

Развитию авиационного двигателестроения может способствовать создание высокоэффективных энергоустановок малой мощности

Фаворский О.Н., Ланшин А.И., Солонин В.И.

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

e-mail: visolonin@ciam.ru

Статья посвящена острой проблеме нехватки современных отечественных авиационных двигателей. Показано, что быстрое развитие авиадвигателестроения можно осуществить на основе малоразмерных ГТД (МГТД). Такое развитие может быть обеспечено созданием на базе единого газогенератора МГТД для летательных аппаратов разного назначения, а также путем конверсии – создания газотурбинных установок на основе существующих авиационных МГТД, что будет способствовать и развитию российской энергетики. Показано, что задача вполне осуществима в ближайшее время.

Ключевые слова: малоразмерный ГТД, авиационный ГТД, единый газогенератор, семейство ГТД, летательный аппарат, энергетическая установка, газотурбинная установка, конверсия

The progress in aviation engine development can be facilitated by creating highly efficient small power plants

Favorskiy O.N., Lanshin A.I., Solonin V.I.

CIAM, Moscow

The article is devoted to the critical problem of the shortage of modern domestic aircraft engines. It is shown that the rapid progress in aircraft engine development can be carried out based on small-sized GTEs. Such progress can be ensured by developing small-sized GTEs for aircraft of various purposes based on a unified engine core, as well as creation of gas turbine power plants based on existing small-sized GTEs, which will contribute to the growth of Russian power industry. It is shown that the task is quite achievable in the near future.

Keywords: small-sized GTE, aviation GTE, unified engine core, family of GTEs, aircraft, power plant, gas turbine plant, conversion

Авиадвигателестроение является одной из самых высокотехнологичных отраслей промышленности, которая обеспечила превращение авиации в важнейшую составляющую транспортной системы и обороноспособности страны. Авиационный газотурбинный двигатель в результате научно-технического прогресса достиг наивысшего, в сравнении с продукцией общего машиностроения, совершенства: термодинамического, уровня аэродинамической нагруженности лопаточных машин, максимальной температуры газа перед турбиной, эффективности охлаждения и теплозащиты горячей части, удельного веса, многорежимности работы, применения новых конструкционных материалов и технических решений.

Все это достигается путем организации работ в соответствии с методологией создания высокотехнологичной продукции, требующей опережающей отработки критических технологий, новых конструктивных решений и материалов [1; 2]. Такие работы проводятся в рамках специальных программ, активно поддерживаемых государством, что обеспечивает сокращение сроков создания авиационных двигателей и постоянное их совершенствование. Программы военного и гражданского назначения взаимно дополняют друг друга, поскольку используют общие на 70...80% технологии при создании новых и модернизации находящихся в эксплуатации двигателей [3].

В связи с тем, что авиационный двигатель становится все более сложным и дорогим изделием, финансирование программ за рубежом осуществляется за счет государственного бюджета и собственных средств компаний-разработчиков, постоянно увеличивается и составляет несколько миллиардов долларов в год. Причем средства, выделяемые компаниями, в 2,5...3 раза превышают бюджетные.

В результате экономических преобразований 1990-х годов отечественное двигателестроение отстает от отрасли в технологически развитых западных странах на поколение (15...20 лет). Российские предприятия серийно выпускают двигатели, созданные в 1980...1990-е годы. Исключением является двигатель SaM 146, совместный продукт французской компании Safran и ПАО «ОДК-Сатурн». Причем выпуск отечественных двигателей гражданского назначения исчисляется десятками в год, в то время как зарубежные фирмы выпускают ежегодно несколько тысяч двигателей различного назначения. Таким образом, сейчас в России существование и развитие авиадвигателестроения невозможно без многократного увеличения производства авиадвигателей, а поскольку на создание конкурентоспособных двигателей требуются десятки миллиардов долларов в год, то решающую роль здесь должно играть государство.

В нынешних условиях, когда большая часть авиaperевозок в РФ осуществляется на самолетах иностранного производства, и с учетом вводимых санкций создание конкурентоспособной авиационной техники крайне актуально. Создание в рамках импортозамещения современных отечественных двигателей ПД-14 (для самолета MC-21) и ПД-8 (для SSJ-100new) испытывает определенные трудности из-за недостаточного финансирования. Отсутствие крупной авиатехники может быть восполнено путем увеличения выпуска малоразмерных газотурбинных двигателей (МГТД) для вертолетов и самолетов местных воздушных линий (МВЛ), деловых самолетов, легких транспортных и беспилотных воздушных судов (БВС) различного назначения.

В настоящее время осуществляется серийное производство турбовальных ГТД (ТВГТД) ВК-2500 и ТВ7-117В, идет подготовка к серийному производству ТВГТД ВК-800В и турбовинтового двигателя (ТВД) ВК-800С. Все российские ТВГТД/ТВД, выпускаемые серийно и находящиеся в разработке, по уровню технического совершенства соответствуют серийным зарубежным аналогам.

Увеличение выпуска МГТД особенно актуально в условиях принятой программы развития Крайнего Севера и Дальнего Востока. Это требует развития транспортной системы, которое может быть обеспечено само-

летами МВЛ и вертолетами, что потребует расширения производства МГТД мощностью до 4000 л.с.

Кроме того, одним из эффективных способов развития отрасли может служить увеличение выпуска энергетических газотурбинных установок (ГТУ) малой мощности на основе существующих авиационных двигателей, разработка которых уже была профинансирована государством, что позволит обеспечить населенные пункты численностью в несколько тысяч человек электроэнергией и теплом.

Успешность создания отечественных энергетических ГТУ на базе авиационных двигателей продемонстрировало АО «ОДК-Авиадвигатель». Предприятие сохранилось в 1990-е годы благодаря разработке и выпуску ГТУ мощностью от 2,5 до 25 МВт на базе существующих двигателей. К настоящему времени передано в эксплуатацию более 1000 ГТД для транспортировки газа и выработки электроэнергии, их наработка превысила 30 млн часов [4].

Выпуск таких установок осуществляют также ПАО «ОДК-Кузнецов», ПАО «ОДК-Сатурн» и АО «ОДК-Климов». Таким образом, АО «Объединенная двигателестроительная корпорация» имеет возможность в короткое время обеспечить электрической и тепловой энергией – в энергосберегающем когенерационном цикле – населенные пункты по всей территории нашей страны.

Использование продукции российских двигателестроительных предприятий имеет преимущество перед зарубежными поставками в стоимости жизненного цикла изделия:

- отечественные ГТУ имеют высокую степень заводской готовности для использования в типовых проектах генерирующих энергию объектов;

- близость поставщиков сводит к минимуму сроки и трудоемкость монтажа, пусконаладочных работ, ввода объектов в эксплуатацию и технического обслуживания.

В настоящее время основными потребителями энергетических ГТУ на базе авиационных двигателей являются нефте- и газодобывающие компании (ПАО «Газпром», ПАО «Сургутнефтегаз», ПАО «НК «Роснефть» и др.). Существенная доля энергоносителей в себестоимости конечного продукта и возможности использования попутного нефтяного газа вместо его факельного сжигания в определенной степени стимулируют такой способ энергосбережения.

Внедрение же газотурбинных двигателей в энерго- и теплообеспечение жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) не носит массового характера, тогда как именно в ЖКХ, при модернизации местных котельных, оно могло бы дать наибольший и быстрый эффект. До 70% территории России с населением более 20 млн человек обеспечивают энергией автономные котельные и сред-

ства малой энергетики ЖКХ и промышленных предприятий, что составляет 8% общей установленной электрической мощности. Перевод 15...20% устаревших котельных на когенерационный цикл с использованием газотурбинных двигателей, в дополнение к безусловному решению задач теплоснабжения, может дать примерно столько же электроэнергии, сколько планируется получить при развитии большой энергетики [5; 6].

Необходимая конструктивная доработка авиационных ГТД включает следующие основные изменения:

- преобразование конструктивной схемы базового авиадвигателя в ГТУ;
- выполнение требований по ресурсу, надежности и безопасности наземной эксплуатации;
- изменения, связанные с различием условий эксплуатации базового двигателя и ГТУ, способствующие улучшению характеристик ГТУ;
- доработка камеры сгорания (и топливной системы) с обеспечением необходимых экологических характеристик при работе на заданном топливе;
- создание свободной турбины, если ее нет в конструкции базового двигателя и невозможно подобрать из существующих;
- создание редуктора (или его доработка) для ГТУ в соответствии с требуемой для электрогенератора или газоперекачивающего компрессора частотой вращения;
- разработка принципиально новой системы автоматического управления (САУ), отвечающей условиям применения ГТУ;
- разработка системы контроля и диагностики технического состояния ГТУ (обычно встроенной в САУ);
- доработка масляной системы с расчетом на длительную работу ГТУ.

Все эти изменения могут быть выполнены в короткие сроки и не требуют больших финансовых затрат.

Однако сейчас осуществляются лишь единичные поставки ГТУ для реконструкции и развития объектов тепло- и энергоснабжения ЖКХ, социальной инфраструктуры. Предоставляется возможность на муниципальном уровне оптимизировать пропорции выработки тепла и электроэнергии, повысить надежность и бесперебойность тепло- и энергоснабжения и эффективность, в том числе за счет потребления топлива.

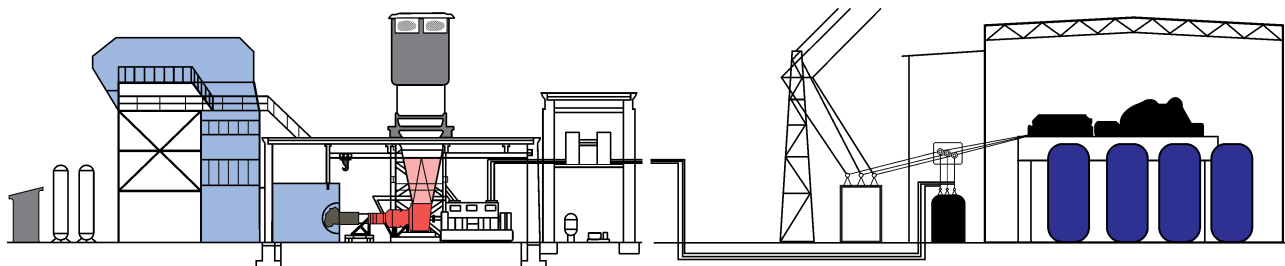


Рис. 1. Стенд ЦИАМ для испытаний и сертификации энергетических ГТУ мощностью 10...20 МВт

Но этому во многом препятствует то, что уже много лет остается нерешенным ряд правовых и организационных вопросов, основным из которых является вопрос взаимодействия электросетевых и газовых компаний с предприятиями региональной малой энергетики.

Значительный вклад в разработку технологий конверсии внес ЦИАМ. Совместно с Всероссийским теплотехническим институтом и институтами Академии наук была разработана программа создания типоразмерного ряда ГТУ на базе авиационных ГТД для модернизации теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) и паросиловых станций.

В НИЦ ЦИАМ был создан стенд (рис. 1) для проведения экспериментально-доводочных работ. Назначение стенда:

- отработка основных характеристик ГТУ (мощность, газодинамическая устойчивость, экономичность и др.);
- доводка опытных полноразмерных ГТУ на стационарных и переходных режимах работы (пуск, повторное нагружение, аварийные режимы, полный и частичный сброс нагрузки, перегрузка);
- отработка САУ;
- исследование теплового состояния;
- отработка топливной системы и системы смазки;
- проверка акустических и экологических характеристик;
- сертификационные испытания серийных ГТУ.

Технические характеристики стенда ЦИАМ

Расход воздуха через шахту всасывания, кг/с ... ≤ 120
 Номинальная мощность электрогенератора, МВт ... 20
 Расход природного газа, кг/с ≤ 1,8
 Расход жидкого топлива
 (керосина, дизельного), кг/с ≤ 2
 Давление топливного газа на входе в ГТУ, атм ... ≤ 30

На стенде ЦИАМ в середине 1990-х годов была отработана ГТУ мощностью 20 МВт (ГТУ-55), созданная на базе двигателя Р29-300 (Тушинское МКБ «Союз») и свободной турбины двигателя Д-18 (АО «Мотор Сич»). В 1999...2001 годах проведены научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в целях повышения надежности и ресурса ГТУ на базе авиационных двигателей. Два экземпляра ГТУ-55 до сих пор успешно

эксплуатирует ОАО «Нафтан» в Белоруссии. На стенде ЦИАМ проводились испытания и других ГТУ.

Кроме того, были созданы малоэмиссионные камеры сгорания на газообразном топливе и электронная САУ ГТУ для работы на блочных электростанциях на жидком и газообразном топливе.

Таким образом, авиадвигателестроение в короткие сроки может обеспечить ускоренное развитие региональной энергетики путем реконструкции и развития объектов тепло- и энергоснабжения ЖКХ, социальной инфраструктуры и промышленных предприятий.

Преобразование котельных в ГТУ-ТЭЦ обеспечит стране дополнительно около 90 ГВт электроэнергии. Помимо получения дополнительной электроэнергии, будет осуществлено коренное изменение системы теплоэнергоснабжения: постепенный переход от централизованной системы к распределенной, децентрализованной. При этом только благодаря снижению транспортных потерь будет получено дополнительно около 10% тепловой и электрической энергии и уменьшится стоимость производимого тепла [6].

Важный аспект децентрализации энергоснабжения – существенное уменьшение капитальных вложений, требуемых для модернизации котельных, и весьма низкий (2...5 лет) срок окупаемости. Для оснащения ТЭЦ газотурбинными установками требуются ГТУ различной мощности, от 1 до 25 МВт, разработанные на базе существующих двигателей.

По расчетам, проведенным в АО «ОДК», запуск 200 энергетических ГТУ позволит ежегодно экономить около 1,2 млрд м³ первичных источников энергии, т.е. 1,4 млн т условного топлива. Широкое внедрение ГТУ при преобразовании котелен в ГТУ-ТЭЦ является

эффективным и быстрым способом технического перевооружения энергетики России.

Однако, помимо технико-производственных вопросов, для разворачивания программы технического перевооружения и модернизации существующих котелен и обеспечения электроэнергией и теплом Крайнего Севера и Дальнего Востока, а также развития локальной теплоэнергетики необходимо решить ряд законодательных и организационных проблем:

- принять федеральный закон об энергосбережении и повышении энергетической эффективности, устанавливающий в том числе обязательную покупку сетевыми компаниями электроэнергии, вырабатываемой установками локальной, малой энергетики;

- разработать мероприятия, стимулирующие создание местных ТЭЦ;

- разработать механизм подключения к газовым сетям объектов малой энергетики, определить тарифы этого подключения и оплаты поставок газа объектам локальной энергетики при комбинированной выработке ими тепла и электроэнергии.

Кроме создания энергетических установок на базе авиационных двигателей, развитию авиадвигателестроения может способствовать создание и производство МГТД. Области применения МГТД включают создание силовых установок для вертолетов различного назначения, региональных самолетов и летательных аппаратов МВЛ, легких деловых самолетов, БВС, создание вспомогательных ГТД и др. [7].

Единый газогенератор обеспечивает разнообразие используемых схем двигателей: турбовальных двигателей для вертолетов, турбовинтовых двигателей для самолетов различного назначения, двухконтурных двигате-

Табл. 1. Базовые газогенераторы и двигатели

Двигатель	Газогенератор	Применение
ТВГТД класса мощности 6000...10 000 л.с.	Газогенератор средней размерности с осецентрированным компрессором ($\pi_k^* \approx 18...20$)	Тяжелые вертолеты Самолеты МВЛ (> 50 пасс.) Региональные самолеты Дальние деловые самолеты Транспортные самолеты Учебно-тренировочные самолеты Высотные БВС
ТВГТД класса мощности 2000...4000 л.с.	Газогенератор малой размерности с двухступенчатым центробежным компрессором ($\pi_k^* \approx 14...16$)	Средние вертолеты Самолеты МВЛ (< 50 пасс.) Деловые самолеты Легкие транспортные самолеты Средние БВС
ТВГТД класса мощности 600...1000 л.с.	Газогенератор малой размерности с одноступенчатым центробежным компрессором ($\pi_k^* \approx 10...12$)	Легкие вертолеты Самолеты авиации общего назначения Сельскохозяйственные самолеты Легкие учебно-тренировочные самолеты Легкие БВС

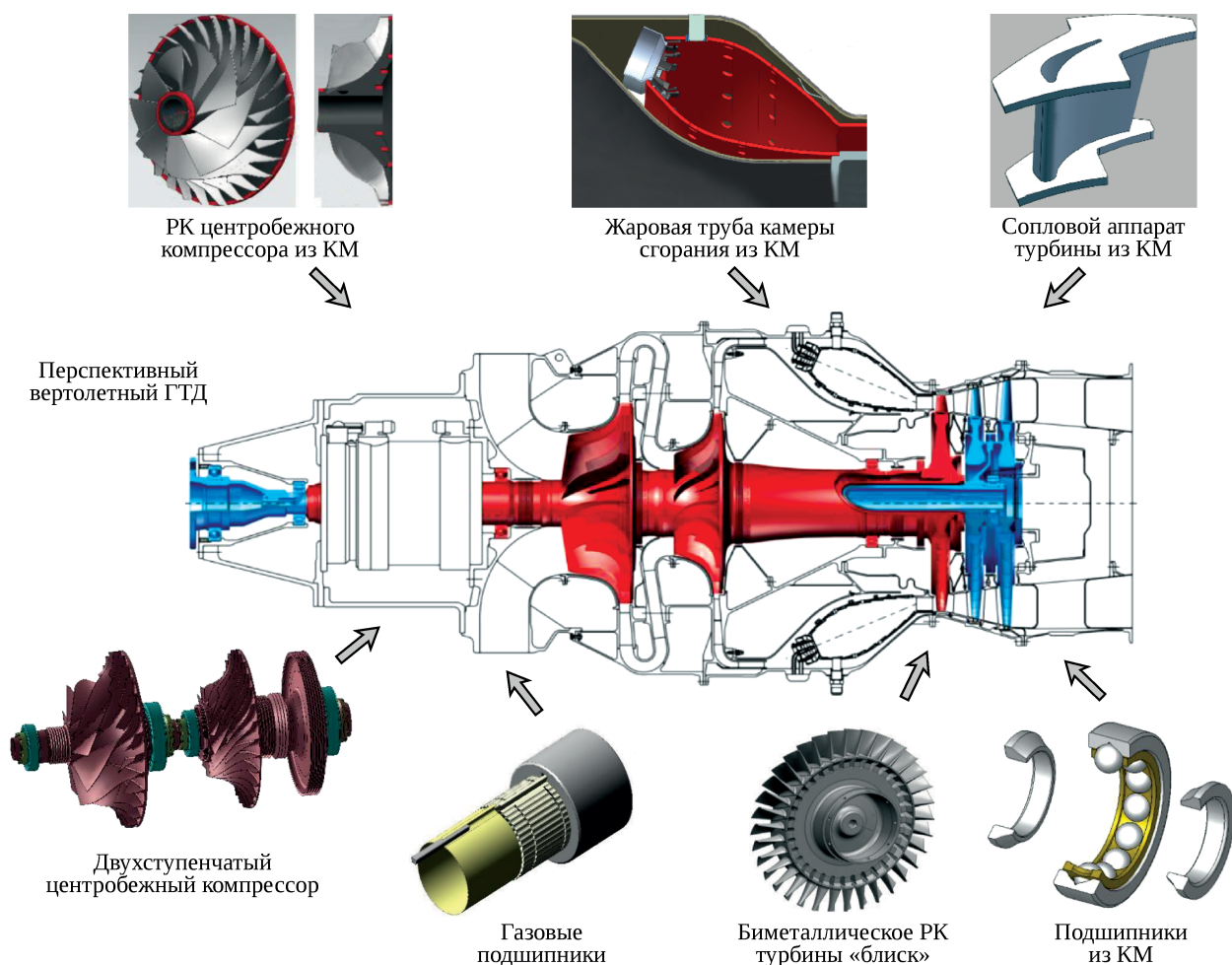


Рис. 2. Перспективные технические решения (ПК – рабочее колесо, КМ – композиционный материал)

Табл. 2. Результаты научно-исследовательской работы ЦИАМ в 2013...2022 годах

Расчетно-проектировочные работы УГТ 2	<p>Разработка концепции перспективных МГТД</p> <p>Разработка концепции МГТД для перспективных «более электрических» силовых установок</p> <p>Формирование перечня прорывных технологий МГТД</p> <p>Разработка облика, расчет и проектирование экспериментальных объектов и демонстраторов перспективных технологий МГТД</p> <p>Систематизация и оценка эффективности интеграции перспективных технологий МГТД</p>
Изготовление экспериментальных объектов УГТ 3	<p>ПК высоконапорного одноступенчатого центробежного компрессора</p> <p>ПК центробежного компрессора из КМ</p> <p>Полый диск турбины МГТД</p> <p>Биметаллическое ПК – блиск турбины МГТД</p> <p>Корпус камеры сгорания МГТД из КМ</p>
Испытания экспериментальных объектов УГТ 4...5	<p>Газогенератор демонстратора МГТД низкой стоимости</p> <p>Демонстратор «более электрического» сухого МГТД (на газовых опорах)</p> <p>Малоразмерная высотная камера сгорания</p> <p>Соpловой аппарат турбины из жаропрочного КМ</p> <p>Унифицированный редуктор для семейства МГТД</p> <p>Модуль теплообменника для МГТД сложного цикла</p> <p>Демонстратор системы контроля и диагностики МГТД</p> <p>Демонстратор электроприводной САУ МГТД</p> <p>Подшипник с элементами из КМ</p>

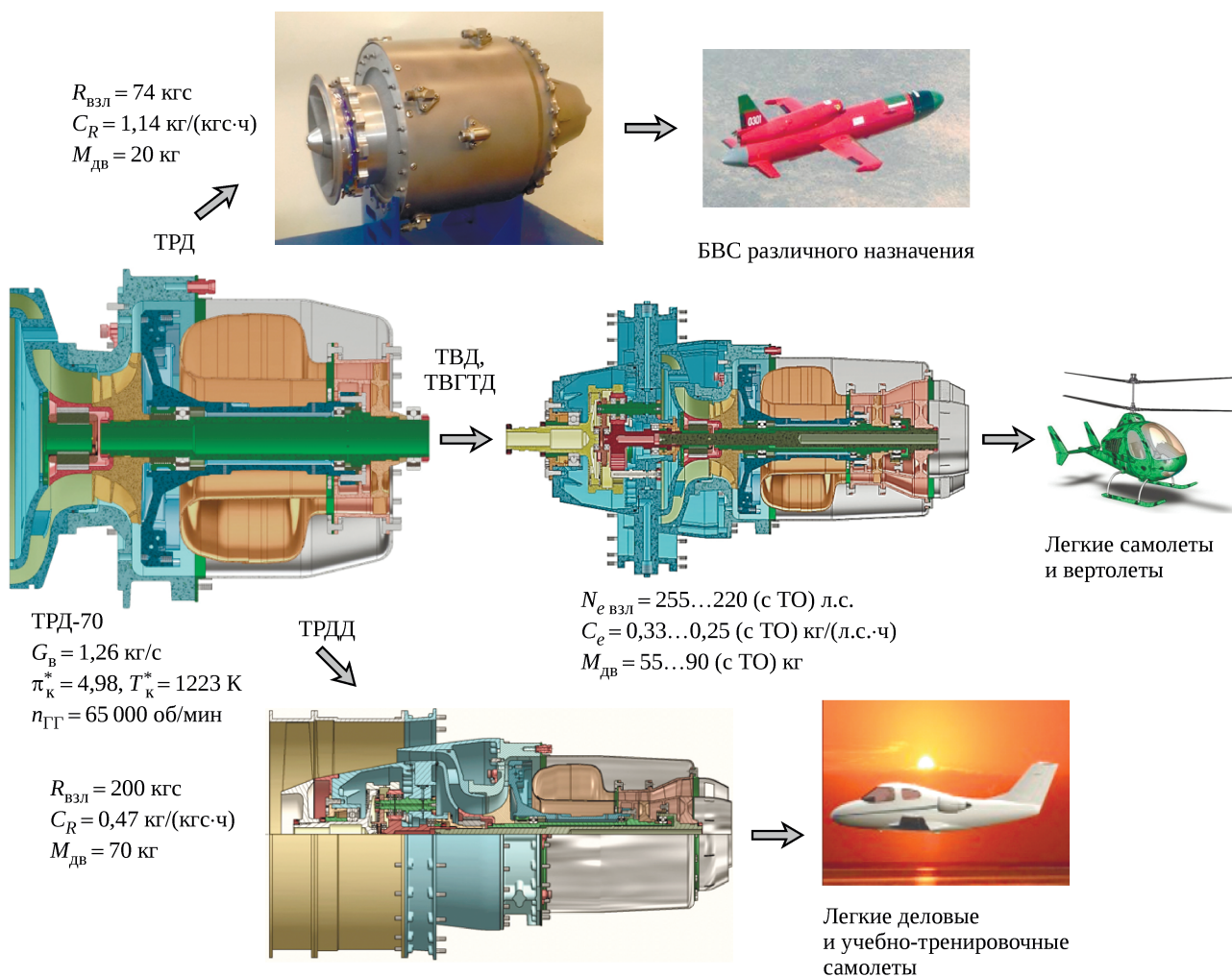


Рис. 3. Семейство МГТД на базе унифицированного газогенератора малой размерности (ТО – теплообменный аппарат)

лей (ТРДД) для деловых самолетов, турбореактивных двигателей (ТРД) для БВС, вспомогательных ГТД для самолетов и вертолетов.

Базовые газогенераторы и двигатели, создаваемые на их основе, представлены в табл. 1. Газогенераторы с малыми размерами проточной части, предопределяющими использование соответствующих конструктивных форм (центробежных компрессоров, противоточных камер сгорания и др.), на протяжении многих лет исследовались в ЦИАМ. Технические решения, отработанные в рамках создания научно-технического задела, показаны на рис. 2, а результаты научно-исследовательской работы по малоразмерным газотурбинным двигателям, проведенной в 2013...2022 годах – в табл. 2.

Основопологающим принципом создания перспективных МГТД является унификация – разработка семейства двигателей различного назначения на основе базового газогенератора [8], что позволяет существенно сократить сроки создания двигателей и уменьшить

затраты на их разработку и изготовление. Возможное семейство МГТД на базе унифицированного газогенератора малой размерности показано на рис. 3.

В заключение необходимо подчеркнуть, что мало-размерные газотурбинные двигатели занимают важное место в различных областях техники, от авиации общего назначения (вертолеты, самолеты и БВС) до энергетики. В современных условиях санкций и развития Крайнего Севера и Дальнего Востока необходимо срочно организовать производство энергоустановок на базе существующих двигателей, ускорить ввод в эксплуатацию разрабатываемых двигателей, организовать создание перспективных МГТД на основе унифицированных газогенераторов для летательных аппаратов различного назначения. Опыт, накопленный в конструкторских бюро, в научно-исследовательских институтах и на заводах делает эту задачу вполне осуществимой в ближайшее время. Выпуск продукции будет способствовать развитию авиадвигателестроения – позволит увеличить финансирова-

ние программ разработки критических технологий и технических решений, чтобы на их основе создать конкурентоспособные двигатели нового поколения.

Все это обеспечит развитие авиации и энергетики страны и ее обороноспособность.

Литература

1. Бабкин В.И., Солонин В.И. Современная методология создания конкурентоспособных авиационных двигателей и место науки в этом процессе // Двигатель. 2017. № 1 (109). С. 10–13.
2. Ланшин А.И. Опыт организации научно-исследовательских работ по созданию научно-технического задела применительно к перспективным авиационным двигателям // Методология организации научных исследований и разработок в обеспечение создания высокотехнологичной продукции (применительно к созданию авиационных двигателей) : сборник статей / Центр. ин-т авиац. моторостроения им. П.И. Баранова ; под общ. ред. М.В. Гордина и А.И. Ланшина. М. : ЦИАМ, 2019. (Труды ЦИАМ ; № 1362). С. 83–94.
3. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор) / В.А. Скибин, В.И. Солонин, В.А. Палкин и др. ; под общ. ред. В.А. Скибина и В.И. Солонина. М. : ЦИАМ, 2004. 424 с.
4. Городилова Е.А. Пермские газовые турбины. Общее количество и наработка // Пермские авиационные двигатели : информационно-технический бюллетень. 2019. № 44. С. 24–25.
5. Фаворский О.Н. Газотурбинные установки в энергетике – важнейший путь экономии топливно-энергетических ресурсов России // Двигатель. 2011. № 3 (75). С. 2–5.
6. Фаворский О.Н. Создание высокотехнологичных малоразмерных газотурбинных установок – путь развития энергетики России // Конверсия в машиностроении. 2000. № 5. С. 105–109.
7. Поколения газотурбинных двигателей для вертолетов / Б.А. Пономарев, А.М. Тихонов, Ю.В. Фокин, И.В. Осипов // Конверсия в машиностроении. 2005. № 4/5. С. 45–48.
8. Осипов И.В., Ломазов В.С. Разработка малоразмерных ГТД различного типа на базе унифицированного газогенератора // Авиационные двигатели. 2019. № 4 (5). С. 11–18.

References

1. Babkin V.I., Solonin V.I. Sovremennaiia metodologiia sozdaniia konkurentosposobnykh aviatsionnykh dvigatelei i mesto nauki v etom protsesse [Modern methodology of creating competitive aircraft engines and the place of science in this process]. Dvigatel' [Engine]. 2017. No. 1 (109). P. 10–13.
2. Lanshin A.I. Opyt organizatsii nauchno-issledovatel'skikh rabot po sozdaniiu nauchno-tekhnicheskogo zadela primenitel'no k perspektivnym aviatsionnym dvigateliam [Experience in organizing research to lay technical and scientific foundation for advanced aircraft engines]. Metodologiia organizatsii nauchnykh issledovaniy i razrabotok v obespechenie sozdaniia vysokotekhnologichnoi produktsii (primenitel'no k sozdaniiu aviatsionnykh dvigatelei) [Methodology of organizing scientific research and development to ensure creation of high-tech products (in relation to the creation of aircraft engines)]. Collection of articles. Central Institute of Aviation Motors; under the general editorship of M.V. Gordin and A.I. Lanshin. Moscow: CIAM, 2019 (Proceedings of CIAM: no. 1362). P. 83–94.
3. Skibin V.A., Solonin V.I., Palkin V.A. et al. Raboty vedushchikh aviadvigatelestroitel'nykh kompanii v obespechenie sozdaniia perspektivnykh aviatsionnykh dvigatelei (analiticheskii obzor) [Works of leading aero engine companies to ensure creation of advanced aero engines (analytical review)] under general editorship of V.A. Skibin and V.I. Solonin. Moscow: CIAM, 2004. 424 p.
4. Gorodilova E.A. Permskie gazovye turbiny. Obshchee kolichestvo i narabotka [Perm gas turbines. Total quantity and operating time]. Permskie aviatsionnye dvigateli [Perm aviation engines]: informational engineering bulletin. 2019. No. 44. P. 24–25.
5. Favorskii O.N. Gazoturbinnye ustanovki v energetike – vazhneishii put' ekonomii toplivno-energeticheskikh resursov Rossii [Gas turbine units in power engineering – the most essential way of saving fuel and energy resources of Russia]. Dvigatel' [Engine]. 2011. No. 3 (75). P. 2–5.
6. Favorskii O.N. Creation of high-technology small-size gas-turbine plants, a way for developing the Russian power engineering. Konversia v mashinostroenii [Conversion in Machine Building of Russia]. 2000. No. 5. P. 105–109.

-
7. Ponomarev B.A., Tikhonov A.M., Fokin Iu. V., Osipov I.V. Generations of gas-turbine engines for helicopters. *Konversia v mashinostroenii* [Conversion in Machine Building of Russia]. 2005. No. 4/5. P. 45–48.
 8. Osipov I.V., Lomazov V.S. Development of various types of small-scale gas turbine engines based on a unified core engine. *Aviatsionnye dvigateli* [Aviation Engines]. 2019. No. 4 (5). P. 11–18.

Материалы получены редакцией 31.08.2022