставания в создании конкурентоспособных двигателей для малой авиации. Определены направления возможного развития отрасли.

**Ключевые слова:** авиационный поршневой двигатель, двигатель внутреннего сгорания, дизельный двигатель, конверсия.

## Development prospects of aircraft piston engine-building in Russia

Gordin M.V., Finkelberg L.A., Semenov P.V.

CIAM, Moscow

The paper presents outlook for perspective aircraft piston engine. The current state of aircraft piston engine industry in Russia is examined. Main problems and reasons for slower development of competitive engines for small aircraft have been analyzed. Main areas for possible industry development are defined.

**Keywords:** aircraft piston engine, internal combustion engine, diesel engine, conversion.

### Введение

Производство поршневых двигателей является одним из важнейших направлений в машиностроении и оказывает существенное влияние на решение экономических, социальных, оборонных, экологических, научно-технических проблем как в России, так и в других промышленно развитых странах.

Поршневое двигателестроение – один из индикаторов уровня развития прикладной науки и промышленности в целом. Современный поршневой двигатель, будь то малоразмерный двигатель для специальной техники или тяжелый авиационный дизель, является высокотехнологичным и наукоемким продуктом, при создании которого преобладает доля научных исследований и инженерных разработок. Разработка и организация производства поршневых двигателей на своей территории считается приоритетной задачей для любой экономики мира в силу высокой добавленной стоимости данной продукции.

Необходимость в создании отечественных поршневых двигателей обусловлена не только экономичес-

кими факторами. Невозможно представить современную малую авиацию без надежных высокоэффективных авиационных поршневых двигателей (АПД), которые широко применяются на пилотируемых и беспилотных летательных аппаратах (ЛА и БПЛА) [1 – 4]. Зависимость от зарубежных производителей в этой области является крайне нежелательным фактором, снижающим обороноспособность страны.

Санкции, введенные за последние годы западными странами в отношении России, в том числе в области машиностроения, в очередной раз подтвердили необходимость создания независимой отрасли по производству поршневых двигателей, что должно стать одной из важнейших государственных задач.

### Облик перспективного авиационного поршневого двигателя

Потребность в современных АПД постоянно растет во всем мире, а сами двигатели применяются более чем на половине всего парка ЛА и БПЛА (рис. 1). Востребованность АПД обусловлена их малым весом,



Рис. 1. Летательные аппараты, оснащаемые авиационными поршневыми двигателями

компактностью и более высокими, по сравнению с газотурбинными двигателями, экономическими и тяговыми характеристиками в классе силовых установок мощностью до 500 л.с.

Спрос рынка подтверждается заинтересованностью в АПД со стороны ведущих предприятий авиационной отрасли: АО «Вертолеты России», АО «УЗГА», ПАО «Корпорация «Иркут», ПАО «Ил», ООО (НКФ) «Техноавиа», ООО «НПО «АэроВолга», ООО «Интеравиа», ООО «Промсервис», Ассоциация эксплуатантов и разработчиков беспилотных авиационных систем, ООО «Кронштадт беспилотные системы», ФГУП «СибНИА им. С.А. Чаплыгина» и др.

Анализ отрасли показал, что в перспективе наибольшим спросом будут пользоваться АПД для самолетов, вертолетов и БПЛА, чуть меньший спрос будет на универсальные модели и АПД для автожиров (рис. 2,а). Предпочтение по виду используемого топлива отдастся наиболее доступным в настоящий момент авиационному керосину и автомобильному бензину (рис. 2,б), с сохранением этой тенденции в ближайшей перспективе. Авиационный керосин преимущественно востребован разработчиками ЛА, предназначенных для эксплуатации с использованием существующей инфраструктуры аэропортов.

По вопросу межремонтного ресурса перспективных АПД среди разработчиков ЛА и БПЛА нет единого мнения (рис. 2,в). Чем больше межремонтный ресурс, тем лучше экономические показатели эксплуатации. Однако увеличение ресурса до 2000...3000 ч на текущем уровне технологического развития приведет к ухудшению удельных характеристик двигателя. Большинство современных АПД имеет ресурс 1500...2000 ч, что считается достаточным.

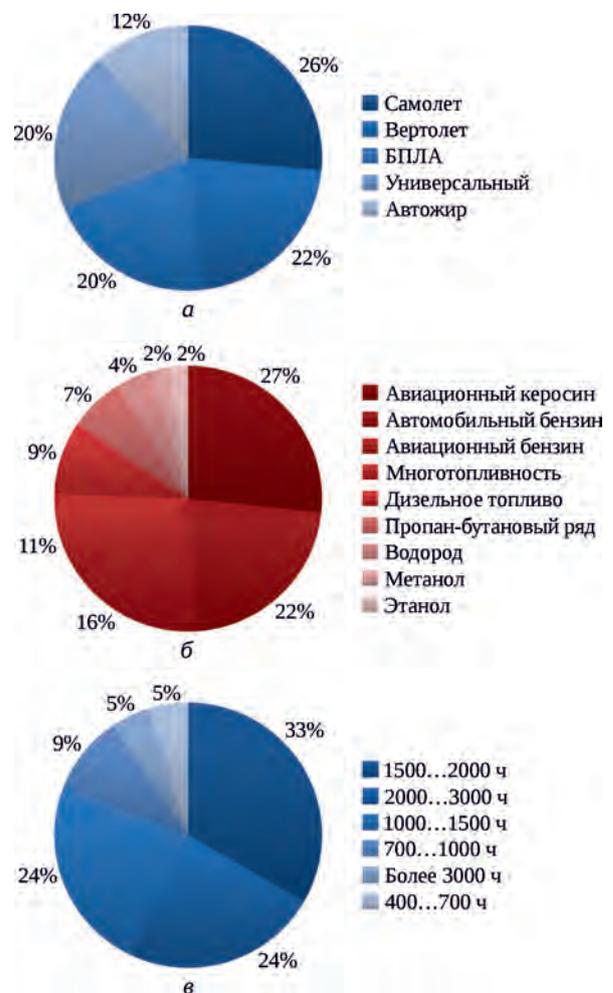


Рис. 2. Распределение предпочтений разработчиков и производителей ЛА и БПЛА относительно АПД; а – по назначению двигателя; б – по видам топлива; в – по межремонтному ресурсу двигателя



Рис. 3. Распределение предпочтений разработчиков и производителей ЛА и БЛА относительно АПД: а – по способу организации рабочего процесса; б – по способу смесеобразования

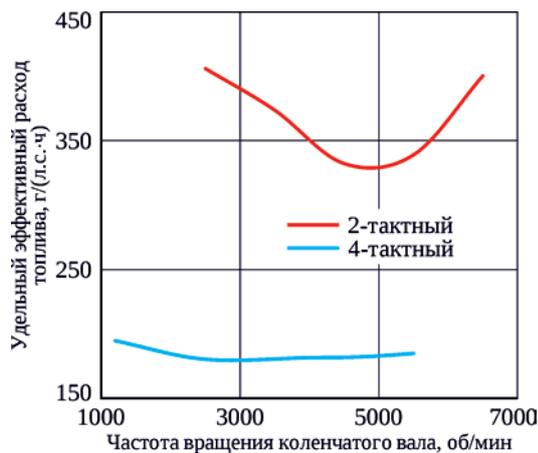


Рис. 4. Сравнение удельного расхода топлива АПД с двухтактным и четырехтактным рабочим циклом

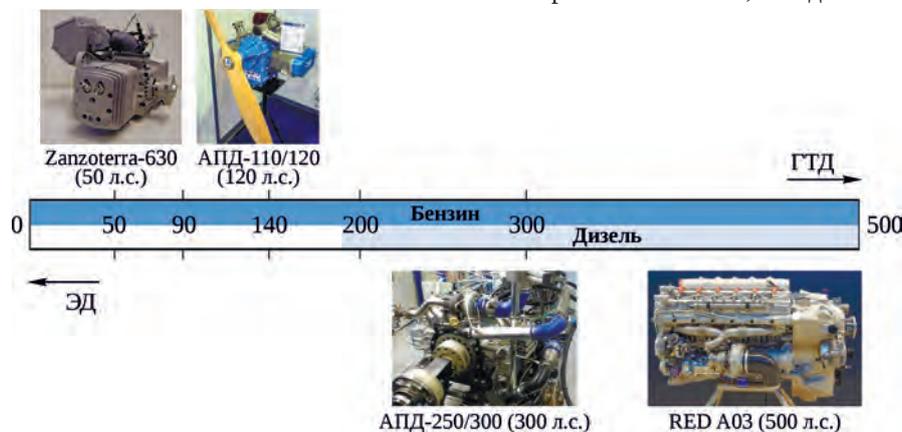


Рис. 5. Мощный ряд АПД в диапазоне 50...500 л.с.

По способу организации рабочего процесса в двигателе большинство производителей ЛА отдает предпочтение АПД с четырехтактным рабочим циклом (рис. 3,а). Такие двигатели проще в обслуживании, более экономичны (рис. 4), тише и устойчивее в работе [5 – 8]. АПД должны обладать системами непосредственного впрыска топлива (рис. 3,б), обеспечивающими точную дозировку и дополнительное охлаждение заряда, что позволяет уменьшить потери на входе и снизить теплонапряженность цилиндра-поршневой группы [5 – 10].

Проведенный анализ позволил сформировать технический облик перспективного АПД: четырехтактный двигатель мощностью 50...500 л.с. с непосредственным (распределенным) впрыском топлива, способный работать на различных видах топлива, с межремонтным ресурсом 1500...2000 ч. Для достижения необходимых технических характеристик двигатель может быть снабжен турбонаддувом.

Диаграмма покрытия обозначенного мощностного ряда АПД приведена на рис. 5. Нишу мощности до 200 л.с. возможно заполнить не только с помощью АПД традиционных схем, но и за счет использования в составе силовых установок ЛА роторно-поршневых двигателей (РПД). Модульный принцип при создании АПД на базе рабочей секции РПД может способствовать кратному повышению его мощности при увеличении числа рабочих секций.

### Современное состояние авиационного поршневого двигателестроения в России

В настоящее время российские двигателестроительные заводы производят поршневые двигатели ограниченного диапазона мощности, ориентированные на узкий круг потребителей. Прежде всего, это связано с рядом факторов, сдерживающих обновление парка АПД:

- срок окупаемости инвестиций в двигателестроение превышает 10 лет, что делает такие инвестиции

коммерчески невыгодными, особенно в нестабильной экономической обстановке;

– недостаточные объемы инвестиций в НИР и ОКР и, как следствие, отсутствие обновлений продуктовой линейки;

– сильная изношенность производственной базы;

– отставание в разработке и освоении новых технологий производства, что ограничивает повышение технического уровня двигателей.

Основу поршневых двигателей составляют литые детали, доля которых доходит до 70% по массе и до 25% по стоимости двигателя. Качество отливок (их эксплуатационные свойства, точность изготовления, тонкостенность) влияет на ресурс и надежность двигателей. Зачастую, не имея возможности покрыть свои потребности, предприятия закупают отливки за рубежом, что увеличивает стоимость конечного продукта и вызывает серьезную зависимость от зарубежных партнеров.

Отдельно стоит отметить современное состояние научно-технического задела в области АПД, которое характеризуется следующими особенностями:

– применяемые технологические процессы и оборудование не соответствуют мировому уровню производства современных двигателей;

– критическое положение, в котором находится экспериментально-исследовательская инфраструктура из-за недостаточного объема финансирования, не позволяет проводить отработку современных АПД в приемлемом темпе и полном объеме;

– недостаточен объем финансирования работ по созданию научно-технического задела в отрасли;

– в станкостроительной промышленности и инструментальном производстве в последние годы произошло отставание от мирового уровня.

В дополнение к тому, что ассигнований на материально-техническую составляющую недостаточно, необходимо также вкладывать средства в развитие кадров. Без высококвалифицированного персонала невозможно проектировать новые двигатели и их системы, разрабатывать и осваивать новейшие технологии. Нарращивание кадрового потенциала современных предприятий – это одно из важнейших направлений повышения конкурентоспособности отрасли.

## **Направления развития отечественного авиационного поршневого двигателестроения**

Анализ тенденций технологического развития в российской экономике, имеющих риски и возможностей роста позволяет выделить несколько наиболее вероятных вариантов развития авиационного поршневого двигателестроения в России.

Один из них – создание специализированных предприятий-разработчиков агрегатов и комплектующих. Это должны быть узкоспециализированные предприятия с военной или авиатехприемкой, ориентированные на возможность тиражирования и быстрого увеличения типоразмерного ряда создаваемой продукции для различных заказчиков.

Недостатком этого направления развития является зависимость предприятий от конъюнктуры рынка, что можно было наблюдать в 1950...1980-е гг., когда к АПД проявляли больший интерес и были созданы специализированные агрегатные предприятия по производству карбюраторов, магнето и других узлов. Многие компоненты и узлы выпускались предприятиями-разработчиками двигателей на собственных производственных мощностях, и, как правило, производство было дотационным. Рентабельность обеспечивалась по достижении выпуска 500 двигателей в год. В конце 1980-х гг., после спада спроса на АПД, предприятия-разработчики агрегатов обанкротились или переориентировались на другую продукцию. На сегодняшний день восстановить производство практически невозможно. Такой путь развития несет в себе много рисков, и главный из них – появление предприятий-монополистов, которые не могут гибко и адекватно реагировать на снижение спроса на разрабатываемые ими АПД.

Альтернативным путем развития является применение в АПД агрегатов и комплектующих для наземной техники в части современной элементной базы. В этом случае почти вся ответственность ложится на головное предприятие-разработчик АПД. Здесь на первый план выходит подготовка пакета нормативно-технической документации, определяющей порядок использования наземных комплектующих, агрегатов и компонентов в АПД для ЛА и БПЛА. Другими важными особенностями этого направления являются организация грамотного входного контроля, создание на предприятии лабораторий контроля и металлографии, работа с поставщиками, постоянное пополнение склада компонентов, обеспечивающих опережающий задел при изготовлении двигателей. Возможные риски могут быть обусловлены более быстрой сменой модельного ряда наземных двигателей. В области комплектующих подобных резких изменений не происходит.

Не стоит забывать о новых технологиях производства, которые успешно осваивает отечественная промышленность. Именно они открывают дорогу еще для одного направления, связанного с применением современных методов конструирования и изготовления двигателей, а именно аддитивных технологий, которые позволяют задействовать значительные резервы совершенствования конструкции и снижения массы АПД. Можно утверждать, что в ближайшие годы это направ-



**Рис. 6.** АПД AeroMomentum AM15 на основе автомобильного двигателя Suzuki

ление станет ключевым в двигателестроении, поэтому его освоению надо уделять максимум внимания, готовить квалифицированные кадры и оказывать прямую поддержку целевым финансированием при создании образцов производственного оборудования. Применение аддитивных технологий позволит развернуть серийное производство унифицированного ряда АПД, что ускорит процесс создания, доводки и сертификации разрабатываемых двигателей и в сжатые сроки покроет потребности отечественной авиации общего назначения в современных АПД.

Основываясь на мировом опыте разработки авиационных поршневых двигателей, можно выделить еще одно направление развития – изготовление современных АПД путем конверсии поршневых двигателей для наземной техники [11; 12]. Примером успешной конверсии является АПД AeroMomentum AM15 (рис. 6), разработанный на базе автомобильного двигателя Suzuki серии G. Автомобильные двигатели намного опережают авиационные поршневые в технологическом плане и выпускаются в большем объеме. В России, согласно статистике, в составе автомобилей продается более 1,5 млн двигателей в год, в то время как годовой объем рынка АПД не превышает 300 двигателей.

Поршневые двигатели для наземной техники обладают большей номенклатурой и ассортиментом комплектующих, при этом их основные системы схожи с системами, применяемыми в АПД. Главное отличие авиационных поршневых двигателей от двигателей для наземной техники заключается в режимах работы: АПД работают преимущественно на более высокой частоте вращения коленчатого вала, и, как следствие, их детали подвержены повышенным нагрузкам.

Дополнительное преимущество конверсии заключается в способности адаптированных двигателей работать на автомобильном бензине [13 – 15], поскольку высока вероятность полного запрета применяемого в настоящее время дорогостоящего и чрезвычайно

токсичного этилированного высокооктанового бензина Б-91/115 или Avgas 100LL.

Существует несколько уровней конверсии двигателей, обусловленных зрелостью проекта и емкостью рынка. Прототипы конверсионных двигателей проходят один или несколько этапов:

1) установка редуктора без существенной доработки базового двигателя;

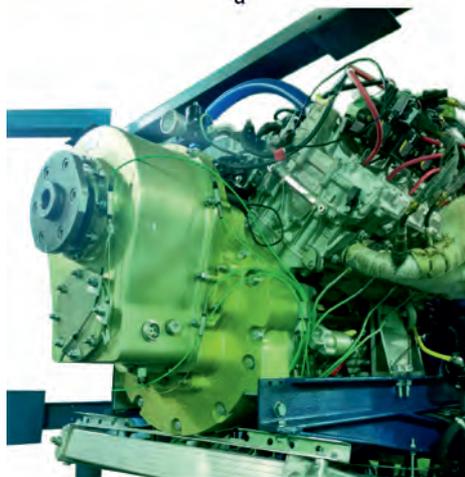
2) снижение веса и повышение надежности двигателя путем изготовления некоторых критических деталей взамен штатных, применение в его конструкции доступных на рынке модифицированных деталей, отвечающих техническим требованиям;

3) изготовление большинства деталей силовой установки при использовании некоторого процента деталей оригинального двигателя, отвечающих требованиям по качеству и надежности.

Поступающие в серийное производство двигатели являются, как правило, результатом третьего этапа конверсии. Подобные примеры уже присутствуют в практике отечественного двигателестроения.



*a*



*б*

**Рис. 7.** Варианты поршневого двигателя НАМИ V8 GB: *a* – автомобильный (НАМИ); *б* – авиационный (ЦИАМ)

---

В современных технико-экономических условиях наиболее актуальна конверсия автомобильных двигателей в авиационные, что подтверждается результатами выполненной в ЦИАМ работы по конверсии автомобильного поршневого двигателя НАМИ V8 GB в АПД (рис. 7). За основу был взят силовой агрегат автомобильной версии двигателя. Основная часть работ была направлена на разработку систем двигателя, отвечающих авиационным требованиям. Проведенные экспериментальные исследования подтвердили заявленные характеристики авиационной версии поршневого двигателя. Работа продемонстрировала, что применение деталей автомобильных двигателей при разработке АПД позволит при ограниченном бюджете и за приемлемые сроки провести опытно-конструкторские работы и освоить производство таких двигателей.

## Заключение

Развитие авиационного поршневого двигателестроения в России невозможно без кооперации всех заинтересованных сторон: разработчиков и производителей летательных аппаратов и двигателей, потребителей и государства. В ассигнованиях нуждается не только материально-техническая составляющая, но и интеллектуальная. Тесное сотрудничество предприятий отрасли и университетов позволит подготовить новые кадры и повысить квалификацию имеющих, обеспечить

тем самым решение текущих технико-экономических проблем отрасли и сокращение отставания от зарубежного авиационного поршневого двигателестроения.

Мировая практика показывает, что наиболее эффективному и быстрому решению кадрового вопроса способствует создание специализированных центров компетенции. Подобные центры создаются, как правило, на базе технических университетов или в тесном сотрудничестве с ними, поскольку при разработке современного АПД необходимы компетенции не только специалистов в области двигателестроения, но и технологов, металлургов, специалистов в области обработки давлением, механической обработки, литейщиков, материаловедов, специалистов в области систем управления, механики сплошной среды, гидравлики, газовой динамики, прикладной математики и многих других.

Для решения спектра задач, стоящих перед отраслью, требуется разработать и утвердить новые нормативно-технические документы, регламентирующие требования к АПД. Это позволит использовать двигатели, как уже введенные в эксплуатацию, так и вновь создаваемые в результате конверсии или модернизации.

Реализация мер, направленных на развитие отечественного авиационного поршневого двигателестроения, должна усилить взаимодействие всех участников процесса и способствовать оптимальной кооперации в отрасли, что позволит эффективно решать текущие и будущие задачи.

## Литература

1. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. № 9. 22 с. DOI 10.18698/2308-6033-2018-9-1801.
2. Кузнецов Г.А. Беспилотные летательные аппараты с поршневыми двигателями. Компоновки и конструкции. М.: Компания Спутник+, 2010. 194 с.
3. Беспилотные летательные аппараты: сайт. URL: <http://www.bp-la.ru> (дата обращения: 10.12.2019).
4. Новичков Н.Н. Беспилотные летательные аппараты мира: справочник. М.: Информ. агентство АРМС-ТАСС, 2011. 456 с.
5. Costa M., Sorge U., Allocca L. Increasing Energy Efficiency of a Gasoline Direct Injection Engine Through Optimal Synchronization of Single or Double Injection Strategies // Energy Conversion and Management. 2012. Vol. 60. P. 77–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.12.025>.
6. Fuel Injector Deposits in Direct-Injection Spark-Ignition Engines / H. Xu, C. Wang, X. Ma, A.K. Sarangi, A. Weall, J. Krueger-Venus // Progress in Energy and Combustion Science. 2015. Vol. 50. P. 63–80. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.02.002>.
7. Zhao H., Stone R., Zhou L. Analysis of the Particulate Emissions and Combustion Performance of a Direct Injection Spark Ignition Engine Using Hydrogen and Gasoline Mixtures // International Journal of Hydrogen Energy, 2010. Vol. 35, iss. 10. P. 4676–4686. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.02.087>.
8. Довгялло А.И., Крашенинников С.В., Щепетов Д.А. Повышение эффективности работы двухтактного ДВС с искровым зажиганием при использовании впрыска топлива // Вестн. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2013. № 3 (41), ч. 2. С. 107–112.
9. Fundamentals of Internal Combustion Engines: Functionality and Alternative Drive Systems Combustion, Measurement Technology and Simulation / G.P. Merker, R. Teichmann (ed.). 9th ed. Wiesbaden: Springer, 2019.

- 
- 1117 p. In German. Title: Grundlagen Verbrennungsmotoren: Funktionsweise und Alternative Antriebssysteme Verbrennung, Messtechnik und Simulation.
10. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan Press, 2012. 516 p.
  11. Piancastelli L., Cassani S. On the Conversion of Automotive Engines for General Aviation // ARPN J. of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 13, no. 12. P. 4196–4203.
  12. Кнепп J., Меллен R. Conversion of Production Automotive Engines for Aviation Use. 1993. 14 p. (SAE Technical Paper Series; 932606). URL: <https://doi.org/10.4271/932606>.
  13. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А. Влияние формы впускных каналов на эффективные и экологические показатели среднеоборотного дизеля // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2015. № 6. С. 59–73.
  14. Зеленцов А.А. Анализ процессов теплообмена в камерах сгорания авиационных поршневых двигателей с искровым зажиганием // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2018. № 1. С. 75–82. DOI 10.18698/0236-3941-2018-1-75-82.
  15. Francia D., Piancastelli L., Renzi C. A Very Simple and Effective Method for Off-Design Simulation of Modern Aircraft Piston Engines // AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference 2008, August 18–21, 2008, Honolulu, Hawaii, USA. Vol. 3. P. 1471–1478. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2008-7095>.

## References

1. Kuznetsov G.A., Kudriavtsev I.V., Krylov E.D. Retrospektivnyi analiz, sovremennoe sostoianie i tendentsii razvitiia otechestvennykh bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Retrospective Analysis, Current State and Development Trends of Domestic Unmanned Aerial Vehicles]. Engineering Journal: Science and Innovation, 2018. No. 9. 22 p. DOI 10.18698/2308-6033-2018-9-1801.
2. Kuznetsov G.A. Bespilotnye letatel'nye apparaty s porshnevymi dvigateliami. Komponentki i konstruksii [Unmanned Aerial Vehicles with Piston Engines. Layouts and Designs]. Moscow: Sputnik+ Company, 2010. 194 p.
3. Bespilotnye letatel'nye apparaty [Unmanned Aerial Vehicles: website]. URL: <http://www.bp-la.ru> (date of access: 10.12.2019).
4. Novichkov N.N. Bespilotnye letatel'nye apparaty mira: spravochnik [Unmanned Aerial Vehicles of the World: a Reference Book]. Moscow: ARMS-TASS news agency, 2011. 456 p.
5. Costa M., Sorge U., Allocca L. Increasing Energy Efficiency of a Gasoline Direct Injection Engine Through Optimal Synchronization of Single or Double Injection Strategies // Energy Conversion and Management. 2012. Vol. 60. P. 77–86. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2011.12.025>.
6. Fuel Injector Deposits in Direct-Injection Spark-Ignition Engines / H. Xu, C. Wang, X. Ma, A.K. Sarangi, A. Weall, J. Krueger-Venus // Progress in Energy and Combustion Science. 2015. Vol. 50. P. 63–80. URL: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2015.02.002>.
7. Zhao H., Stone R., Zhou L. Analysis of the Particulate Emissions and Combustion Performance of a Direct Injection Spark Ignition Engine Using Hydrogen and Gasoline Mixtures // International Journal of Hydrogen Energy, 2010. Vol. 35, iss. 10. P. 4676–4686. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.02.087>.
8. Dovgiallo A.I., Krashennikov S.V., Shchepetov D.A. Povyshenie effektivnosti raboty dvukhtaktnogo DVS s iskrovyim zazhiganiem pri ispol'zovanii vpryska topliva [Improving Efficiency of a Two-Stroke Internal Combustion Engine with Spark Ignition Using Fuel Injection]. VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering. 2013. No. 3 (41), part 2. P. 107–112.
9. Fundamentals of Internal Combustion Engines: Functionality and Alternative Drive Systems Combustion, Measurement Technology and Simulation / G.P. Merker, R. Teichmann (ed.). 9th ed. Wiesbaden: Springer, 2019. 1117 p. In German. Title: Grundlagen Verbrennungsmotoren: Funktionsweise und Alternative Antriebssysteme Verbrennung, Messtechnik und Simulation.
10. Stone R. Introduction to Internal Combustion Engines. 4th ed. Basingstoke, UK: Palgrave Macmillan Press, 2012. 516 p.
11. Piancastelli L., Cassani S. On the Conversion of Automotive Engines for General Aviation // ARPN J. of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 13, no. 12. P. 4196–4203.
12. Кнепп J., Меллен R. Conversion of Production Automotive Engines for Aviation Use. 1993. 14 p. (SAE Technical Paper Series; 932606). URL: <https://doi.org/10.4271/932606>.
13. Кавтарадзе Р.З., Зеленцов А.А. Влияние формы впускных каналов на эффективные и экологические показатели среднеоборотного дизеля [Influence of the Intake Channel Shape on the Effective and Environmental Performance

- 
- of Medium-Speed Diesel Engines]. Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series “Mechanical Engineering”. 2015. No. 6. P. 59–73.
14. Zelentsov A.A. Analiz protsessov teploobmena v kamerakh sgoraniia aviatsionnykh porshnevnykh dvigatelei s iskrovym zazhiganiem [Analysis of Heat Transfer Processes in Combustion Chambers of Aviation Piston Engines with Spark Ignition]. Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series “Mechanical Engineering”. 2018. No. 1. P. 75-82. DOI 10.18698/0236-3941-2018-1-75-82.
  15. Francia D., Piancastelli L., Renzi C. A Very Simple and Effective Method for Off-Design Simulation of Modern Aircraft Piston Engines // AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference 2008, August 18–21, 2008, Honolulu, Hawaii, USA. Vol. 3. P. 1471–1478. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2008-7095>.

*Материалы получены редакцией 23.12.2019*