

УДК 629.7.038

**О ПРОБЛЕМЕ СОЗДАНИЯ ГИБРИДНЫХ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ****<sup>1</sup>Булат М.П., <sup>2</sup>Ильина Т.Е.**<sup>1</sup>ООО «НОЦ «Динамика»;<sup>2</sup>ООО КБ «Динамика», Санкт-Петербург, e-mail: tamara-190@yandex.ru

Рассмотрены основные направления развития гражданских реактивных двигателей. Показано, что совершенствование будет идти по направлению внедрения инновационных узлов в двигатели, построенные по традиционной схеме, а также путем создания гибридных реактивных двигателей. Последние могут сочетать в себе традиционную газовую турбину и электрический привод, газогенераторы, работающие в соответствии с различными термодинамическими циклами. Вершиной данных работ является объединение в одной конструкции двигателей, способных работать как в атмосфере, так и в космосе. Показано, что складывающиеся рыночные условия, возможно, позволят появиться таким новаторским конструкциям уже в ближайшие годы. Описаны основные сегменты рынка для первоочередного внедрения перспективных двигателей и компании, от которых можно ожидать появления новых решений.

**Ключевые слова:** гибридный воздушно-реактивный двигатель, термодинамический цикл, турбина, деловая авиация, коммерческая космонавтика

**THE PROBLEM OF CREATING DETONATION ENGINE****<sup>1</sup>Bulat M.V., <sup>2</sup>Irina T.E.**<sup>1</sup>«SEC Dynamics» ltd;<sup>2</sup>«KB Dynamics» ltd, St. Petersburg, e-mail: tamara-190@yandex.ru

The main directions of development of civil jet engines. It is shown that the improvement will go towards the introduction of innovative components in engines, built on the traditional pattern, as well as through the creation of hybrid rocket motors. The latter can combine a traditional gas turbine and electric drive, gas generators operating in accordance with the different thermodynamic cycles. The peak of this work is to bring together in a single engine design capable of working both in the atmosphere and in space. It is shown that the folding market conditions may allow such innovative designs appear in the coming years. Are described market segments for initial introduction of perspective engines and companies that can provide new solutions.

**Keywords:** hybrid jet engine, the thermodynamic cycle, the turbine, business aviation, commercial space travel

Суммарный объем годового финансирования, направляемый в мире на исследования в области силовых установок для сверхзвукового и гиперзвукового полета, оценивается [11] более чем в 1 млрд \$. Работы в области модернизации воздушно-реактивных двигателей (ВРД) оцениваются еще в 1,4 млрд \$ в год. Конкуренция на этом рынке ведется всеми исследовательскими центрами в мире, прежде всего, за государственные гранты, заказы и бюджеты поисковых НИР ведущих корпораций. Только на обзоры будущего авиации и гражданского двигателестроения и только НАСА в 2010–2011 гг. выделено [10] 17,1 млн \$. Все работы можно разделить на две большие группы [5]: совершенствование узлов двигателей традиционных схем; создание комбинированных двигателей.

**Совершенствование узлов двигателей традиционных схем**

Работы идут в двух направлениях: резкое (в 3–5 раз) удешевление конструкции двигателей при сохранении удельных параметров; улучшение на 20–25% топливной экономичности и снижение на 20% удельного веса двигателей. Первое направление представлено исследованиями в области

новых термодинамических циклов. Второе направление включает в себя как традиционное увеличение степени двухконтурности, так и внедрение новых схем [9]:

- открытый ротор (10% топливной экономичности);
- закапотированный винто-вентилятор (5% топливной экономичности);
- промежуточное охлаждение воздуха между ступенями компрессора (4% топливной экономичности);
- турбина с противоположным вращением ступеней (полностью уравновешенный ротор);
- управляемая камера сгорания, работающая на сверхбедной топливной смеси (5% топливной экономичности, снижение выбросов  $NO_x$  на 50%);
- легкий композитный компрессор;
- элементы турбины, изготовленные с использованием матричных композитов.

**Новые схемы интеграции силовой установки и планера**

Отдельным направлением является более полная интеграция двигателей и планера. Это позволяет создать идеальную циркуляцию вектора скорости вокруг профиля (рис. 1) за счет утилизации пограничного

слоя в двигателе. Выравнивание профиля скорости за летательным аппаратом существенно снижает индуктивное сопротивление и, соответственно, экономит топливо. И в этой сфере возможно использование, например, детонационного горения как совершенно нечувствительной к неравномерностям на входе газодинамической системы. Естественным следующим шагом в данном направлении видится распределенная силовая установка [7], в которой может быть множество газогенераторов (рис. 2), либо множество двигателей (сопел и вентиляторов), превосходящее количество газогенераторов (рис. 3).



Рис. 2. Распределенная силовая установка с множеством газогенераторов

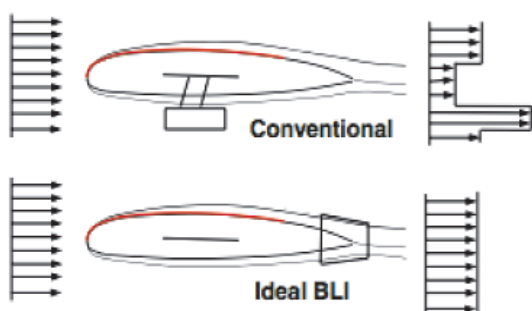


Рис. 1. Выравнивание профиля скорости за летательным аппаратом существенно снижает индуктивное сопротивление

Активно рассматриваются вопросы безмаслянных трасмиссий и безконтактных опор ротора ВРД [1, 3, 4]. Так, например, Hypermach Aerospace Ltd. для своего проекта SonicStar (рис. 4) разрабатывает двигательную установку, которая будет сочетать в себе элементы традиционного ВРД и инновационного электрического двигателя, приводящего во вращение компрессор. Предполагается, что двигатель будет иметь переменную степень двухконтурности и электромагнитные опоры ротора. Для управления обтеканием будут использоваться электромагнитные поля, создаваемые магнитами на сверхпроводящих элементах.

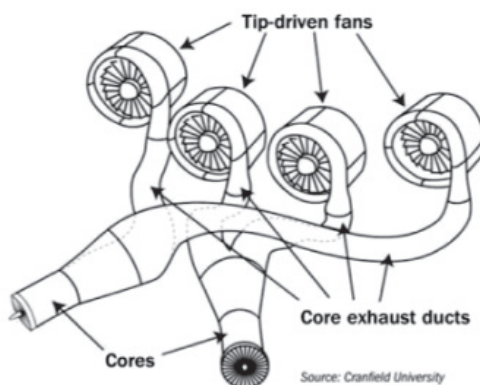


Рис. 3. Распределенная силовая установка с числом двигателей, превосходящим количество газогенераторов



Рис. 4. Проект SonicStar фирмы Hypermach Aerospace Ltd

### Развитие концепции гибридных (комбинированных) реактивных двигателей

Развитие комбинированных двигателей стирает грань между космонавтикой и авиацией. Ряд схем таких силовых установок позволяет летательному аппарату (ЛА) взлетать как обычному самолету и выходить за пределы стратосферы. Тенденции изменения удельного импульса по мере увеличения числа Маха полета для двигателей различных схем показаны на

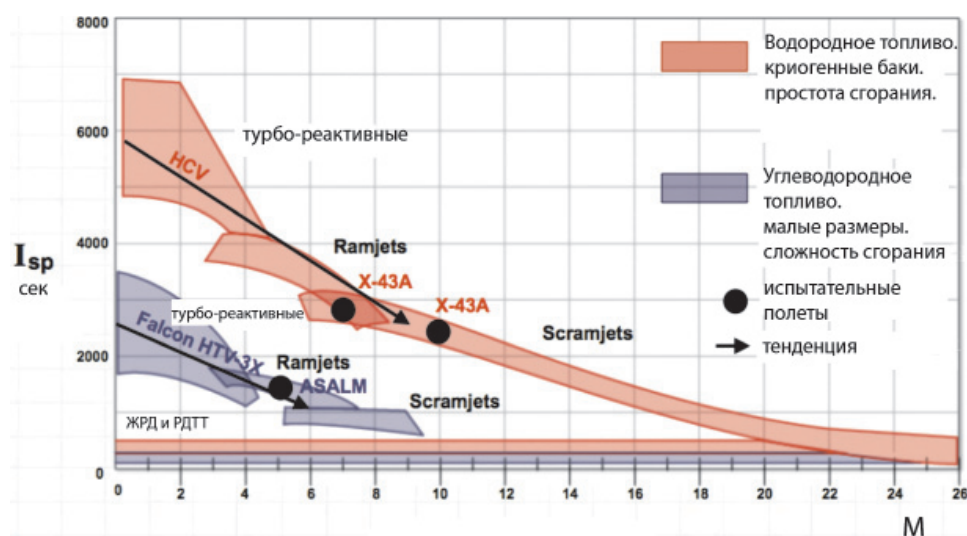


Рис. 5. Сравнение удельного импульса  $I_{sp}$  реактивных двигателей различных типов

Самым ярким представителем данного направления является проект комбинированного ВРД Scimitar, рассчитанного на число Маха полета  $M = 5$ <sup>1</sup>. В конструкции последнего используются такие прогрессивные решения, как эжекторное сопло с большой степенью расширения, турбина во внешнем контуре, эффективный теплообменник, охлаждающий воздух перед компрессором.

Следующим шагом в этом направлении является турборакетный двигатель SABRE для воздушно-космического самолета<sup>2</sup>. В нем использованы такие радикальные решения, как сжижение атмосферного воздуха и подача его в камеру сгорания кислородно-водородного ЖРД. На атмосферном участке двигатель работает как комбинированный. Окислителем выступает кислород воздуха, а горючим жидкий водород. А вот за пределами атмосферы это уже чистый жидкостный ракетный двигатель.

<sup>1</sup> <http://www.reactionengines.co.uk/lapcat.html>

<sup>2</sup> [http://www.reactionengines.co.uk/sabre\\_howworks.html](http://www.reactionengines.co.uk/sabre_howworks.html)

рис. 5. Нельзя не упомянуть в этой связи фирму ReactionEngines (<http://www.reactionengines.co.uk/>). Фирма создана в 1989 г. легендарным Аланом Бондом. Он славится в Британии «чудиком», говорят, что у его проектов всего один недостаток — чертежи существуют только в голове Алана. Тем не менее компания регулярно получает финансирование из разных фондов Евросоюза на развитие проекта космического космолана Scylon, на гиперзвуковой самолет Lapcat, на новаторские турборакетные и гибридные двигатели.

### Рынок для первоочередного внедрения перспективных двигателей

Ведущие мировые производители реактивных двигателей прогнозируют внедрение радикально новых решений после 2030 г. [6]. Тем не менее существует ряд рынков, на которых появление новинок стоит ожидать гораздо раньше.

Рынок деловой авиации интересен тем, что он менее консервативен с точки зрения внедрения технических новшеств. Здесь вполне по силам небольшой инженеринговой компании выйти на рынок с проектом новых силовых установок.

Прогнозируется и появление рынка сверхзвуковой деловой авиации [2]. Так, компания Aerion (<http://aerioncorp.com>) продвинулась дальше всех в разработке проекта сверхзвукового самолета. Она уже приступила к подготовке сертификации своего сверхзвукового бизнес-джета (рис. 6), который должен выйти на рынок в конце десятилетия. Этот корпоративный самолет будет рассчитан на перевозку 8–12 пассажиров. Самолет оптимизирован на скорости 0,95

и 1,5 М. Компания Aerion сообщает, что у них уже есть около 50 потенциальных заказов на сверхзвуковой бизнес-джет.

Перспективы данного сегмента рынка связаны с успехами или неудачами в ре-

шении двух принципиальных проблем: снижение уровня звукового удара на местности; радикальное улучшение экономичности силовой установки на сверхзвуковых скоростях.

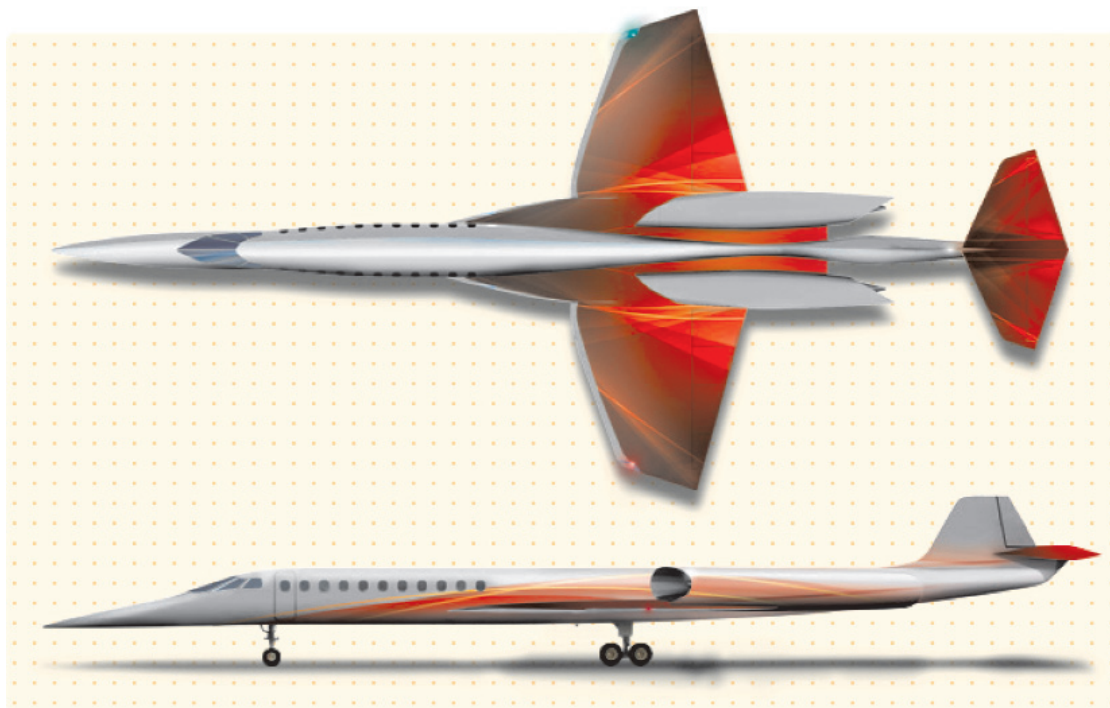


Рис. 6. Сверхзвуковой бизнес-джет фирмы Aerion

Первая проблема близка к разрешению [8]. Для решения второй необходим переход к комбинированным двигателям или новым термодинамическим циклам сжигания топлива.

Чрезвычайно перспективным представляется рынок частной и коммерческой космонавтики. Лидером тут являются США, где в творческой и свободной от рутины и государственной бюрократии атмосфере растут такие компании, как «SpaceX», «XCOR Aerospac», «Virgin Galactic».

### Заключение

Таким образом, можно констатировать, что отрасль аэрокосмического двигателестроения стоит на пороге технологической революции. Эволюционное развитие традиционных ВРД и жидкостных ракетных двигателей привело к тому, что их технические характеристики вплотную приблизились к теоретическому пределу. Дальнейшее совершенствование дается ценой огромных затрат и не приводит к существенным улучшениям потребительских свойств летатель-

ного аппарата. Выход видится специалистами во внедрении инновационных узлов и разработке двигателей, совмещающих термодинамические циклы разного вида.

### Список литературы

1. Смирнова О.С., Булат П.В., Продан Н.В.. Применение управляемых газо- и гидростатических подшипников в турбонасосных агрегатах многофазовых комбинированных ЖРД // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 4(2). – С. 335–339. Ссылка: <http://www.rae.ru/fs/478-r31193>.
2. «Транспорт-2011»: перспективному самолету быть! ПРЕСС-РЕЛИЗ ЦАГИ. 14 марта 2012. Жуковский, МО.
3. Усков В.Н., Булат П.В. Об исследовании колебательного движения газового подвеса ротора турбохолодильных и детандерных машин. Часть I. Постановка задачи // *Вестник МАХ*. – 2012. – № 3. – С. 3–7.
4. Усков В.Н., Булат П.В. Об исследовании колебательного движения газового подвеса ротора турбохолодильных и детандерных машин. Часть II. Колебания давления в соплах питающей системы на сверхкритическом режиме работы // *Вестник МАХ*. – 2012. – № 1. – С. 57–60
5. Aviation week. Vol. 174, № 42, november, 2012.
6. Dr. Dale Carlson. GE Aviation: Perspectives on Clean, Efficient Engines. May 7, 2013.
7. G.A. Hill, S.A. Brown, and K.A. Geiselhart. NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23681 C.M. Burg.



Aerospace Systems Design Lab, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 30332. Integration of Propulsion-Airframe-Aeroacoustic Technologies and Design Concepts for a Quiet Blended- Wing-Body Transport.

8. John M. Morgenstern, Michael Buonanno and Nicole Nordstrud Lockheed Martin Aeronautics Company, Palmdale, CA 93599. N + 2 Low Boom Wind Tunnel Model Design and Validation. 30th AIAA Applied Aerodynamics Conference 25–28 June 2012, New Orleans, Louisiana AIAA 2012–3217.

9. John Whurr. Chief Project Engineer, Future Programmes of RR. Future Civil Aeroengine Architectures & Technologies.

10. Mark F. Mangelsdorf Chief Engineer (Acting) Environmentally Responsible Aviation (ERA) Project. Overview of ERA's Advanced Vehicle Concepts NRA. N + 2 Advanced Vehicle Concepts & Quick-Starts NRA Pre-Proposal Meeting February 19, 2010.

11. Max Mach Hypersonic Goes Global. Aviationweek&space technology. Nov 26, 2012.

### References

1. Smirnova O.S., Bulat P.V., Prodan N.V. Primenenie upravljajemyh gazo- i gidrostaticeskikh podshipnikov v turbomasosnyh agregatah mnogorazovyh kombinirovannyh ZhRD, Fundamentalnye issledovanija, 2013, no. 4(2), pp. 335–339. Available at: <http://www.rae.ru/fs/478-r31193>.

2. «Transport-2011»: perspektivnomu samoletu byt! PRESS-RELIZ CAGI. 14 marta 2012 g. Zhukovskij, MO.

3. Uskov V.N., Bulat P.V. Ob issledovanii kolebatelnogo dvizhenija gazovogo podvesa rotora turboholodilnyh i detandernyh mashin. Chast I. Postanovka zadachi. Vestnik MAH. 2012, no. 3, pp. 3–7.

4. Uskov V.N., Bulat P.V. Ob issledovanii kolebatelnogo dvizhenija gazovogo podvesa rotora turboholodilnyh i detandernyh mashin. Chast II. Kolebanija davlenija v soplakh pitajushhej sistey na sverhkriticheskom rezhime raboty. Vestnik MAH. 2012, no. 1, pp. 57–60.

5. Aviation week. Vol. 174, no. 42, november, 2012.

6. Dr. Dale Carlson. GE Aviation: Perspectives on Clean, Efficient Engines. May 7, 2013.

7. G.A. Hill, S.A. Brown, and K.A. Geiselhart. NASA Langley Research Center, Hampton, V.A. 23681 C.M. Burg. Aerospace Systems Design Lab, Georgia Institute of Technology, Atlanta, G.A. 30332. Integration of Propulsion-Airframe-Aeroacoustic Technologies and Design Concepts for a Quiet Blended- Wing-Body Transport.

8. John M. Morgenstern, Michael Buonanno and Nicole Nordstrud Lockheed Martin Aeronautics Company, Palmdale, CA 93599. N + 2 Low Boom Wind Tunnel Model Design and Validation. 30th AIAA Applied Aerodynamics Conference 25–28 June 2012, New Orleans, Louisiana AIAA 2012–3217.

9. John Whurr. Chief Project Engineer, Future Programmes of RR. Future Civil Aeroengine Architectures & Technologies.

10. Mark F. Mangelsdorf Chief Engineer (Acting) Environmentally Responsible Aviation (ERA) Project. Overview of ERA's Advanced Vehicle Concepts NRA. N + 2 Advanced Vehicle Concepts & Quick-Starts NRA Pre-Proposal Meeting February 19, 2010.

11. Max Mach Hypersonic Goes Global. Aviationweek&space technology. Nov 26, 2012.

### Рецензенты:

Пеленко В.В., д.т.н., профессор, заместитель директора по учебной работе Института Холода и Биотехнологий, ФГБОУ «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург;

Цветков О.Б., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретические основы тепло- и хладотехники» Института Холода и Биотехнологий, ФГБОУ «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 17.10.2013.