

Предварительные исследования по формированию технического облика двигателя – демонстратора технологий силовой установки сверхзвукового гражданского самолета нового поколения

Алендарь А.Д., Евстигнеев А.А., Грунин А.Н.

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

e-mail: adalendar@ciam.ru

Сформированы предварительные требования к двигателю – демонстратору технологий силовой установки сверхзвукового гражданского самолета нового поколения. Приведен предварительный перечень технологий, которые могут быть продемонстрированы на двигателе в ходе его разработки и последующего использования как инструмента по доведению критических технологий до высоких уровней готовности. Описан подход к формированию облика демонстратора. Представлены результаты расчетного исследования по определению рациональных параметров. Выполнен анализ достижимых тягово-экономических характеристик демонстратора на основных режимах его работы.

Ключевые слова: сверхзвуковой гражданский самолет, силовая установка, двигатель – демонстратор технологий, ТРДД, экспериментальный газогенератор

Preliminary studies on the creation of the engine technology demonstrator of the new generation supersonic civil aircraft propulsion system

Alendar' A.D., Evstigneev A.A., Grunin A.N.

CIAM, Moscow

Preliminary requirements have been formulated for the engine technology demonstrator of the new generation supersonic civil aircraft propulsion system. A preliminary list of technologies that can be demonstrated on the engine during its development and further use as a tool to bring critical technologies to high TRL is given. An approach to the formation of the design concept of the engine technology demonstrator is described. The results of computational research on the determination of rational parameters are presented. The analysis of the achievable performance and economical characteristics of the engine technology demonstrator in its key operating modes is carried out.

Keywords: supersonic civil aircraft, propulsion system, engine technology demonstrator, turbofan, experimental engine core

Введение

Создание и развитие гражданской авиационной техники нового поколения имеет ключевое значение для достижения целей транспортной стратегии России [1], в частности для обеспечения пространственной связанности и транспортной доступности протяженных территорий Российской Федерации, повышения мобильности населения, увеличения объема и скорости транзита

грузов и др. Существующие дозвуковые самолеты гражданской авиации (ГА) имеют скорость крейсерского полета, соответствующую числу Маха $M = 0,8 \dots 0,85$, что позволяет совершать перелеты дальностью 7000...8000 км за 9...10 ч. Увеличение скорости крейсерского полета до $M = 1,8 \dots 2,0$ позволит сократить время полета на это же расстояние до 4...5 ч [2], что делает актуальным создание сверхзвуковых гражданских самолетов (СГС).

В последние годы в мире активно ведут исследования и разработки в этой области [3–13], при этом особое внимание уделяют проблеме вредного воздействия СГС на окружающую среду (звукового удара, шума в районе аэропорта, эмиссии вредных веществ) на фоне систематического ужесточения международных требований к экологическим характеристикам самолетов ГА. Взаимодействие современных экологических требований, предъявляемых к дозвуковым самолетам ГА, и требований к летно-техническим характеристикам СГС приводит к противоречиям при формировании технических решений по силовой установке (СУ) СГС, связанным с ее размещением, выбором количества и размерности (тяги) двигателей, степени двухконтурности турбореактивных двигателей (ТРДД) и др. [14–20]. Для обеспечения системного подхода к валидации технических решений, учитывающего их взаимное влияние в интегрированном облике СУ, целесообразно разработать двигатель – демонстратор технологий (ДДТ) СУ СГС [21] для отработки технологий в условиях, приближенных к реальным (уровень готовности технологий (УГТ) 5...6) [22].

Опыт создания двигателей для СГС первого поколения

При формировании технического облика ДДТ необходимо учитывать опыт создания двигателей для СГС первого поколения. Известно, что за всю историю авиаперевозок в эксплуатации находились лишь два типа СГС,

разработанные в 1960-х годах: Ту-144 (СССР) и Concorde (Великобритания и Франция). На опытные версии Ту-144 устанавливали ТРДД с форсажной камерой (ТРДДФ) НК-144, выполненный по схеме с двухступенчатым вентилятором, тремя подпорными ступенями, шестиступенчатым компрессором высокого давления (КВД), кольцевой камерой сгорания (КС), одноступенчатой турбиной высокого давления (ТВД), двухступенчатой турбиной низкого давления (ТНД), общей форсажной камерой (ФК) и регулируемым реактивным соплом. Двигатель НК-144 создавался на базе наработок по двигателям НК-6 и НК-8 и мог работать длительное время с включенной ФК. По мере доработки и уточнения конструкции серийного самолета Ту-144С двигатель существенно модернизировали как в отношении параметров цикла, конструкции системы охлаждения, так и в отношении схемы с целью достижения более высоких тягово-экономических характеристик [23; 24]. При этом параллельно с развитием гражданской линейки двигателей на базе ТРДДФ НК-144 создавали модификации военного назначения для опытных версий сверхзвукового бомбардировщика Ту-22М, которые во многом были унифицированы (рис. 1). Гражданские модификации двигателей имели существенно меньший назначенный ресурс ввиду большей продолжительности полета на сверхзвуковых режимах.

На версию самолета Ту-144Д устанавливали ТРД РД-36-51А, выполненный по одновальной схеме с 14-ступенчатым компрессором с регулируемыми вход-

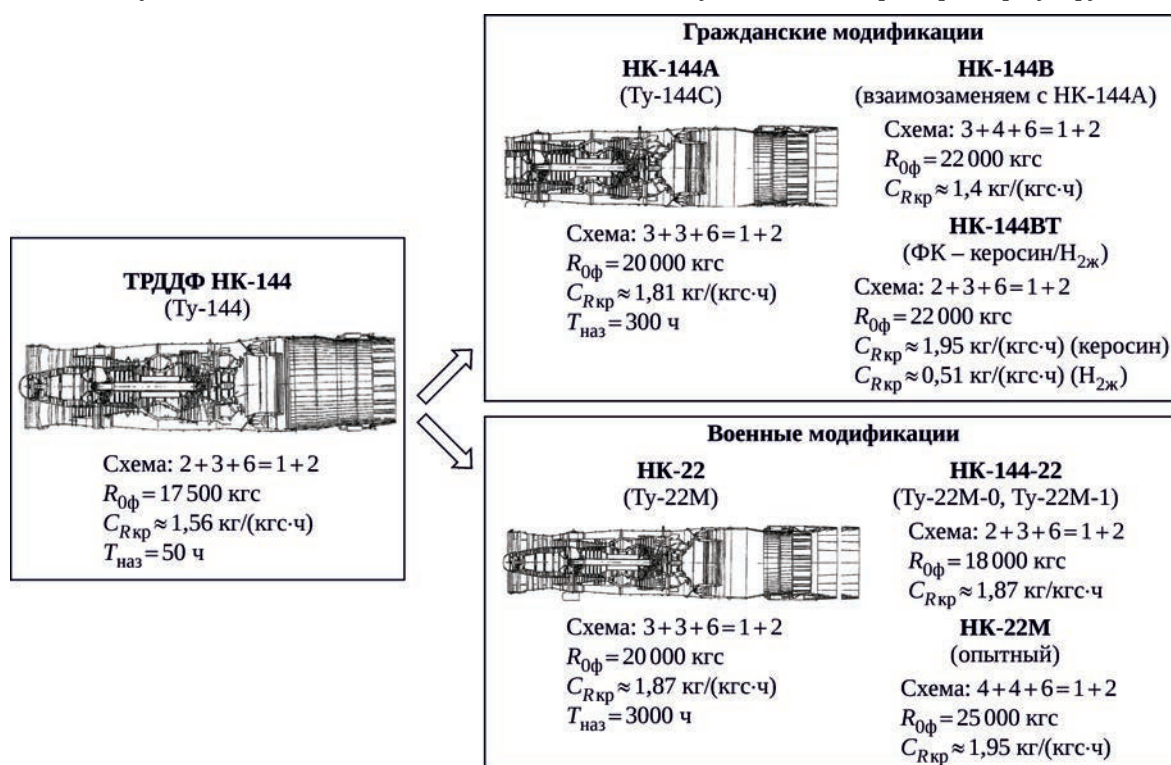


Рис. 1. Развитие семейства двигателей, созданных на базе ТРДДФ НК-144

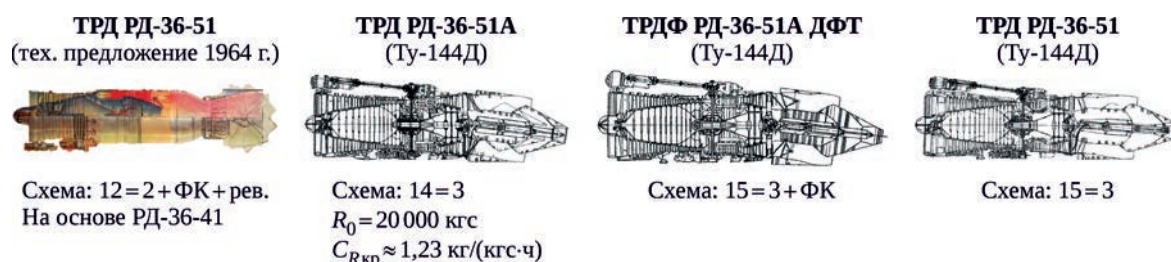


Рис. 2. Модификации двигателей РД-36-51А для СГС Ту-144Д [23–25]

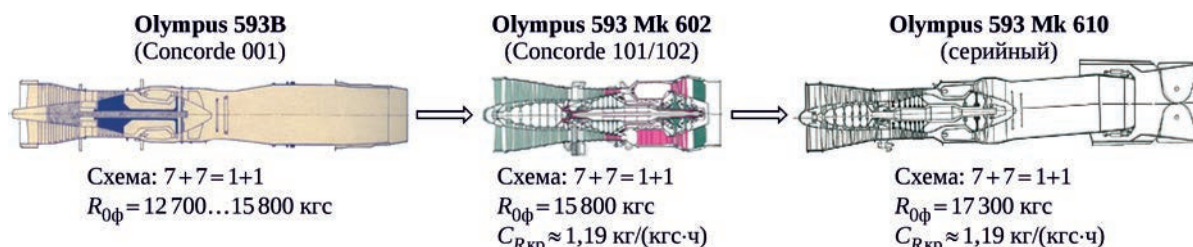


Рис. 3. Модификации двигателей Olympus для СГС Concorde

ным направляющим аппаратом и направляющими аппаратами 1...5-й и 9...14-й ступеней, трехступенчатой турбиной с охлаждаемыми сопловыми и рабочими лопатками первой ступени, без форсажной камеры и с регулируемым сверхзвуковым соплом с центральным телом. При создании ТРД РД-36-51А использовали задел, накопленный в ходе разработки двигателя РД-36-41, предназначенного для установки на дальний сверхзвуковой самолет Т-4 с длительной работой на сверхзвуковых режимах полета. Некоторые модификации двигателей семейства РД-36-51, использовавшиеся на самолете Ту-144Д, представлены на рис. 2 [23–25]. На модификации РД-36-51А ДФТ была добавлена дополнительная ступень компрессора, а также применена система дополнительного форсирования тяги (аналог ФК), однако впоследствии на модификации РД-36-51 от нее отказались. Отказ от использования ФК и соответствующее снижение удельного расхода топлива на крейсерском режиме (с 1,81 до 1,23 кг/(кгс·ч)) позволили увеличить дальность полета СГС Ту-144 с 3200 км (Москва – Алма-Ата) до 6300 км (Москва – Хабаровск).

Силовая установка самолета Concorde включала четыре ТРДФ Olympus 593 Mk 610, установленных попарно в подкрыльевых мотогондолах. Двигатель Olympus 593 Mk 610 выполнен по одноконтурной двухвальной схеме с семиступенчатым КНД с входным направляющим аппаратом, семиступенчатым КВД, кольцевой КС, одноступенчатыми охлаждаемыми ТВД и ТНД, ФК и регулируемым створчатым соплом [7; 26]. Форсажная камера работала на взлете, а также при разгоне от $M=0,9$ до $M=1,7$. Такое применение ФК позволило получить относительно низкие значения удельного расхода топлива на крейсерском режиме. На начальных этапах разработки двигателей для Concorde в качестве прототипа рассматривали двигатель Olympus 22R, уста-

навливавшийся на самолет TSR-2, способный совершать сверхзвуковой крейсерский полет со скоростью $M=2,2$ в течение 45 мин. В дальнейшем конструкция двигателя была существенно переработана в направлении повышения параметров цикла и массогабаритных

Таблица. Параметры силовых установок СГС первого поколения

Параметр	Ту-144С	Ту-144Д	Concorde
$M_{кр}$	2,2	2,1	2,02
Расположение двигателей	Под крылом, в спаренных мотогондолах		
Количество двигателей	4	4	4
Тип двигателя	ТРДДФ НК-144А	ТРД РД-36-51А	ТРДФ Olympus 593 Mk 610
Тип воздухозаборника	Плоский, регулируемый, внешнего сжатия		
Тип сопла	Коническое	С центральным телом	Коническое
$R_{0ф}$, кгс	20 000	–	17 300
R_0 , кгс	15 000	20 000	14 200
$G_{в0}$, кг/с	236	274	194
m_0	0,6	0	0
$\pi_{к\sum 0}^*$	14,75	15,8	15,5
$T_{г0}^*$, К	1390	1355	1450
$w_{с0}$, м/с	831	716	918
$R_{кр}$, кгс	5000	5000	4550
$C_{Rкр}$, кгс	1,81	1,23	1,19
$T_{гкр}^*$, К	1390	1425	1370
$D_{вх}$, мм	1348	1415	1155
$M_{сух}$, кг	3540	4125	3175
Схема	3+3+6=1+2	14=3	7+7=1+1

характеристик двигателя. Модификация Olympus 593В получила увеличенный на 10% расход воздуха и стала базовой для всего семейства двигателей для самолета Concorde (рис. 3). Двигатели Olympus 593В использовали для отработки топливной и масляной систем, для исследований длительной работы при $M = 2$. В модификации Mk 602 были заменены отдельные ступени турбомашин, применена новая система охлаждения турбины. На модификации Mk 610, ставшей серийной, применена кольцевая КС (вместо трубчатой на предыдущих модификациях), заменен входной направляющий аппарат (пять стоек вместо 17), применена конвективно-пленочная система охлаждения лопаток ТВД и др.

Можно отметить, что двигатели СГС первого поколения создавали на базе имеющегося научно-технического задела (НТЗ) и наработок по двигателям военной авиации. В процессе накопления опыта испытаний и эксплуатации СГС, двигатели проходили длительную

доводку на нескольких модификациях с разным количеством ступеней турбомашин, различными схемами камер сгорания, системами охлаждения (СО) турбин и т.д., включая отработку новых конструктивно-технологических решений и материалов. Некоторые параметры силовых установок СГС первого поколения представлены в таблице [23–26].

Опыт создания авиационных двигателей-демонстраторов для отработки новых технологий

Развитие современного двигателестроения основано на разработке и внедрении новых технологий и сопряжено со значительными техническими и экономическими рисками [27–31], для минимизации которых сегодня активно практикуется создание двигателей-демонстраторов [32–36]. В качестве одного из примеров можно

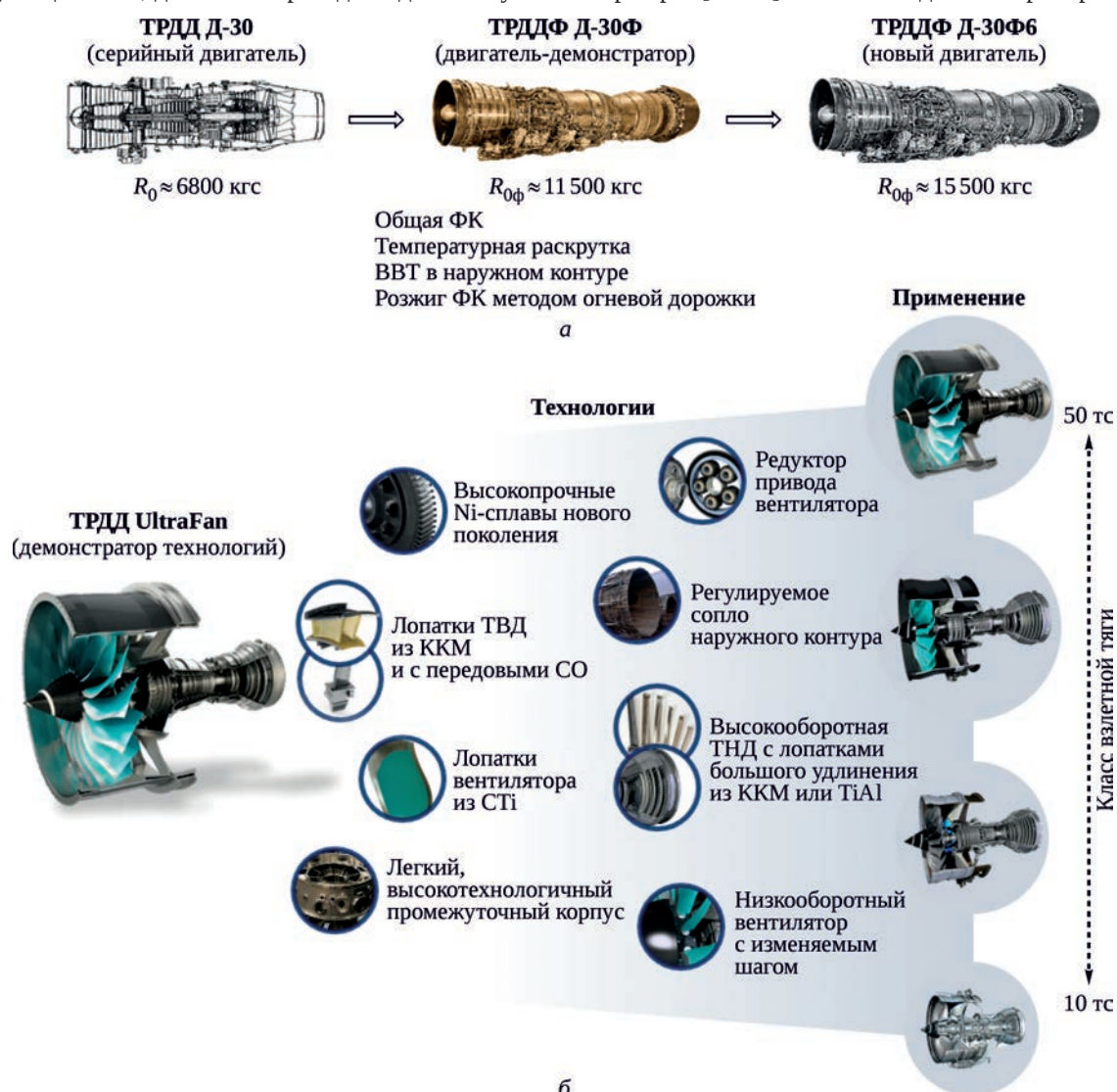


Рис. 4. Примеры создания двигателей-демонстраторов для отработки новых технологий:
а – демонстратор Д-30Ф (на базе существующего двигателя); б – демонстратор UltraFan (разработка нового двигателя)

привести экспериментальный двигатель Д-30Ф, разработанный на базе ТРДД Д-30 (серийного двигателя самолета Ту-134) [23; 37]. На двигателе-демонстраторе Д-30Ф за несколько лет были опробованы такие новые технические решения, как общая для обоих контуров ТРДД форсажная камера, применение температурной раскрутки на двухконтурном двигателе, применение воздухо-воздушного теплообменника (ВВТ) в наружном контуре, розжиг ФК методом огневой дорожки и др. Благодаря применению новых материалов удалось повысить температуру газа перед турбиной относительно базового двигателя и достичь значения тяги на форсажном режиме $R_{0ф} = 11\ 500$ кгс. Многие отработанные на двигателе Д-30Ф технологии были применены на ТРДД Д-30Ф6 тягой $R_{0ф} = 15\ 500$ кгс (рис. 4,а), разработанном для самолета МиГ-31 [23]. При этом доводку и адаптацию нового двигателя к реальным условиям работы выполняли на 35 опытных экземплярах в течение восьми лет.

Среди зарубежных работ по созданию двигателей – демонстраторов технологий можно выделить программу UltraFan [38; 39], о которой компания Rolls-Royce объявила в 2014 году. В рамках программы отработывают критические технологии, необходимые для создания двигателя большой степени двухконтурности следующего поколения с переходом от традиционной для компании Rolls-Royce трехвальной схемы двигателя к двухвальной схеме с редукторным приводом вентилятора. В 2014...2022 годах шла поузловая отработка технологий: 10-ступенчатого КВД, редуктора вентилятора, вентилятора, КС, ТВД, ТНД и др. Для апробации технологий изготовления деталей из углерод-титановых (СТi), керамических композиционных материалов (ККМ), интерметаллидных TiAl-сплавов, корпусных деталей аддитивными методами и других технологий применяли двигатели семейства Trent [34]. В 2023 году двигатель-демонстратор UltraFan класса тяги 40 тс прошел первые испытания на специально построенном испытательном комплексе Testbed 80. При этом, чтобы сократить риски и более детально исследовать работу всех узлов и систем двигателя, программу испытаний ограничили режимами, близкими к малому газу. В дальнейшем отработанные на демонстраторе технологии планируют адаптировать к применению на двигателях тягой 10...50 тс (так называемое масштабирование). С учетом длительности и стоимости создания НТЗ на современном этапе развития авиационного двигателестроения, подобный подход является единственно возможным.

Можно отметить, что в России и за рубежом при создании двигателей практикуют отработку технологий на демонстраторах как близкой, так и меньшей размерности. Возможна как разработка нового двигателя-демонстратора, так и создание его на базе существующих узлов.

При этом процесс создания демонстратора, несмотря на кажущуюся простоту по сравнению с разработкой двигателей ГА, представляет собой комплексную, многолетнюю опытно-конструкторскую работу, включающую исследования, проектирование, изготовление и испытания нескольких вариантов узлов, газогенераторов и демонстраторов в целом. Отрабатываемые технологии в максимальной степени универсальны, их внедряют на всех двигателях аналогичного назначения. Однако следует отметить, что в процессе перехода от демонстратора к двигателю может потребоваться адаптация технологий с учетом изменения, например, условий эксплуатации.

Формирование облика двигателя – демонстратора технологий СУ СГС

Целью разработки ДДТ силовой установки СГС является повышение уровня НТЗ путем комплексной отработки технологий, верификации и валидации расчетных и экспериментальных методов, необходимых для создания СУ СГС нового поколения. Создание ДДТ и отработку соответствующих технологий планируется выполнять в рамках нескольких циклов НИР (рис. 5). Первый цикл предполагает определение облика ДДТ и его газогенератора, а также отработку технологий с разработкой соответствующих демонстраторов (с достижением УГТ 3...5) [40]:

- высоконапорного теплонапряженного КВД;
- перспективной высотной теплонапряженной малоэмиссионной КС;
- высокотемпературной высокорепадной турбины;
- компактного и эффективного ВВТ системы охлаждения ТВД.

В ходе последующих циклов НИР должна быть выполнена сборка газогенератора ДДТ, его испытания, а также отработка технологий в отношении других узлов и систем двигателя, в том числе вентилятора, ТНД, смесителя, наружного контура, сопла, системы привода и коробки агрегатов, масляной системы, топливной системы, системы автоматического управления и др. В ходе заключительных циклов НИР должны быть выполнены сборка и стендовые испытания ДДТ. Таким образом, в ходе разработки ДДТ будут отработаны технологии для всех его узлов, систем и агрегатов. В более далекой перспективе ДДТ может служить платформой для отработки в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным (УГТ 6...7), новых технологий СУ СГС, таких как регулируемый смеситель, ВВТ перспективных схем, детали горячей части из керамических композиционных материалов, элементы конструкции вентилятора из полимерных композиционных материалов и др.



Рис. 5. Возможные технологии СУ СГС для отработки на ДДТ

Формирование облика ДДТ основывается на следующих ключевых положениях:

- ДДТ разрабатывается с максимальным использованием имеющегося НТЗ;
- ДДТ разрабатывается без привязки к тяговым требованиям конкретных типов воздушных судов и не является прототипом двигателя для СУ СГС нового поколения;
- ДДТ предназначен для проведения стендовых испытаний, имитирующих наземные и высотные условия, и не предназначен для проведения летных испытаний;
- к ДДТ не предъявляются требования по тяговым и массогабаритным характеристикам;
- системы ДДТ могут проектироваться в стендовом исполнении;
- ДДТ должен создаваться с учетом возможности отработки на нем технологий двигателя перспективного СГС.

На основе результатов исследований, выполненных ЦИАМ в рамках комплексного научно-технологического проекта «СГС» [6; 11; 16; 41; 42] и других работ по тематике СГС [43–49], для формирования облика ДДТ принято число Маха крейсерского полета 1,8, длительность сверхзвукового крейсерского полета 4 ч, ограничение скорости истечения реактивной струи на номинальном взлетном режиме 360 м/с. Соотношение тяг двигателя на максимальном крейсерском, номинальном взлетном и максимальном взлетном режимах принято в соответствии с результатами работ [41; 42].

С целью сокращения сроков, затрат и производственно-технологических рисков в ходе разработки ДДТ целесообразно его разрабатывать не только на основе имеющегося НТЗ, но и используя ранее изготовленную материальную часть. Так, в составе ДДТ предполагается использовать экспериментальный компрессор высокого давления (ЭКВД-7) [50; 51] и элементы малоэмиссионной камеры сгорания [52; 53], разработанные и испытанные в ЦИАМ в рамках работ по программе создания НТЗ для двигателя ближне-среднемагистрального самолета. При этом вентилятор, ТВД и ТНД предполагается проектировать новыми. Использование имеющейся материальной части накладывает ограничения на выбор параметров ДДТ. Так, по соображениям прочности частота вращения ротора высокого давления не должна превышать максимально допустимой для имеющегося КВД. Температура воздуха на выходе из КВД не должна превышать предельной для элементов камеры сгорания (850 К). Важно отметить, что использование имеющейся материальной части меняет подход к завязке ДДТ. Например, суммарная степень повышения давления не является независимым проектным параметром, а определяется режимом работы КВД и степенью повышения давления в вентиляторе.

В рамках предварительного параметрического исследования, выполненного с целью оценки возможных параметров ДДТ, рассмотрены двигатели на основе ЭКВД-7 в семи- и шестиступенчатом исполнении (без последней ступени). Максимальный приведенный расход воздуха на входе для компрессоров составляет

около 30 кг/с, степень повышения давления – 14 и 11 соответственно. Варьируемыми параметрами являлись температура газа в горле соплового аппарата ТВД ($T_{г.кр}^* = 1600, 1700$ и 1800 К) и относительная приведенная частота вращения КВД ($\bar{n}_{к.пр.кр} = 0,9 \dots 1,06$)

на максимальном крейсерском режиме в условиях полета $H = 15$ км, $M = 1,8$. Значение $\bar{n}_{к.пр.кр} = 1,0$ приблизительно соответствует ограничению по физической частоте вращения. Степень двухконтурности выбирали исходя из заданной скорости реактивной струи

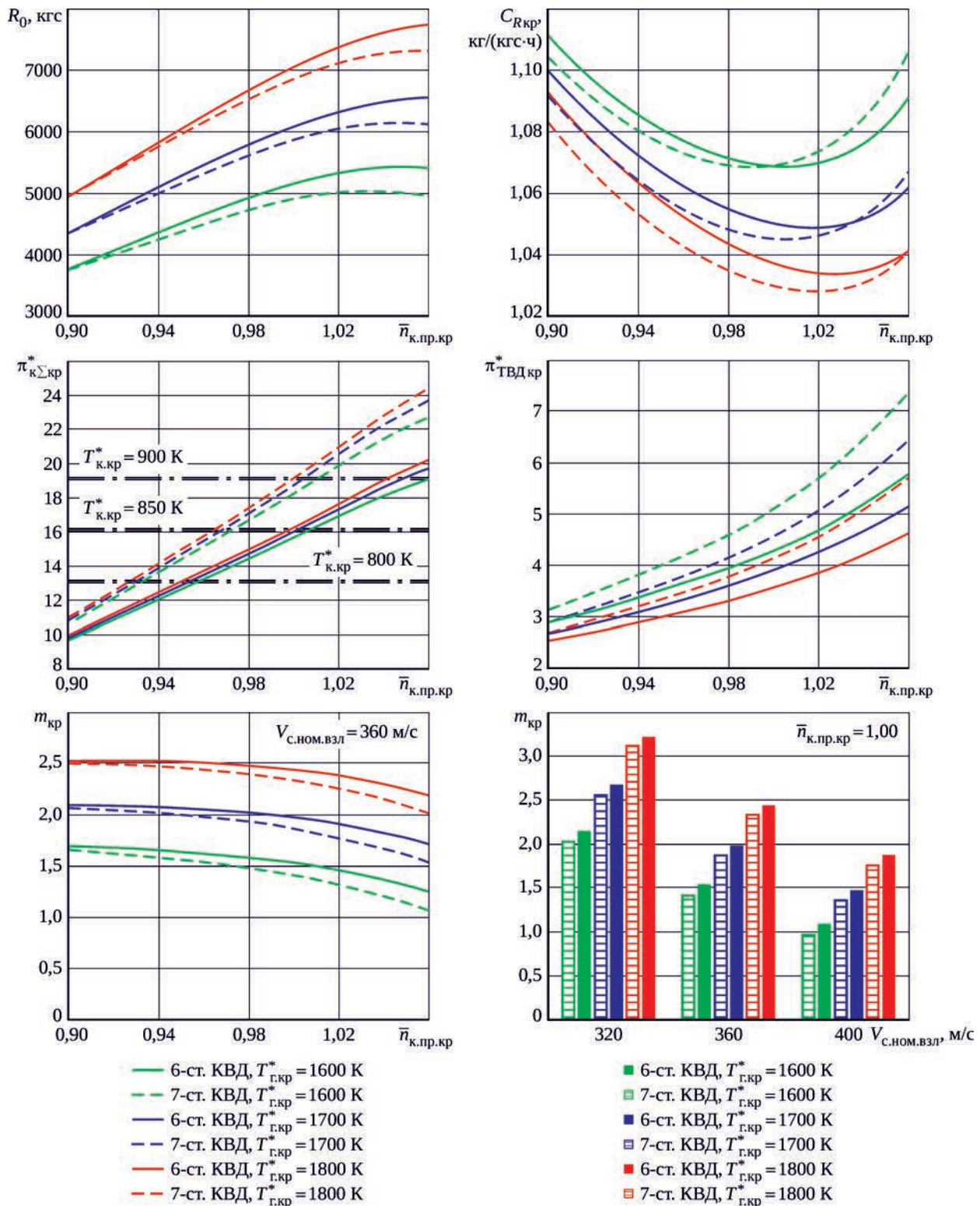


Рис. 6. Результаты предварительного параметрического исследования

на номинальном взлетном режиме $H = 0,5$ км, $M = 0,4$ ($V_{с.ном.взл} = 360$ м/с), определяющей уровень шума. Такой подход к выбору степени двухконтурности соответствует почти одинаковой степени повышения давления в вентиляторе (π_v^*), независимо от параметров двигателя. Расчеты выполнены со значениями коэффициента восстановления полного давления во входном устройстве ($\sigma_{вх}$), соответствующими типовой зависимости [54], с учетом отбора воздуха и мощности на самолетные нужды. Условно принято, что коэффициент тяги сопла составляет 0,99 на всех режимах.

Результаты параметрического исследования (рис. 6) говорят о следующем. Повышение температуры газа на 100 К приводит к повышению тяги двигателя (R_0) примерно на 15%. Замедление темпа роста тяги с увеличением частоты вращения КВД объясняется сгущением напорных линий на характеристике компрессора. Применение семиступенчатого варианта компрессора приводит к некоторому снижению тяги двигателя при одинаковой проектной частоте вращения КВД, так как суммарная степень повышения давления оказывается избыточной с точки зрения повышения работы термодинамического цикла.

Повышение температуры газа приводит к снижению удельного расхода топлива ($C_{Rкр}$), что особенно заметно в области больших частот вращения: до 1,5...2,0% $C_{Rкр}$ на 100 К. Наблюдается ярко выраженный локальный минимум зависимости удельного расхода топлива от частоты вращения КВД, который объясняется тем, что пониженным частотам вращения соответствуют невысокие значения $\pi_{к\sum кр}^*$, а максимальным – пониженные значения КПД компрессора и избыточные значения $\pi_{к\sum кр}^*$. Преимущество в экономичности у двигателей с семиступенчатым вариантом КВД обеспечивается при высоких $T_{г.кр}^*$ и низких $\bar{n}_{к.пр.кр}$, однако оно не превышает 1%.

Величина суммарной степени повышения давления ($\pi_{к\sum кр}^*$) почти не зависит от температуры газа перед турбиной и определяется проектным значением частоты вращения КВД. Предельной температуре воздуха за компрессором $T_{к.кр}^* = 850$ К соответствует $\bar{n}_{к.пр.кр} \approx 1,0$ у шестиступенчатого варианта КВД и около 0,97 у семиступенчатого варианта, что соответствует снижению тяги двигателя на максимальном взлетном режиме примерно на 500 кгс.

С ростом проектного значения приведенной частоты вращения КВД увеличивается необходимая степень понижения давления в ТВД ($\pi_{ТВД кр}^*$). Семиступенчатый вариант КВД в сочетании с пониженными значениями температуры газа перед турбиной потребует применения двухступенчатой турбины.

Также представляет интерес зависимость значения степени двухконтурности ($m_{кр}$) от проектных парамет-

ров на крейсерском режиме, а также от скорости истечения реактивной струи на номинальном взлетном режиме ($V_{с.ном.взл}$). С увеличением $T_{г.кр}^*$ значение $m_{кр}$ растет: около 0,5 на 100 К. С увеличением $\bar{n}_{к.пр.кр}$ значение $m_{кр}$ снижается при почти постоянной величине удельной тяги. Уменьшение проектного значения $V_{с.ном.взл}$ приводит к увеличению $m_{кр}$: около 0,15 на 10 м/с. Влияние количества ступеней КВД при этом незначительно.

Таким образом, учитывая диапазоны параметров, рассматриваемые в настоящее время для двигателей СГС нового поколения [18; 20; 41; 46; 55–59], и ограничения, накладываемые предполагаемой к использованию в ДДТ материальной частью, можно отметить, что целесообразное для ДДТ значение температуры газа в горле соплового аппарата ТВД на максимальном крейсерском режиме находится в диапазоне 1600...1800 К, суммарная степень повышения давления при этом составит 15...16, а степень двухконтурности – 1,5...2,5. Ожидаемый удельный расход топлива 1,03...1,07 кг/(кгс·ч). Тяга на максимальном взлетном режиме при этом составит 4500...6500 кгс. Применение семиступенчатого варианта КВД приводит к необходимости снижения частоты вращения КВД и, соответственно, к снижению тяги двигателя.

Заключение

Проведены исследования по формированию технического облика двигателя-демонстратора, предназначенного для отработки технологий силовой установки перспективного сверхзвукового гражданского самолета. Определен возможный диапазон проектных параметров демонстратора, в значительной степени обусловленный ограничениями, накладываемыми существующим научно-техническим и материальным заделом, сроками на создание.

Мировой опыт показывает, что создание принципиально нового двигателя сопряжено с длительными научно-исследовательскими и опытно-конструкторскими работами и созданием ряда опытных двигателей, отличающихся как параметрами, так и схемными решениями. Поэтому для обеспечения переноса технологий с демонстратора на двигатель для СГС (масштабирование) и их отработки в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, целесообразно формировать облик демонстратора с перспективным уровнем параметров, закладывая свойства перспективных материалов. При этом на первых этапах его создания, вероятно, не удастся достичь максимальных режимов работы, однако можно будет получить демонстратор в облике, максимально приближенном по удельным параметрам (но меньшей размерности) к двига-

телю СГС нового поколения, выполнить валидацию применяемых методик и технических решений. Так, используя существующие КВД и КС, при значении температуры газа перед турбиной на крейсерском режиме в диапазоне 1600...1800 К, суммарной степени повышения давления 15...16, степени двухконтурности 1,5...2,5 можно ожидать, что тяга двигателя-демон-

стратора на максимальном взлетном режиме составит 4500...6500 кгс. Решение о выборе проектных параметров необходимо принимать, учитывая предварительные оценки теплового состояния и прочности основных деталей и узлов, технологических и производственных рисков, сроков и объема финансирования разработки демонстратора.

Литература

1. Правительство Рос. Федерации. Распоряжение от 27 ноября 2021 года № 3363-р, Москва. 285 с. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. URL: <https://mintrans.gov.ru/file/473193> (дата обращения: 28.08.2023).
2. Целесообразный уровень крейсерской скорости полета и расчетные исследования режимов работы СУ в системе высокоскоростного пассажирского самолета / А.С. Полев, В.Е. Шлякотин, Ю.М. Шихман, А.А. Евстигнеев, А.Д. Алendarь, А.Н. Грунин // *Авиационные двигатели и энергетические установки* : сборник научных трудов / под ред. А.В. Луковникова. М. : ЦИАМ, 2020. С. 93–101.
3. Сыпало К.И. Об основных задачах НЦМУ «Сверхзвук» // *Всероссийский аэроакустический форум*, Геленджик, 20–25 сентября 2021 года. М. : ЦАГИ, 2021. С. 9–10. (Труды ЦАГИ ; вып. 2807).
4. Final report for the advanced concept studies for supersonic commercial transports entering service in the 2030 to 2035 period, N+3 supersonic program / J. Morgenstern, N. Norstrud, M. Stelmack, C. Skoch. Cleveland : NASA, Glenn Research Center, 2010. 123 p. NASA/CR–2010-216796. PMF–01623.
5. Advanced concept studies for supersonic commercial transports entering service in the 2018-2020 period Phase 2 / J. Morgenstern, M. Buonanno, J. Yao, M. Murugappan, U. Paliath, L. Cheung, I. Malcevic, K. Ramakrishnan, N. Pastouchenko, T. Wood et al. Cleveland : NASA, Glenn Research Center, 2015. 374 p. NASA/CR–2015-218719. PMF–01766.
6. Дутов А.В., Пухов А.А. Создание научно-технического задела для разработки перспективных сверхзвуковых гражданских самолетов // *Крылья родины*. 2022. № 9-10. С. 38–39.
7. Sun Y., Smith H. Review and prospect of supersonic business jet design // *Progress in Aerospace Sciences*. 2017. Vol. 90. P. 12–38.
8. HISAC-T-6-26–1. Publishable Activity Report. Dassault Aviation. No. 1. P. 121.
9. N+2 Supersonic concept development and systems integration / H.R. Welge, J. Bonet, T. Magee, D. Chen, S. Hollowell, A. Kutzmann, A. Mortlock, J. Stengle. 2010. 231 p. NASA/CR-2010-216842.
10. N+3 Advanced concept studies for supersonic commercial transport aircraft entering service in the 2030...2035 period / H.R. Welge, J. Bonet, T. Magee et al. Hampton, Virginia : NASA, 2011. 129 p. NASA/CR–2011-217084.
11. Шапкин В., Пухов А. Современные факторы создания сверхзвукового гражданского самолета нового поколения // *АвиаСоюз*. 2022. № 3/4 (90). С. 4–9.
12. Задачи и результаты деятельности научного центра мирового уровня «Сверхзвук» в части силовой установки сверхзвукового пассажирского самолета / А.И. Ланшин, Д.В. Комратов, А.Д. Алendarь, Б.И. Луховицкий, В.А. Шорстов // *Неравновесные процессы: плазма, горение, атмосфера* / ред. Фролов С.М., Ланшин А.И. М. : Торус пресс, 2022. С. 165–170.
13. Краев В.М., Силуянова М.В., Тихонов А.И. Задачи создания сверхзвуковой гражданской авиации в России // *СТИН*. 2020. № 4. С. 2–7.
14. Погосян М.А. Глобальные вызовы сверхзвуковой гражданской авиации // *Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»* : сборник тезисов. М. : ЦАГИ, 2022. С. 5–14.
15. Сыпало К.И. Научные проблемы создания СПС нового поколения // *Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»* : сборник тезисов. М. : ЦАГИ, 2022. С. 15–22.
16. Луковников А.В. Научно-технические проблемы разработки СУ СПС нового поколения // *Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»* : сборник тезисов. М. : ЦАГИ, 2022. С. 47–54.
17. Обзор проблем создания сверхзвукового пассажирского самолета нового поколения в части силовой установки / А.Д. Алendarь, А.И. Ланшин, А.А. Евстигнеев, К.Я. Якубовский, М.В. Силуянова // *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*. 2023. Т. 22, № 1. С. 7–28.

-
18. Выбор облика двигателя для перспективного СДС/СПС / А.А. Иноземцев, А.А. Пожаринский, К.Э. Терентьев, С.В. Торопчин // Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения» : сборник тезисов. М. : ЦАГИ, 2022. С. 169–171.
 19. Ланшин А.И., Комратов Д.В., Постников А.А. НЦМУ «Сверхзвук» в тематике разработки авиационных двигателей // Авиационные двигатели. 2022. № 1 (14), С. 69–78.
 20. Candidate engines definition for future multi speed supersonic civil aircraft / V. Korovkin, A. Evstigneev, V. Makarov, D. Strelets. 2013. (XXI International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE-2013), Busan, Korea, 9–13 September 2013). ISABE-2013-1721.
 21. Луковников А.В., Пенясов Е.В. Концепция создания двигателя-демонстратора технологий применительно к перспективному сверхзвуковому гражданскому самолету // XLVII Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, 24–27 января 2023. В 3 т. М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2023. Т. 3. С. 109–110.
 22. ГОСТ Р 58048-2017. Трансфер технологий. Методические указания по оценке уровня зрелости технологий. М. : Изд-во стандартов, 2018. 36 с.
 23. Зрелов В.А. Отечественные ГТД. Основные параметры и конструктивные схемы. М. : Машиностроение, 2005. 336 с.
 24. Двигатели гражданских самолетов России / В.Р. Котельников, О.В. Хробыстрова, В.А. Зрелов, В.А. Пономарев. 2-е изд. Рыбинск : МедиаРост, 2022. 564 с.
 25. Дынкин А.Л. Самолет начинается с двигателя. Рыбинск : Рыбинское подворье, 1999. 384 с.
 26. Prendre L’Air // Hors-Serie № 1. Janvier 2020. 49 p.
 27. Козлов А.Л., Палкин В.А. Перспективы развития авиационного двигателестроения // Авиационные двигатели. 2023. № 1 (18). С. 13–30.
 28. Ланшин А.И., Палкин В.А., Федякин В.Н. Анализ тенденций развития двигателей для самолетов гражданской авиации // Двигатель. 2010. № 6 (72). С. 2–5.
 29. Создание конкурентоспособных авиационных двигателей 2025–2030 годов. Проблемы реализации прорывных конструктивно-технологических решений и новых критических технологий / В.И. Бабкин, А.И. Ланшин, А.С. Полев, В.Н. Федякин // Деловая слава России. 2015. № 49. С. 25–29.
 30. Краев В.М., Тихонов А.И., Силуянова М.В. Перспективы развития авиационного двигателестроения для энергетики и нефтегазовой отрасли // СТИН. 2020. № 4. С. 7–11.
 31. Создание научно-технического задела в обеспечение разработки ТРДД нового поколения / В.А. Скибин, В.И. Солонин, М.М. Цховребов, А.И. Ланшин // ЦИАМ 2001–2005. Основные результаты научно-технической деятельности. В 2 т. М. : ЦИАМ, 2005. Т. 1. С. 26–29.
 32. Иноземцев А.А., Сулимов Д.Д. Опыт и перспективы АО «ОДК-Авиадвигатель» в создании и эксплуатации авиапроизводных промышленных газотурбинных установок и энергоагрегатов // Газотурбинные технологии. 2022. № 5 (188). С. 2–7.
 33. Reid K. Overview of flight testing of GE aircraft engines UDF engine. 1988. 12 p. (AIAA/ASME/SAE/ASEE 24th Joint Propulsion Conference. AIAA-88-3082).
 34. Mitchel R., Whitehead M. The Rolls-Royce UltraFan engine. Delivering the next generation of aerospace propulsion system. 2017. 15 p. (ISABE 2017 Conference Economy, Efficiency and Environment, 3–8 September 2017, Manchester, UK ; ISABE-2017-22511).
 35. Waddoups M.E. AFTI/F-16 technology demonstrator // Aircraft Prototype and Technology Demonstrator Symposium, Dayton, OH, March 23–24, 1983 : proceedings. New York : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1983. P. 173–179. AIAA 83-1059.
 36. Validation of propulsion technologies and new engine concepts in a joint technology demonstrator program / J.K. Schweitzer, J.S. Anderson, H. Scheugenpflug, E. Steinhardt. 2005. 12 p. ISABE 2005-1002.
 37. Двигатели боевых самолетов России / В.Р. Котельников, О.В. Хробыстрова, В.А. Зрелов, В.А. Пономарев. 3-е изд. Рыбинск : МедиаРост, 2022. 616 с.
 38. Whurr J. Future civil aero-engine architectures & technologies // Rolls-Royce Future Programmes Report / Rolls-Royce PLC. Derby, UK, 2013. 36 p.
 39. The Ultimate TurboFan / UltraFan. URL: <https://www.rolls-royce.com/innovation/ultrafan.aspx> (дата обращения: 22.08.2023).
-

-
40. Государственный контракт № 23411.4730790019.18.008 на выполнение научно-исследовательской работы «Комплексная отработка технологий создания узлов, элементов и систем силовой установки перспективного сверхзвукового гражданского самолета в обеспечение разработки и испытаний двигателя – демонстратора технологий»: шифр «Сивил-2025». URL: <https://zakupki.gov.ru/44fz/filestore/public/1.0/download/rgk2/file.html?uid=FCE4F8CF0DF77A27E05362548D0A8775> (дата обращения: 19.08.2023).
 41. Ланшин А.И., Слинко М.Б. Разработка научно-технического задела в обеспечение создания перспективной силовой установки сверхзвукового гражданского самолета // Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»: сборник тезисов. М.: ЦАГИ, 2022. С. 158–159.
 42. Луковников А.В. Исследования ЦИАМ им. П.И. Баранова по обеспечению создания силовой установки сверхзвукового гражданского самолета второго поколения // XLVI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, 25–28 января 2022. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022. С. 390–392.
 43. Исследования в области создания силовых установок сверхзвуковых пассажирских и деловых самолетов / А.В. Луковников, А.С. Полев, В.Е. Макаров, А.А. Евстигнеев, М.Б. Слинко, В.Д. Коровкин // XLIV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, 28–31 января 2020 года: сборник тезисов. В 2 т. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. Т. 2. С. 147–148.
 44. Исследование силовых установок сверхзвуковых пассажирских самолетов / А.В. Луковников, О.Д. Селиванов, Ю.А. Эрохи, М.Б. Слинко, В.Е. Шлякотин // XLI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королева и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства, 24–27 января 2017 года: сборник тезисов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. С. 368.
 45. Ланшин А.И., Алendarь А.Д., Комратов Д.В. Проблемы создания сверхзвукового пассажирского самолета нового поколения в части силовой установки // Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»: сборник тезисов. М.: ЦАГИ, 2022. С. 153–156.
 46. Алendarь А.Д., Грунин А.Н., Силуянова М.В. Анализ концепций базовых обликов перспективных двигателей сверхзвуковых гражданских летательных аппаратов на основе опыта зарубежных разработчиков // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2021. Т. 20, № 3. С. 24–36.
 47. Исследование эффективных характеристик силовой установки перспективного сверхзвукового делового самолета / А.Д. Алendarь, А.Н. Грунин, А.А. Евстигнеев, А.С. Полев // Сборник тезисов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов «Авиационные двигатели и силовые установки». М.: ЦИАМ, 2019. С. 18–19.
 48. Разработка комплексной математической модели многодисциплинарной интеграции СУ и ЛА для сверхзвукового пассажирского самолета: аспекты СУ / И.Г. Башкиров, А.А. Евстигнеев, П.А. Рябов, О.Д. Селиванов, Д.Б. Фокин // Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»: сборник тезисов. М.: ЦАГИ, 2022. С. 91–92.
 49. Результаты применения рациональных программ малощумного управления силовой установкой на этапе концептуального проектирования двигателя сверхзвукового пассажирского самолета / П.А. Рябов, О.Д. Селиванов, Д.Б. Фокин, А.А. Евстигнеев // Международная конференция «Фундаментальные проблемы создания СПС нового поколения»: сборник тезисов. М.: ЦАГИ, 2022. С. 163–165.
 50. 7-ступенчатый экспериментальный компрессор высокого давления. Результаты испытаний / А.И. Ланшин, А.Н. Старцев, Е.Г. Стешаков, И.К. Орехов, А.О. Лебедев // Насосы. Турбины. Системы. 2017. № 2 (23). С. 20–29.
 51. Старцев А.Н. Аэродинамическое проектирование осевого компрессора // Авиационные двигатели. 2021. № 3 (12). С. 19–34.
 52. Строкин В.Н., Волков С.А., Шилова Т.В. Разработка фронтального устройства двухзонной малоэмиссионной камеры сгорания для перспективного ТРДД // Камеры сгорания авиационных ГТД. М.: Двигатель, 2010. С. 149–160. (Труды ЦИАМ; № 1349).
 53. Экспериментальное исследование унифицированной системы зажигания для камер сгорания перспективных ТРДД / В.Н. Строкин, В.С. Фалалеев, Н.С. Кюрегян, Д.А. Голенцов, П.А. Бухштаб, Т.В. Шилова // Камеры сгорания авиационных ГТД. М.: Двигатель, 2010. С. 167–180. (Труды ЦИАМ; № 1349).
 54. Теория авиационных двигателей: в 2 т. / Ю.Н. Нечаев, Р.М. Федоров, В.Н. Котовский, А.С. Полев. М.: Издательство ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2005. Т. 1. 366 с.
-

55. Силуянова М.В., Алendar' А.Д., Грунин А.Н. Разработка технического облика и исследование эффективных характеристик силовой установки перспективного сверхзвукового пассажирского самолета // *Авиационная промышленность*. 2019. № 3-4. С. 9–14.
56. Influence of engine parameters on the power-unit performance in supersonic aircraft / M.V. Siluyanov, V.V. Kuritsyna, A.D. Alendar', A.N. Grunin // *Russian Engineering Research*. 2020. Vol. 40, no. 12. P. 1048–1051.
57. Supersonic technology concept aeroplanes for environmental studies / J.J. Berton, D.L. Huff, J.A. Seidel, K.A. Geiselhart. 2020. 19 p. (AIAA SciTech Forum and Exploration, Orlando, Florida, 6–10 January 2020 ; AIAA 2020-026).
58. Quiet powerplant concept with adaptive fan variable cycle engine for future supersonic commercial aircraft / V. Korovkin, A. Evstigneev, A. Makarov, A. Mironov // *23rd International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE 2017) : Economy, Efficiency and Environment, Manchester, United Kingdom, 3–8 September 2017*. Curran Associates, 2017. Vol. 1. P. 171–187.
59. Concept of prototype of near-term supersonic commercial aircraft with derivative engines based on existing cores / V. Korovkin, A. Evstigneev, V. Makarov, D. Strelets, O. Shevelev, V. Kopiev, I. Belyaev. 2019. (24th International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE 2019), Canberra, 22–27 September 2019 ; ISABE 2019-24002).

References

1. Pravitel'stvo Ros. Federatsii. Rasporiazhenie ot 27 noiabria 2021 goda № 3363-r [The Government of Russian Federation. Decree No. 3363-r of November 27, 2021], Moscow. 285 p. Transportnaia strategii Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda s prognozom na period do 2035 goda [Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast for the period up to 2035]. URL: <https://mintrans.gov.ru/file/473193> (accessed: 28.08.2023).
2. Polev A.S., Shlyakotin V.E., Shihman Yu.M., Evstigneev A.A., Alendar' A.D., Grunin A.N. Tselesoobraznyi uroven' kreiserskoi skorosti poleta i raschetnye issledovaniia rezhimov raboty SU v sisteme vysokoskorostnogo passazhirskogo samoleta [Expedient level of cruising flight speed and computational studies of propulsion system operating modes in the system of a high-speed passenger aircraft]. *Aviatsionnye dvigateli i energeticheskie ustanovki: sbornik nauchnykh trudov* [Aircraft engines and power plants. Collection of scientific works]. Ed. by A.V. Lukovnikov. Moscow: CIAM, 2020. P. 93–101.
3. Sypalo K.I. Ob osnovnykh zadachakh NTsMU "Sverkhzvuk" [About the main tasks of the WCRC "The Supersonic"]. *Vserossiiskii aeroakusticheskii forum, Gelendzhik, 20–25 sentiabria 2021 goda* [All-Russian Aeroacoustic Forum, Gelendzhik, 20–25 September, 2021]. Moscow: TsAGI, 2021. P. 9–10. (Proceedings of TsAGI; iss. 2807).
4. Final report for the advanced concept studies for supersonic commercial transports entering service in the 2030 to 2035 period, N+3 supersonic program / J. Morgenstern, N. Norstrud, M. Stelmack, C. Skoch. Cleveland : NASA, Glenn Research Center, 2010. 123 p. NASA/CR–2010-216796. PMF–01623.
5. Advanced concept studies for supersonic commercial transports entering service in the 2018-2020 period Phase 2 / J. Morgenstern, M. Buonanno, J. Yao, M. Murugappan, U. Paliath, L. Cheung, I. Malcevic, K. Ramakrishnan, N. Pastouchenko, T. Wood et al. Cleveland : NASA, Glenn Research Center, 2015. 374 p. NASA/CR–2015-218719. PMF-01766.
6. Dutov A.V., Puhov A.A. Sozdanie nauchno-tekhnicheskogo zadela dlia razrabotki perspektivnykh sverkhzvukovykh grazhdanskikh samoletov [Creation of scientific and technical advances for the development of promising supersonic civil aircraft]. *Kryl'ya rodiny* [Wings of the Motherland]. 2022. No. 9-10. P. 38–39.
7. Sun Y., Smith H. Review and prospect of supersonic business jet design // *Progress in Aerospace Sciences*. 2017. Vol. 90. P. 12–38.
8. HISAC-T-6-26–1. Publishable Activity Report. Dassault Aviation. No. 1. P. 121.
9. N+2 Supersonic concept development and systems integration / H.R. Welge, J. Bonet, T. Magee, D. Chen, S. Hollowell, A. Kutzmann, A. Mortlock, J. Stengle. 2010. 231 p. NASA/CR-2010-216842.
10. N+3 Advanced concept studies for supersonic commercial transport aircraft entering service in the 2030...2035 period / H.R. Welge, J. Bonet, T. Magee et al. Hampton, Virginia : NASA, 2011. 129 p. NASA/CR–2011-217084.
11. Shapkin V., Puhov A. Sovremennye faktory sozdaniia sverkhzvukovogo grazhdanskogo samoleta novogo pokoleniia [Modern factors of creating a supersonic civil aircraft of a new generation]. *AviaSoyuz* [AviaSouz, International Aerospace Magazine]. 2022. No. 3/4 (90). P. 4–9.
12. Lanshin A.I., Komratov D.V., Alendar' A.D., Luhovickij B.I., Shorstov V.A. Zadachi i rezul'taty deiatel'nosti nauchnogo tsentra mirovogo urovnia "Sverkhzvuk" v chasti silovoi ustanovki sverkhzvukovogo passazhirskogo samoleta [Tasks and results of the WCRC "The Supersonic" research in terms of the propulsion system of a supersonic passenger aircraft].

-
- Neravnovesnye protsessy: plazma, gorenie, atmosfera [Nonequilibrium processes: plasma, combustion, atmosphere]. Ed. by Frolov S.M., Lanshin A.I. Moscow: Torus Press, 2022. P. 165–170.
13. Kraev V.M., Siluyanov M.V., Tikhonov A.I. Creation of supersonic civil aviation in Russia // Russian Engineering Research. 2020. Vol. 40. P. 755–758.
 14. Pogosyan M.A. Global'nye vyzovy sverkhzvukovoi grazhdanskoi aviatsii [Global challenges of supersonic civil aviation]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 5–14.
 15. Sypalo K.I. Nauchnye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia [Scientific problems of creating a new generation of SST]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 15–22.
 16. Lukovnikov A.V. Nauchno-tekhicheskie problemy razrabotki SU SPS novogo pokoleniia [Scientific and technical problems of the development of a new generation SST propulsion system]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 47–54.
 17. Alendar' A.D., Lanshin A.I., Evstigneev A.A., Yakubovsky K.Ya., Siluyanov M.V. Obzor problem sozdaniia sverkhzvukovogo passazhirskogo samoleta novogo pokoleniia v chasti silovoi ustanovki [The problems of creating a propulsion system of a new generation supersonic passenger aircraft (review)]. Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaiia tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie [VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering]. 2023. Vol. 22, no. 1. P. 7–28.
 18. Inozemcev A.A., Pozharinskij A.A., Terent'ev K.E., Toropchin S.V. Vybor oblika dvigatel'ia dlia perspektivnogo SDS/SPS [Choosing the design concept of an engine for a promising SST]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 169–171.
 19. Lanshin A.I., Komratov D.V., Postnikov A.A. NTsMU "Sverkhzvuk" v tematike razrabotki aviatsionnykh dvigatelei [The World-Class Research Center "Supersonic" in the field of aircraft engine development]. Aviatsionnye dvigateli [Aviation Engines]. 2022. No. 1 (14). P. 69–78.
 20. Candidate engines definition for future multi speed supersonic civil aircraft / V. Korovkin, A. Evstigneev, V. Makarov, D. Strelets. 2013. (XXI International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE-2013), Busan, Korea, 9–13 September 2013). ISABE-2013-1721.
 21. Lukovnikov A.V., Penyasov E.V. Kontseptsii sozdaniia dvigatel'ia-demonstratora tekhnologii primenitel'no k perspektivnomu sverkhzvukovomu grazhdanskomu samoletu [The concept of creating a technology demonstrator engine in relation to a promising supersonic civil aircraft]. XLVII Akademicheskie chteniia po kosmonavtike, posviashchennye pamiati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydaushchikhsia otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniia kosmicheskogo prostranstva, 24–27 ianvaria 2023 [XLVII Academic Space Conference, dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding national scientists – pioneers of space exploration, 24–27 January 2023 : abstracts]. In 3 vol. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Bauman [Publishing House of Bauman Moscow State Technical University]. Vol. 3. P. 109–110.
 22. GOST R 58048-2017. Transfer tekhnologii. Metodicheskie ukazaniia po otsenke urovnia zrelosti tekhnologii. [Technology transfer. Technology maturity assessment methodology guide]. Moscow: Publishing House of Standards, 2018. 36 p.
 23. Zrel'ov V.A. Otechestvennye GTD. Osnovnye parametry i konstruktivnye skhemy [Domestic gas turbine engines. Basic parameters and design schemes]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical engineering], 2005. 336 p.
 24. Kotelnikov V.R., Hrobystrova O.V., Zrel'ov V.A., Ponomarev V.A. Dvigateli grazhdanskikh samoletov Rossii. [Engines of Russian civil aircraft]. 2nd ed. Rybinsk: Mediarost, 2022. 564 p.
 25. Dynkin A.L. Samolet nachinaetsia s dvigatel'ia [The plane starts with the engine]. Rybinsk: Rybinskoe podvor'e, 1999. 384 p.
 26. Prendre L'Air // Hors-Serie № 1. Janvier 2020. 49 p.
 27. Kozlov A.L., Palkin V.A. Perspektivy razvitiia aviatsionnogo dvigatelestroeniia [Trends in the development of aero engine building]. Aviatsionnye dvigateli [Aviation Engines]. 2023. No. 1 (18). P. 13–30.
 28. Lanshin A.I., Palkin V.A., Fedyakin V.N. Analiz tendentsii razvitiia dvigatelei dlia samoletov grazhdanskoi aviatsii [Analysis of trends in the development of engines for civil aviation aircraft]. Dvigatel' [Engine]. 2010. No. 6 (72). P. 2–5.
-

-
29. Babkin V.I., Lanshin A.I., Polev A.S., Fedyakin V.N. Sozdanie konkurentosposobnykh aviatsionnykh dvigatelei 2025–2030 godov. Problemy realizatsii proryvnykh konstruktivno-tekhnologicheskikh reshenii i novykh kriticheskikh tekhnologii [Creation of competitive aircraft engines 2025–2030 years. Problems of implementation of breakthrough design and technological solutions and new critical technologies]. *Delovaia slava Rossii* [Business glory of Russia]. 2015. No. 49. P. 25–29.
 30. Kraev V.M., Tihonov A.I., Siluyanov M.V. Perspektivy razvitiia aviatsionnogo dvigatelestroeniia dlia energetiki i neftegazovoi otrasli [Prospects for the development of aviation engine building for the energy and oil and gas industry]. *STIN*. 2020. No. 4. P. 7–11.
 31. Skibin V.A., Solonin V.I., Ckhovrebv M.M., Lanshin A.I. Sozdanie nauchno-tekhnicheskogo zadela v obespechenie razrabotki TRDD novogo pokoleniia [Creation of scientific and technical advances to ensure the development of a new generation turbofan engine]. *TsIAM 2001–2005. Osnovnye rezul'taty nauchno-tekhnicheskoi deiatel'nosti*. [CIAM 2001–2005. The main results of scientific and technical activities]. In 2 vol. Moscow: CIAM, 2005. Vol. 1. P. 26–29.
 32. Inozemcev A.A., Sulimov D.D. Opyt i perspektivy AO “ODK-Aviadvigatel” v sozdanii i ekspluatatsii aviaproizvodnykh promyshlennykh gazoturbinnnykh ustanovok i energoagregatov [Experience and prospects of JSC “UEC-Aviadvigatel” in the creation and operation of aircraft-derived industrial gas turbine installations and power units]. *Gazoturbinnnye tekhnologii* [Gas Turbo Technology]. 2022. No. 5 (188). P. 2–7.
 33. Reid K. Overview of flight testing of GE aircraft engines UDF engine. 1988. 12 p. (AIAA/ASME/SAE/ASEE 24th Joint Propulsion Conference. AIAA-88-3082).
 34. Mitchel R., Whitehead M. The Rolls-Royce UltraFan engine. Delivering the next generation of aerospace propulsion system. 2017. 15 p. (ISABE 2017 Conference Economy, Efficiency and Environment, 3–8 September 2017, Manchester, UK ; ISABE-2017-22511).
 35. Waddoups M.E. AFTI/F-16 technology demonstrator // Aircraft Prototype and Technology Demonstrator Symposium, Dayton, OH, March 23–24, 1983 : proceedings. New York : American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1983. P. 173–179. AIAA 83-1059.
 36. Validation of propulsion technologies and new engine concepts in a joint technology demonstrator program / J.K. Schweitzer, J.S. Anderson, H. Scheugenpflug, E. Steinhardt. 2005. 12 p. ISABE 2005-1002.
 37. Kotelnikov V.R., Hrobystrova O.V., Zrellov V.A., Ponomarev V.A. Dvigateli boevykh samoletov Rossii [Engines of combat aircraft of Russia]. 3rd ed. Rybinsk: Mediarost, 2022. 616 p.
 38. Whurr J. Future civil aero-engine architectures & technologies // Rolls-Royce Future Programmes Report / Rolls-Royce PLC. Derby, UK, 2013. 36 p.
 39. The Ultimate TurboFan / UltraFan. URL: <https://www.rolls-royce.com/innovation/ultrafan.aspx> (accessed: 22.08.2023).
 40. Gosudarstvennyi kontrakt N 23411.4730790019.18.008 na vypolnenie nauchno-issledovatel'skoi raboty “Kompleksnaia otrabotka tekhnologii sozdaniia uzlov, elementov i sistem silovoi ustanovki perspektivnogo sverkhzvukovogo grazhdanskogo samoleta v obespechenie razrabotki i ispytanii dvigatel'ia – demonstratora tekhnologii”: shifr “Sivil-2025” [State contract no. 23411.4730790019.18.008 for the implementation of research and development “Comprehensive development of technologies for the creation of components, elements and systems of the propulsion system of a promising supersonic civil aircraft in support of the development and testing of the technology demonstrator engine”: code “Civil-2025”]. URL: <https://zakupki.gov.ru/44fz/filestore/public/1.0/download/rgk2/file.html?uid=FCE4F8CF0DF77A27E05362548D0A8775> (accessed: 08.19.2023).
 41. Lanshin A.I., Slinko M.B. Razrabotka nauchno-tekhnicheskogo zadela v obespechenie sozdaniia perspektivnoi silovoi ustanovki sverkhzvukovogo grazhdanskogo samoleta [Development of scientific and technical advances to ensure the creation of a promising supersonic civil aircraft propulsion system]. *Mezhdunarodnaia konferentsiia “Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia”: sbornik tezisov* [International Conference “Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST”: abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 158–159.
 42. Lukovnikov A.V. Issledovaniia TsIAM im. P.I. Baranova po obespecheniiu sozdaniia silovoi ustanovki sverkhzvukovogo grazhdanskogo samoleta vtorogo pokoleniia [CIAM's research on ensuring the creation of a supersonic civil aircraft propulsion system of the second generation]. *XLVI Akademicheskie chteniia po kosmonavtike, posviashchennye pamiati akademika S.P. Koroleva i drugih vydaishchikhsia otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniia kosmicheskogo prostranstva*, 25–28 ianvaria 2022 [XLVI Academic Space Conference, dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding national scientists – pioneers of space exploration, 25–28 January 2022: abstracts]. Moscow: Izdatel'stvo MG TU im. N.E. Baumana [Publishing House of Bauman Moscow State Technical University]. P. 390–392.
-

-
43. Lukovnikov A.V., Polev A.S., Makarov V.E., Evstigneev A.A., Slinko M.B., Korovkin V.D. Issledovaniia v oblasti sozdaniia silovykh ustanovok sverkhzvukovykh passazhirskikh i delovykh samoletov [Research in the field of creating propulsion systems for supersonic passenger and business aircraft]. XLIV Akademicheskoe chteniia po kosmonavtike, posviashchennye pamiati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydaiushchikhsia otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniia kosmicheskogo prostranstva, 28–31 ianvaria 2020 goda: sbornik tezisov [XLIV Academic Space Conference, dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding national scientists – pioneers of space exploration, 28–31 January 2020: abstracts]. In 2 vol. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana [Publishing House of Bauman Moscow State Technical University], 2020. Vol. 2. P. 147–148.
 44. Lukovnikov A.V., Selivanov O.D., Ezrohi Yu.A., Slinko M.B., Shlyakotin V.E. Issledovanie silovykh ustanovok sverkhzvukovykh passazhirskikh samoletov [Research of propulsion systems of supersonic passenger aircraft]. XLI Akademicheskoe chteniia po kosmonavtike, posviashchennye pamiati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydaiushchikhsia otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniia kosmicheskogo prostranstva, 24–27 ianvaria 2017 goda : sbornik tezisov [XLI Academic Space Conference, dedicated to the memory of academician S.P. Korolev and other outstanding national scientists – pioneers of space exploration, 24–27 January 2017: abstracts]. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana [Publishing House of Bauman Moscow State Technical University], 2017. P. 368.
 45. Lanshin A.I., Alendar' A.D., Komratov D.V. Problemy sozdaniia sverkhzvukovogo passazhirskogo samoleta novogo pokoleniia v chasti silovoi ustanovki [Problems of creating a supersonic passenger aircraft of a new generation in terms of the propulsion system]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 153–156.
 46. Alendar' A.D., Grunin A.N., Siluyanov M.V. Analiz kontseptsii bazovykh oblikov perspektivnykh dvigatelei sverkhzvukovykh grazhdanskikh letatel'nykh apparatov na osnove opyta zarubezhnykh razrabotchikov [Analysis of basic concepts of advanced engines for supersonic civil aircraft on the basis of foreign designers' experience]. Vestnik Samarskogo universiteta. Aerokosmicheskaiia tekhnika, tekhnologii i mashinostroenie [VESTNIK of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering]. 2021. Vol. 20, no. 3. P. 24–36.
 47. Alendar' A.D., Grunin A.N., Evstigneev A.A., Polev A.S. Issledovanie effektivnykh kharakteristik silovoi ustanovki perspektivnogo sverkhzvukovogo delovogo samoleta [Investigation of the effective characteristics of the propulsion system of an advanced supersonic business aircraft]. Sbornik tezisov Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov "Aviatsionnye dvigateli i silovye ustanovki" [Abstracts of All-Russian Scientific and Technical Conference of young scientists and specialists "Aircraft engines and power plants"]. Moscow: CIAM, 2019. P. 18–19.
 48. Bashkurov I.G., Evstigneev A.A., Ryabov P.A., Selivanov O.D., Fokin D.B. Razrabotka kompleksnoi matematicheskoi modeli mnogodistsiplinarnoi integratsii SU i LA dlia sverkhzvukovogo passazhirskogo samoleta: aspekty SU [Development of a complex mathematical model of multidisciplinary integration of propulsion system and aircraft for supersonic passenger aircraft: aspects of propulsion system]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 91–92.
 49. Ryabov P.A., Selivanov O.D., Fokin D.B., Evstigneev A.A. Rezul'taty primeneniia ratsional'nykh programm malo-shumnogo upravleniia silovoi ustanovkoi na etape kontseptual'nogo proektirovaniia dvigatel'ia sverkhzvukovogo passazhirskogo samoleta [Results of application of rational programs of low-noise control of the propulsion system at the stage of conceptual design of the supersonic passenger aircraft engine]. Mezhdunarodnaia konferentsiia "Fundamental'nye problemy sozdaniia SPS novogo pokoleniia": sbornik tezisov [International Conference "Fundamental Problems of Creating a New Generation of SST": abstracts]. Moscow: TsAGI, 2022. P. 163–165.
 50. Lanshin A.I., Startsev A.N., Steshakov E.G., Orekhov I.K., Lebedev A.O. 7-stupenchatyi eksperimental'nyi kompressor vysokogo davleniia. Rezul'taty ispytaniia [7-stage experimental high pressure compressor. Test results]. Nasosy. Turbiny. Sistemy [Pumps. Turbines. Systems]. 2017. No. 2 (23). P. 20–29.
 51. Startsev A.N. Aerodinamicheskoe proektirovanie oseвого kompressora [Design of an axial compressor aerodynamics]. Aviatsionnye dvigateli [Aviation Engines]. 2021. No. 3 (12). P. 19–34.
 52. Strokin V.N., Volkov S.A., Shilova T.V. Razrabotka frontovogo ustroistva dvukhzonnoi maloemissionnoi kamery sgoraniia dlia perspektivnogo TRDD [Development of a front-end device of a two-zone low-emission combustion chamber for a promising turbofan engine]. Kamery sgoraniia aviatsionnykh GTD [Combustion chambers of aviation gas turbine engines]. Moscow: Dvigatel' [Engine], 2010. P. 149–160. (Proceedings of CIAM; No. 1349).
-

-
53. Strokin V.N., Falaleev V.S., Kyuregyan N.S., Golencov D.A., Buhshtab P.A., Shilova T.V. Eksperimental'noe issledovanie unifitsirovannoi sistemy zazhiganiia dlia kamer sgoraniia perspektivnykh TRDD [Experimental study of a unified ignition system for combustion chambers of promising turbofan engines]. Kamery sgoraniia aviatsionnykh GTD [Combustion chambers of aviation gas turbine engines]. Moscow: Dvigatel' [Engine], 2010. P. 167–180. (Proceedings of CIAM; № 1349).
 54. Nechaev Yu.N., Fedorov R.M., Kotovskij V.N., Polev A.S. Teoriia aviatsionnykh dvigatelei [Theory of aircraft engines]: in 2 vol. Moscow: Izdatel'stvo VVIA im. prof. N.E. Zhukovskogo [Publishing of the VVIA named after prof. N.E. Zhukovsky], 2005. Vol. 1. 366 p.
 55. Siluyanova M.V., Alendar A.D., Grunin A.N. Razrabotka tekhnicheskogo oblika i issledovanie effektivnykh kharakteristik silovoi ustanovki perspektivnogo sverkhzvukovogo passazhirsogo samoleta [Development of technical appearance and investigation of effective characteristics of propulsion system of perspective supersonic passenger aircraft]. Aviatsionnaia promyshlennost' [Aviation Industry]. 2019. No. 3-4. P. 9–14.
 56. Influence of engine parameters on the power-unit performance in supersonic aircraft / M.V. Siluyanova, V.V. Kuritsyna, A.D. Alendar', A.N. Grunin // Russian Engineering Research. 2020. Vol. 40, no. 12. P. 1048–1051.
 57. Supersonic technology concept aeroplanes for environmental studies / J.J. Berton, D.L. Huff, J.A. Seidel, K.A. Geiselhart. 2020. 19 p. (AIAA SciTech Forum and Exploration, Orlando, Florida, 6–10 January 2020 ; AIAA 2020-026).
 58. Quiet powerplant concept with adaptive fan variable cycle engine for future supersonic commercial aircraft / V. Korovkin, A. Evstigneev, A. Makarov, A. Mironov // 23rd International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE 2017) : Economy, Efficiency and Environment, Manchester, United Kingdom, 3–8 September 2017. Curran Associates, 2017. Vol. 1. P. 171–187.
 59. Concept of prototype of near-term supersonic commercial aircraft with derivative engines based on existing cores / V. Korovkin, A. Evstigneev, V. Makarov, D. Strelets, O. Shevelev, V. Kopiev, I. Belyaev. 2019. (24th International Symposium on Air Breathing Engines (ISABE 2019), Canberra, 22–27 September 2019 ; ISABE 2019-24002).

Материалы получены редакцией 24.08.2023