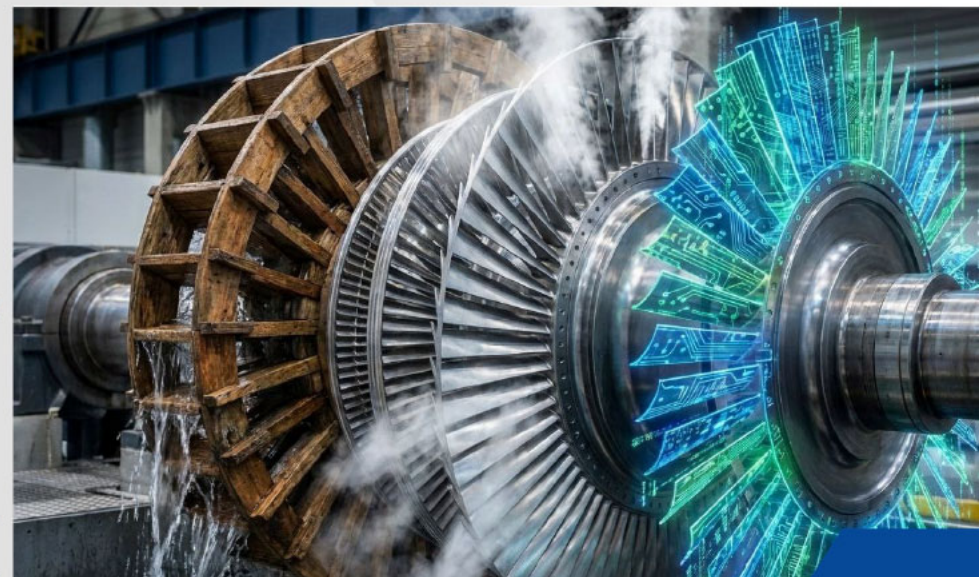




А. Ю. Култышев, О. В. Шевченко, А. М. Иващенко



Формула российской турбины



Формула российской турбины

Юбилейное
издание

ТУРБОСЕРВИС

ПОЛИТЕХ
Самарский государственный
политехнический университет
Политех

ТУРБОСЕРВИС

15
лет

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

Институт энергетики

Высшая школа энергетического машиностроения

Серия научно-технических изданий «Формула турбин»

ФОРМУЛА РОССИЙСКОЙ ТУРБИНЫ

Монография

Под общей редакцией д. т. н. А. Ю. Култышева



ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2026

УДК 621.165.051
ББК 31.363
К90

Култышев А. Ю. Формула российской турбины / А. Ю. Култышев, О. В. Шевченко, А. М. Иващенко; под общ. ред. д. т. н. А. Ю. Култышева. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2026. – 148 с. – (Серия научно-технических изданий «Формула турбин»).

ISBN 978-5-7422-9555-6

Монография приурочена к 15-летию юбилею компании «ТурбоСервис» и рассказывает об истории отечественного турбиностроения – истории инженерной мысли, технологических прорывов и людей, чьим трудом создавалась энергетическая мощь нашей страны. Отечественное турбиностроение имеет богатую и яркую историю, которая насчитывает не одно столетие.

Книга «Формула российской турбины», входящая в серию изданий «Формула турбин» – это не просто хронологическое описание событий, а исследование эволюции отечественной конструкторской мысли, инженерных традиций и технологических прорывов, которые на протяжении веков определяли развитие российской энергетики.

Ил. 143.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

ISBN 978-5-7422-9555-6

© Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
<i>Глава 1.</i> XVII ВЕК.....	6
<i>Глава 2.</i> XVIII ВЕК.....	7
<i>Глава 3.</i> XIX ВЕК.....	11
<i>Глава 4.</i> XX ВЕК.....	27
<i>Глава 5.</i> XXI ВЕК.....	122

ПРЕДИСЛОВИЕ

Издание, которое вы держите в руках, приурочено к 15-летнему юбилею компании «ТурбоСервис» и посвящено истории отечественного турбиностроения – истории инженерной мысли, технологических прорывов и людей, чьим трудом создавалась энергетическая мощь нашей страны. Отечественное турбиностроение имеет богатую и яркую историю, которая насчитывает не одно столетие. Однако до сих пор многие значимые события, ключевые конструкторские решения и судьбы людей, создававших техническую мощь государства, оставались известны лишь узкому кругу специалистов.

Книга «Формула российской турбины», входящая в серию изданий «Формула турбин», призвана восполнить этот пробел. Это не просто хронологическое описание событий, а исследование эволюции отечественной конструкторской мысли, инженерных традиций и технологических прорывов, которые на протяжении веков определяли развитие российской энергетики.

В книге мы расскажем:

- ✧ об истоках: как первые гидравлические установки XVII века предопределили путь развития отечественного энергомашиностроения;
- ✧ о славных страницах зарождения паротурбинной школы в России, первых проектах и их создателях – инженерах, чьи имена сегодня незаслуженно забыты;
- ✧ о рывке индустриализации: о становлении крупных турбинных заводов, эвакуации производства в годы Великой Отечественной войны и создании технической базы, обеспечившей послевоенное восстановление страны;
- ✧ о газотурбинном прорыве: о переходе от паровых к газовым турбинам, освоении газоперекачивающих агрегатов и создании установок, которые сегодня составляют основу энергосистемы России;
- ✧ о преемственности инженерной школы, локализации технологий и формировании нового поколения специалистов.

Символично, что книга выходит в год 15-летия компании «ТурбоСервис» – одного из лидеров российского рынка сервисного обслуживания газотурбинных установок. За годы работы компания реализовала сотни проектов на объектах энергетики по всей стране, сохранила и приумножила уникальные инженерные компетенции, став надежным партнером для российских генерирующих предприятий. Но главным достижением всегда были и остаются люди – инженеры, технологи, рабочие и руководители, чей профессионализм, ответственность и преданность делу позволяют сохранять лучшие традиции отечественной инженерной школы и развивать их для будущих поколений.

Без знания истории невозможно строить будущее. Новая рубрика позволит нашим читателям – инженерам, конструкторам, студентам профильных вузов – увидеть непрерывную цепочку развития отечественной школы турбиностроения. Книга «Формула российской турбины» содержит уникальные архивные материалы, которые станут основой для целой серии публикаций. Мы уверены, что этот проект найдет живой отклик как у сотрудников компании, так и у профессионального сообщества.

Президент ООО «ТурбоСервис Рус»

Алексей Култышев

Глава 1. XVIII век

1680 год

Открытие «Ракетного заведения» для производства ракет

В 1680 году в Москве было учреждено «Ракетное заведение» – первое специализированное предприятие для производства пороховых ракет. Это событие ознаменовало систематизацию пиротехнического производства в России, где ранее ракеты применялись эпизодически для сигнализации, фейерверков и военных нужд, как указано в «Уставе ратных, пушечных и других дел» 1607 года.

«Ракетное заведение» стало предтечей ракетного производства эпохи Петра I, который лично занимался ракетами: в 1707 году по его чертежам создали сигнальную ракету высотой подъема до 1 км. Это способствовало переходу от кустарного к промышленному этапу, заложив основу для боевых ракет Засядько в XIX веке. Заведение функционировало до 1710-х, когда аналогичное открыли в Петербурге.



Рисунок 1. Гравюра А. Васнецова «Пушечно-литейный завод на реке Неглинной» (XVII век): мастера у печи, пушки, литейные формы на фоне Неглинной

Глава 2. XVIII век

1763 год

Ползунов представляет проект «огненной машины»

В апреле 1763 года русский инженер Иван Иванович Ползунов представил начальнику Колывано-Воскресенских заводов Алексею Ивановичу Порошину проект «огненной машины» – пароатмосферного двигателя непрерывного действия. Это изобретение, разработанное для горно-металлургической промышленности Алтая, предусматривало двухцилиндровую конструкцию мощностью около 1,8 л.с., способную приводить в движение воздуходувки плавильных печей без зависимости от водяных колес.

Машина Ползунова опиралась на принцип атмосферного давления: пар из котла заполнял цилиндры, выталкивая поршни, а последующее охлаждение создавало вакуум для обратного хода. Проект превосходил английские аналоги Ньюкомена и Севери по универсальности, позволяя работать в безводных условиях и обеспечивая вращение общего вала.

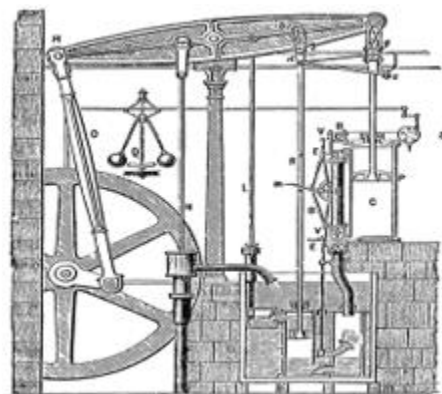


Рисунок 2. Паровая машина

Представление проекта ознаменовало переход от теоретических идей к практической реализации: в 1764 году началось строительство увеличенной версии (32 л.с.) для Барнаульского завода, завершённой посмертно в 1766 году.

Изобретение Ползунова опередило Уатта, заложив основу промышленной революции в России и продемонстрировав приоритет отечественной техники.

Паровая машина была также первым в мире двухцилиндровым паровым двигателем, впервые в истории не требующим вспомогательного гидравлического привода.

1764 год

Решение о постройке «огнедействующей машины» Ползунова

В январе 1764 года Канцелярия Колывано-Воскресенского горного начальства, рассмотрев проект И.И. Ползунова, приняла решение о строительстве «огнедействующей машины» – двухцилиндрового пароатмосферного двигателя мощностью 32 л.с. для Барнаульского завода. Это решение ознаменовало переход от теоретической разработки 1763 года к промышленной реализации, преодолев зависимость металлургии от водяных колес в условиях Алтая.

Строительство началось весной на стекольном заводе Барнаула: котел и цилиндры (диаметром 0,91 м) ковали в цехах, детали весом до 2,5 т собирали в «машинной хоромине» высотой 11–18 м. Ползунов усовершенствовал проект, усилив паропровод и клапаны для непрерывного вращения вала, подающего дутье на 10 печей.

Машина работала 43 дня после пуска 18 августа 1766 года, посмертно для Ползунова, подтвердив эффективность универсального двигателя. Она заложила основу автономной энергетики в России.

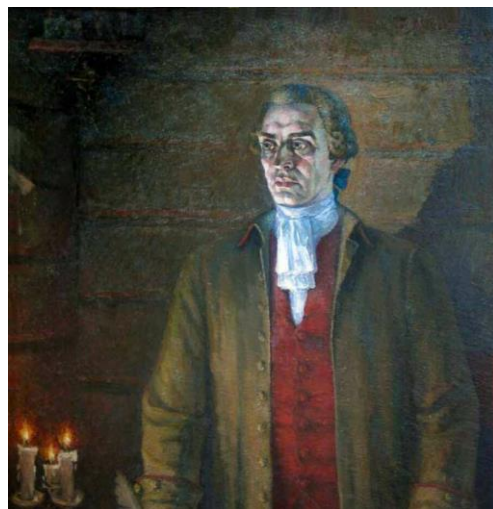


Рисунок 3. Иван Иванович Ползунов

Канцелярия, учрежденная в 1747 году после перехода заводов Демидовых к Кабинету Елизаветы, в двухэтажном здании на ул. Ползунова.

1765 год

Новый проект пароатмосферной машины мощностью 32 л.с.

В марте 1765 года Иван Иванович Ползунов разработал усовершенствованный проект пароатмосферной машины для Колывано-Воскресенских заводов, увеличив мощность в 15 раз – до 32 лошадиных сил (около 24 кВт). Новый двигатель предназначался для привода воздуходушных мехов десяти плавильных печей Барнаульского завода, обеспечивая независимость от водяных колес в межсезонье Алтая.

Проект сохранил двухцилиндровую схему 1763 года, но масштабировал цилиндры до диаметра 0,91 м и высоты 11 м, усилил котел (емкостью 6 м³) и паропроводы из листового железа. Клапаны и кривошипный механизм обеспечивали непрерывное вращение вала, подавая

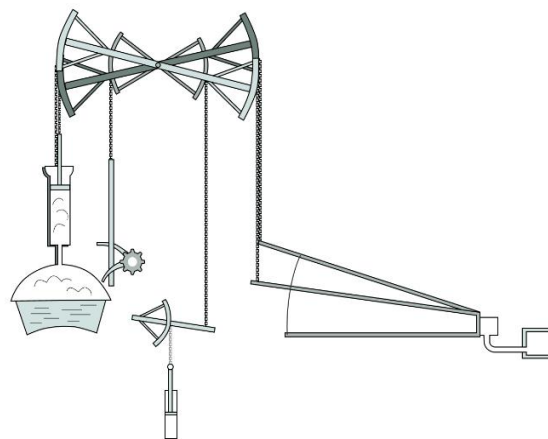


Рисунок 4. Паровой двигатель Ползунова

дутье 2000 м³/мин – рекорд для паровых установок до Уатта. Ползунов учел заводские нужды, интегрировав машину с мехами и редукторами.

Утверждение проекта Канцелярией ознаменовало старт строительства на стеклозаводе, где ковали детали весом до 2,5 т. Это заложило основу автономной энергетики русской металлургии, опередив Европу на 10 лет.

1766 год

Испытания и ввод в эксплуатацию машины на Барнаульском сереброплавильном заводе

18 августа 1766 года на Барнаульском сереброплавильном заводе под руководством учеников И.И. Ползунова – механикуса Г. Завьялова и других мастеров – состоялся пуск «огнедействующей машины», первой в мире двухцилиндровой пароатмосферной установки непрерывного действия. После смерти изобретателя 27 мая 1766 года строительство завершили по его чертежам: машина мощностью 32 л.с. обеспечивала дутье для десяти плавильных печей, расходуя 6 м³ дров в час.

Неделя предварительных тестов подтвердила стабильность: пар заполнял цилиндры поочередно, поршни вращали вал с мехами (2000 м³ воздуха/мин). С 7 августа машина обслуживала три печи, работала с перерывами до 10 ноября, когда прогорел котел. Общая наработка – 43 дня, КПД ~3,5%, без внешнего привода.

Ввод в эксплуатацию доказал превосходство над одноцилиндровыми машинами Ньюкомена, заложив основу заводской энергетики России. Экспертная оценка 1869 г. подтвердила мировую новизну.

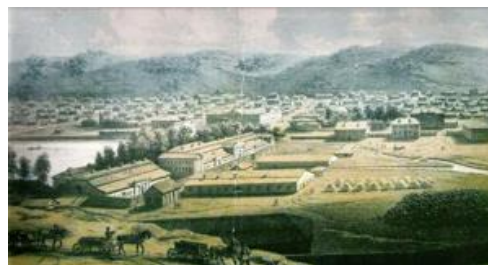


Рисунок 5. Барнаульский сереброплавильный завод

Генеральные планы 1801–1802 гг. показывают плавильные фабрики №1 (1747) и №2 (1765) на берегу Барнаулки, меховую фабрику, кузницу, «машинную хоромину» высотой 18 м для двигателя Ползунова; деревянно-каменные корпуса с дымящими трубами и складами руды.

Глава 3. XIX век

1826 год

Создание Петербургского постоянного ракетного заведения для массового производства военных ракет

В марте 1826 года Главное артиллерийское управление по предложению Военно-ученого комитета учредило Санкт-Петербургское постоянное ракетное заведение для серийного производства боевых ракет по системам А.Д. Засядко. Заведение разместилось на Охтинском пороховом заводе, позже на Волковом поле; подчинялось инспектору пороховых заводов и включало лабораторию, мастерские и испытательный полигон.

Инициатор — генерал-майор Засядко, разработавший на свои средства ракеты калибром 2–4 дюйма с дальностью 2–3 км и 6-зарядные пусковые станки. Заведение выпускало зажигательные и фугасные

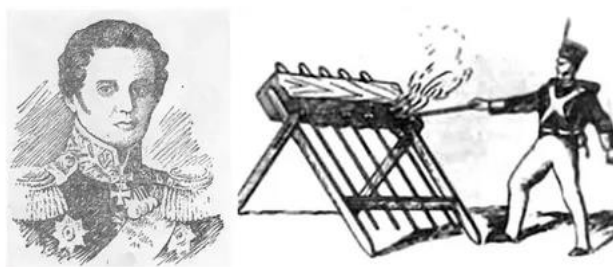


Рисунок 6. А.Д. Засядко и его ракетная установка

ракеты с центральным стабилизатором, обеспечив крупносерийный выпуск к 1827 году для ракетной роты. Первые партии применили на Кавказе (1827) и в русско-турецкой войне 1828–1829 гг., где израсходовали 1191 ракету при осаде Варны.

Заведение стало центром ракетостроения, объединив в 1839 году все российские производства. Под руководством К.И. Константинова (с 1850) модернизировали технологию, перейдя к Николаевскому заводу в 1870 году.

Ракеты Засядко превосходили английские Конгрива по точности благодаря стабилизатору.

1849 год

Впервые в России предложено использование реактивного принципа для летательных аппаратов

В марте 1849 года полевой инженер штабс-капитан Иустин Иванович Третеский представил кавказскому наместнику князю М.С. Воронцову в Тифлисе рукопись «О способах управлять аэростатами» (208 стр.), предложив проект управляемого металлического аэростата с комбинированными двигателями. Впервые в России инженер применил реактивный принцип: пороховые ракеты тягой 3–5 кгс для маневров, дополненные паровой машиной мощностью 10–15 л.с., обеспечивали скорость 8–10 м/с против ветра.

Аэростат длиной 40 м имел жесткий каркас из листового железа, гондолу на 4 человека с рулями высоты/курса и системой балласта. Третеский рассчитал устойчивость по формулам аэродинамики, предвосхитив дирижабли Жиффара (1852), и предложил ракетный двигатель как основной для вертикального подъема/спуска. Проект учитывал военные нужды Кавказа: разведку, десантирование, бомбометание.



Рисунок 7. Иустин Иванович Третеский

Идеи Третеского опередили Циолковского и Гесда, заложив основу реактивной авиации в России, хотя бюрократия Главного инженерного управления заблокировала реализацию.

1857 год

Основан Невский завод (позже НЗЛ), который впоследствии внес значительный вклад в развитие отечественного судостроения и машиностроения

15 января 1857 года (3 января по ст. стилю) на берегу Невы в Санкт-Петербурге генерал-майор П.Ф. Семянников и подполковник В.А. Полетика, горные инженеры и выпускники Горного корпуса, выкупили небольшой чугунолитейный завод англичанина Томсона, основав «Невский литейный и механический завод» (позднее



Рисунок 8. Невский литейный и механический завод

НЗЛ, Семянниковский завод). Это событие ознаменовало начало крупного судостроительного производства в России после Крымской войны, стимулировавшей переход к паровому броненосному флоту.

В 1858 году спустили первые пароходы «Мария» и «Работник». Реконструкция 1863–1864 гг. по проекту Р.Р. Генрихсена добавила эллинги и верфь; построили башенные броненосцы «Лава» и «Перун». К 1870-м заводом создан первый в мире броненосный крейсер «Генерал-Адмирал», а с 1869 г. выпускали паровозы (свыше 4000 шт. к 1917 г.).

НЗЛ внес вклад в военно-морской флот (более 200 кораблей), железнодорожное машиностроение и энергетику, став в XX в. производителем турбин. Корпуса 1860-х признаны памятниками промархитектуры.



20 декабря 1857 года вышел царский именной указ об утверждении устава акционерной компании «Санкт-Петербургский Металлический завод». Завод принимал необычные заказы, набирал силу. Впоследствии первые конструкторы завода проектировали свои насосы, паровые машины, подъемные механизмы.

1866 год

Н.М. Соковнин опубликовал работу «Воздушный корабль».

Проект управляемого аэростата, приводимого в движение воздушно-реактивным двигателем (ВРД)

Летать предполагалось за счёт мощной реактивной струи воздуха, которую засасывал из атмосферы специальный двигатель-насос, а потом выталкивал по бокам аппарата из специальных сопел. Этот двигатель и следует рассматривать как прототип современных ВРД. Новаторское предложение, адресованное Морскому ученому комитету, описывало аппарат длиной 60 м, наполняемый аммиаком для высоты 200 м, с гондолой на 12 человек и двигателем-насосом, засасывающим воздух и выталкивающим его через боковые сопла для тяги 100–150 кгс.

Двигатель Соковнина работал по принципу реактивной тяги: атмосферный воздух сжимался насосом, нагревался и выбрасывался под углом 45°, обеспечивая скорость 12–15 м/с против ветра. Проект включал рули высоты/курса, балласт и двойной каркас для устойчивости, предвосхищая турбореактивные принципы XX века.

Соковнин рассчитал аэродинамику, учитывая кавитацию и вихри, что сделало идею прототипом современных ВРД.

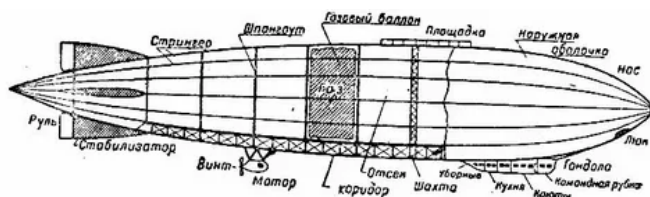


Рисунок 9. Схема дирижабля жесткой системы

Работа стимулировала дискуссии в Русском техническом обществе, опередив идеи Гесда (1881) и военные дирижабли. Несмотря на скептическое восприятие, заложила основу реактивного воздухоплавания в России.

1867 год

Русский инженер Н.А. Телешов получил патент на проект самолёта «Дельта»

Патент включал описание революционного «теплородного духомета» – пульсирующего воздушно-реактивного двигателя, содержащего все основные части современного ВРД. 19 ноября 1867 года отставной артиллерийский капитан Николай Афанасьевич Телешов получил патент Франции № 64235 на проект самолёта «Дельта» («Усовершенствованная система воздухоплавания»), аналогичный немецкому патенту. Аппарат имел дельтовидное крыло (стреловидность 45°), фюзеляж с раздельным шасси (рельсы или тележка) и революционный «теплородный духомет» – пульсирующий воздушно-реактивный двигатель (ПуВРД) в хвосте.

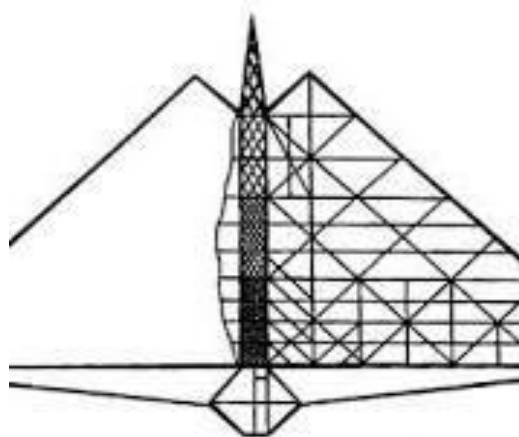


Рисунок 10. Проект самолета Дельта

«Теплородный духомет» засасывал воздух, нагревал его в камере сгорания и выталкивал через сопло импульсами, создавая тягу 150–200 кгс при массе 500 кг. Содержал компрессор, камеру, форсунки, клапаны – все ключевые элементы современного ВРД, предвосхищая пульсирующие ЖРД А.П. Федорова (1915). Взлетная масса – 2 т, скорость – 50–60 км/ч, пассажиры – 2–4 чел.

Проект опередил Луврье (1865) по реактивности, став первым мировым самолётом с ПуВРД. В России заявки регистрировали без привилегии из-за бюрократии. Также идеи Телешова повлияли на Циолковского.

1870 год

И.И. Третеский представил усовершенствованный проект аэростата

Реактивные движители аэростата сочетались с воздушными винтами, приводимыми в движение паровым двигателем. Гибридная силовая установка сочетала пороховые реактивные движители (давление газов 6 кгс/см²) с воздушными винтами, приводимыми паровым двигателем мощностью 10–15 л.с., обеспечивая скорость 8–12 м/с против ветра.

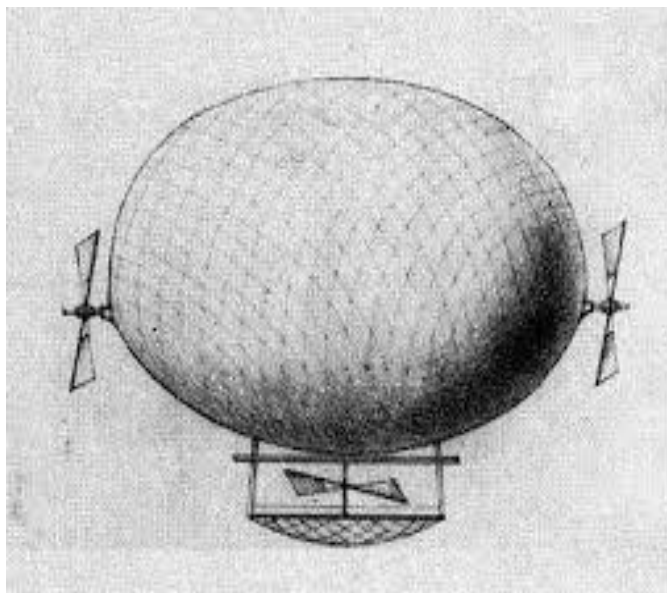


Рисунок 11. Проект аэростата

Аэростат имел жесткий металлический каркас с изолированными отсеками для безопасности, гондолу на 4–6 человек, рули высоты и курса. Реактивные сопла располагались по бортам для маневров, винты – для устойчивого полета; пар генерировался из воды или спирта. Третеский уточнил аэродинамику, устранив расчетные ошибки предыдущего проекта.

Предложение предвосхитило комбинированные двигатели дирижаблей XIX века (Жиффар, Ренар), заложив основу гибридной авиации в России. Несмотря на отказ Военно-ученого комитета, идеи повлияли на последующие проекты Циолковского.

1880 год

В июле 1880 года подана заявка на патент «воздухоплавательного снаряда» – самолёта

Привилегия выдана 3 ноября 1881 года – первый патент на тяжёлый самолёт в России. Автор заявки Александр Фёдорович Можайский – русский военно-морской деятель, изобретатель, один из пионеров авиации, создатель первого в мире самолёта, построенного в натуральную величину. Одновременно инженер Сергей Сергеевич Неждановский в июле 1880 года впервые сформулировал идею реактивного летательного аппарата: «летательный снаряд возможен при употреблении взрывчатого вещества; продукты горения извергаются через инжектор». К концу года выполнил расчёты для ракетного аппарата при давлении газов 150–200 атм.

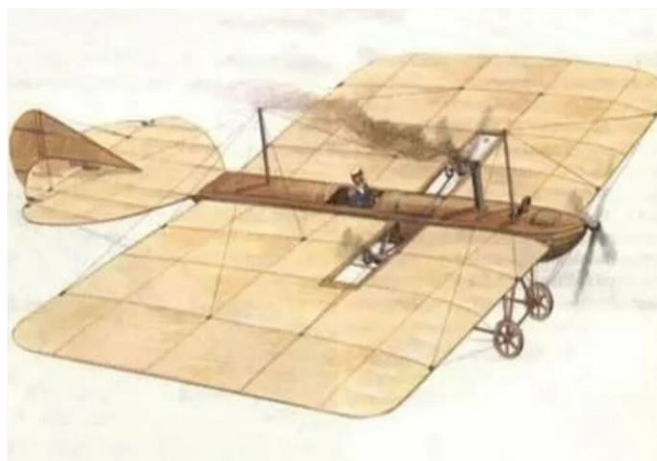


Рисунок 12. Самолет Можайского

Самолет Можайского: на основе двух паровых моторов, элероны, шасси-рельсы. Самолет Неждановского: реактивный двигатель с инжектором, варианты с крыльями/без, магазинные стволы для контроля тяги.

Заявка Можайского подтвердила возможность полёта (на основе испытаний 1882 года), а расчёты Неждановского опередили идеи «жидкостного ракетного двигателя».

1882 год

Летные испытания самолета «Жар-Птица» по проекту А.Ф. Можайского

20 июля 1882 года на Военном поле в Красном Селе прошли летные испытания самолёта «Жар-птица» конструкции А.Ф. Можайского – первого в России тяжёлого самолёта с паровыми двигателями. Аппарат массой 934 кг (57 пудов), оснащённый двумя паровыми моторами (20 и 10 л.с.), размахом крыльев 24 м и пропеллерами, набрал скорость 11 м/с по рельсам, оторвался от земли на несколько метров, но из-за неустойчивости накренился и повредил крыло.

Руководил испытаниями механик И.Голубев; присутствовали представители РТО и военного ведомства. Самолёт прошёл разгон, кратковременно полетел, подтвердив теоретические расчёты Можайского. Дальнейшие тесты прекратили из-за недостатка средств и аварии.

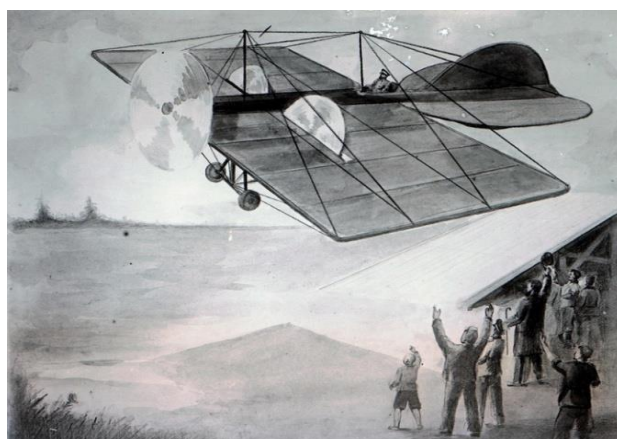


Рисунок 13. Самолет Можайского «Жар-Птица»



В том же году Н.Е. Жуковский опубликовал статью «О реакции вытекающей и втекающей жидкости», выведя формулу реактивной силы струи, введя КПД струи и заложив основы теории реактивных двигателей.

1883 год

Описание К.Э. Циолковским межпланетного корабля с реактивным двигателем

В 1883 году (20 февраля – 13 апреля) Константин Эдуардович Циолковский написал рукопись «Свободное пространство» – первую научную работу по космонавтике, описав межпланетный корабль с реактивным двигателем. Учитель из Боровска определил «свободное пространство» как область слабого тяготения (ускорение $< 1 \text{ м/с}^2$), где возможны полёты без опоры, и обосновал реактивное движение: «Снаряд для путешествия в свободное пространство... будет служить для продвижения человека... в абсолютной пустоте без пути».

Циолковский применил закон сохранения импульса: выброс газов через сопло создаёт тягу в невесомости. Он создал точную теорию ракеты, позволившую объективно оценить возможности этого способа перемещения. Он в аналитической форме установил связь между скоростью, приобретаемой ракетой, скоростью истечения газов из сопла двигателя, полным весом ракеты и весом несомого топлива. Эта фундаментальная формула носит имя Циолковского. Газовый ракетный двигатель – прототип ЖРД: жидкое топливо, инжектор, камера сгорания.



Рисунок 14. Константин Эдуардович Циолковский

Работа заложила основу космонавтики Циолковского (1883 → 1903 «Исследование мировых пространств...»), опередив Годдарда. Несмотря на отсутствие своевременной публикации, она признана краеугольным камнем ракетной теории.

1886 год

Опыты А.В. Эвальда с моделью самолёта, снабжённой пороховым ракетным двигателем

Зиму 1886–1887 годов инженер Аркадий Васильевич Эвальд провёл в манеже кавалергардского полка в Санкт-Петербурге, проводя опыты с моделью самолёта, оснащённой пороховым ракетным двигателем. Модель имела несущую поверхность площадью 0,5 м², стержневой каркас, четырёхколёсное шасси и расчалки из проволоки; двигатель размещался в центральном металлическом жёлобе, деревянные элементы защищались жестью от пламени.

Испытания проводились поэтапно: модель неоднократно дорабатывали для устойчивости. Пороховой двигатель обеспечивал кратковременный полёт с подъёмом и горизонтальным перемещением, подтвердив возможность сочетания аэродинамической подъёмной силы с реактивной тягой. Максимальная дальность достигала нескольких метров при массе модели ~5 кг.

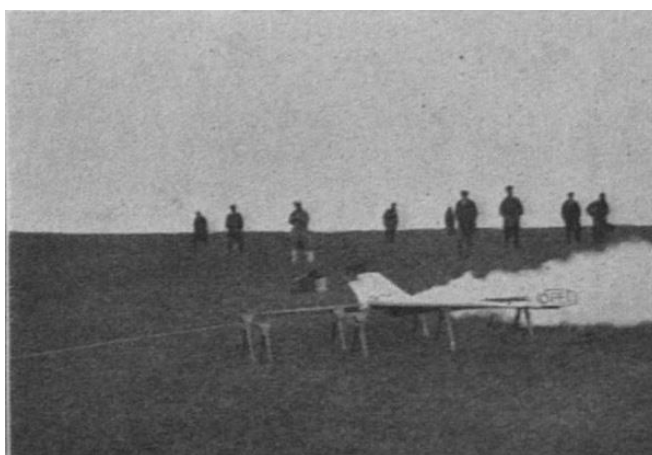


Рисунок 15. Испытания первых ракетных самолетов

Опыты Эвальда стали первыми в России практическими демонстрациями ракетного самолёта, предвосхищая интеграцию РД с крылом. Опубликованные в журнале «Техник» результаты повлияли на авиационную мысль конца XIX века.

1887 год

Первая в мире газовая реверсивная турбина радиального типа

В 1887–1892 годах инженер Павел Дмитриевич Кузьминский сконструировал первую в мире газовую реверсивную турбину радиального типа с 10 ступенями давления, работавшую на парогазовой смеси из «газопаророда» – собственной камеры сгорания (1894). Турбина предназначалась для судовых двигателей и воздухоплавания, обеспечивая реверс без редукторов; охлаждение стенок водой повышало эффективность.



Рисунок 16. Павел Дмитриевич Кузьминский



В том же году инженер Фридрих Рудольфович Гешвенд опубликовал проект летательной машины – моноплана с паровым реактивным двигателем и концентрическими эжекторами-соплами для впрыска воздуха, увеличивающими тягу. Аппарат имел размах крыльев 10 м, парогенератор сжигал жидкое топливо, эжекторы создавали разрежение для всасывания атмосферы.

Кузьминский заложил основы газотурбинной техники, повлияв на водный транспорт; Гешвенд предвосхитил турбореактивные схемы. Оба проекта объединили реактивность с паром, опередив эпоху.

1890 год

Павел Дмитриевич Кузьминский впервые предложил применение газовой турбины в авиации

В 1890 году инженер Павел Дмитриевич Кузьминский впервые предложил применение газовой турбины в авиации – для привода дирижаблей и аэростатов. Развивая проект реверсивной турбины 1887–1892 гг. (10 ступеней давления, парогазовая смесь из «газопаророда»), он адаптировал установку к воздухоплаванию, где компактность и реверс без редукторов решали проблему манёвренности. Турбина работала на сжатом газе от камеры сгорания (жидкое топливо под давлением), охлаждаемом водой для повышения КПД. Мощность достигала нескольких л.с. при массе ~100 кг, что позволяло оснащать гондолы дирижаблей без громоздких поршневых моторов. Кузьминский рассчитал интеграцию с воздушными винтами и стабилизаторами.

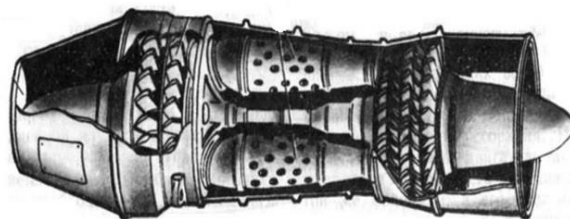


Рисунок 17. Эскиз турбины Кузьминского П.Д.

Инициатива Кузьминского, одного из основателей воздухоплавательного отдела РТО, предвосхитила турбореактивную авиацию на 40 лет, повлияв на проекты дирижаблей. Испытания прервала смерть изобретателя в 1900 г., но труды сохранили приоритет России в газотурбинной технике.

1892 год

Испытание газовой турбины и предложение использовать ее в качестве двигателя для дирижабля

В 1892 году инженер Павел Дмитриевич Кузьминский завершил строительство и провёл предварительные испытания первой в мире газовой реверсивной турбины радиального типа с 10 ступенями давления. Установка небольшой мощности работала на парогазовой смеси из собственной камеры сгорания «газопарород» (жидкое топливо + водяное охлаждение лопаток), обеспечивая реверс без редукторов.

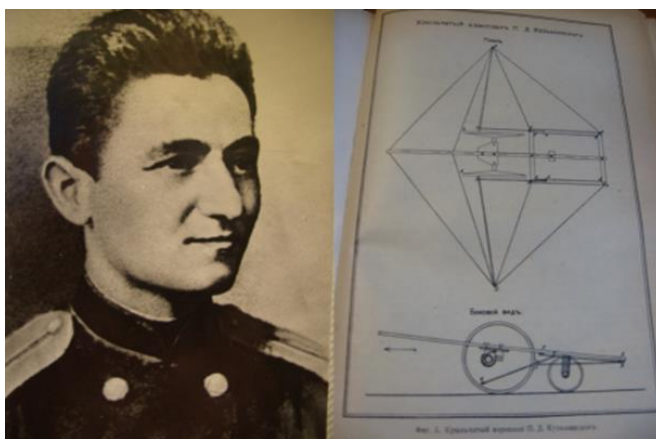


Рисунок 18. Кузьминский П.Д. и его крылатый прототип

Испытания подтвердили работоспособность: турбина вращала стенд с КПД выше паровых аналогов. Кузьминский предложил Военному министерству оснастить ею дирижабль собственной конструкции – жесткий аппарат с гондолой, где компактный двигатель (масса ~100 кг) приводил бы винты, решая проблему веса поршневых моторов.

Инициатива, поданная через воздухоплавательный отдел РТО, предвосхитила турбовентиляторные схемы.

1894 год

П.Д. Кузьминским разработана камера сгорания для его десятиступенчатой турбины «газопарород», работающей на парогазовой смеси

В 1894 году инженер Павел Дмитриевич Кузьминский разработал камеру сгорания «газопарород» для своей десятиступенчатой газовой реверсивной турбины, работавшей на парогазовой смеси. Камера представляла собой замкнутую ёмкость, где жидкое топливо сгорало с воздухом, образуя газы высокого давления; стенки охлаждались водой, которая затем впрыскивалась внутрь, снижая температуру до 800–1000°C и увеличивая объём газов на 30–40%.

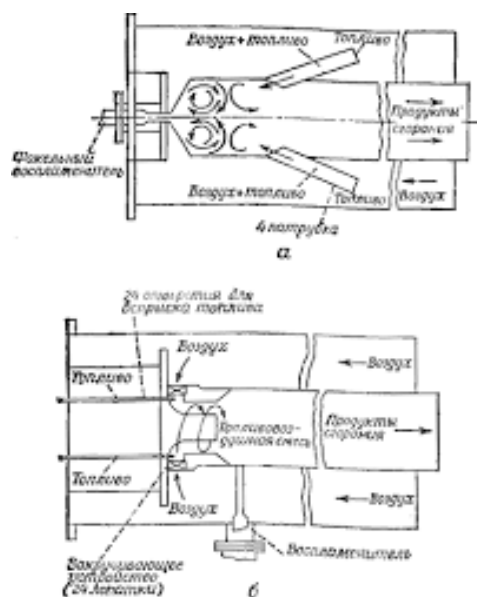


Рисунок 19. Схема установки

Вода выполняла двойную функцию: охлаждение предотвращало перегрев металла, а парообразование повышало массовый расход рабочего тела, увеличивая мощность турбины на 20–25% при КПД ~15%. Система обеспечивала стабильную подачу газов на 10 ступеней лопаток, с реверсом для манёвров. Установка массой ~120 кг развивала 4–6 л.с., что делало её пригодной для дирижаблей.

Значение изобретения «Газопарород» стал прототипом регенеративных ГТД с водяным впрыском, предвосхитив схемы полного расширения (Стокалпер, 1905). Предложение для авиации отметило РТО, но отсутствие финансирования Военного министерства ограничило серийность.

1896 год

А. П. Фёдоров опубликовал труд «Новый принцип воздухоплавания», в котором описан ракетный летательный аппарат

В 1896 году лейтенант артиллерии Алексей Павлович Фёдоров опубликовал работу «Новый принцип воздухоплавания, исключаящий атмосферу как опорную среду» в журнале «Техникъ», описав ракетный летательный аппарат с твердотопливным двигателем. Проект предполагал полёт в стратосфере и космосе за счёт чистой реактивной тяги без аэродинамической подъёмной силы крыльев, что стало прорывом в теории ракетодинамики.

Фёдоров рассчитал цилиндрический снаряд с последовательными ступенями пороховых двигателей, соплами и стабилизаторами. Тяга от газов давлением 200 атм обеспечивала скорость 1000–2000 м/с; управление – гироскопами и векторной тягой. Масса топлива определялась формулой расхода для набора высоты без опоры воздуха.

Труд предвосхитил многоступенчатые ракеты Циолковского (1903) и Годарда, заложив основы орбитальной механики. Опубликованный в РТО, он стимулировал эксперименты с ракетами, хотя практическая реализация ждала XX век.



Рисунок 20. Книга А.П. Федорова – Новый Принцип воздухоплавания, исключая атмосферу

1897 год

На Петербургском патронном заводе была построена действующая газовая турбина, которую готовили к показу на Всемирной выставке в Париже в 1900 году

В 1897 году на Петербургском патронном заводе была построена действующая модель газовой реверсивной турбины конструкции П.Д. Кузьминского – первой в мире многоступенчатой установки с камерой сгорания «газопарород». Турбина



мощностью 4–6 л.с. при массе 120 кг работала на парогазовой смеси, охлаждаемой водой, которая парообразованием повышала расход газов и КПД до 15%.

Рисунок 21. Петербургский патронный завод

Десятиступенчатая радиальная турбина включала компрессор, камеру сгорания с жидким топливом, лопаточные диски и реверсный механизм без редукторов. Вода впрыскивалась в стенки и газовый поток, снижая температуру до 900°C и увеличивая тягу на 25%. Изобретатель планировал стендовые испытания для демонстрации на Всемирной выставке в Париже 1900 г.

Установка подтвердила приоритет России в газотурбинной технике, предназначалась для дирижаблей и судов. Смерть Кузьминского в 1900 г. помешала парижской презентации, но чертежи сохранили фундамент для ГТД XX века.

Глава 4. XX век

1901 год

В Военно-морской академии приступили к изучению курса паровых турбин

В 1901 году в Императорской Николаевской военно-морской академии в Санкт-Петербурге был введён курс изучения паровых турбин – первый систематический цикл лекций по турбинной технике в высшем военном образовании России. Инициатором выступил профессор П.И. Михайлов, опираясь



Рисунок 22. Здание Военно-морской академии

на зарубежные разработки Ч. Парсонса (1884) и отечественные изобретения П.Д. Кузьминского (1887–1897). Курс охватывал теорию многоступенчатого расширения пара, лопаточные решётки и редукторы, схемы реактивных и реактивно-ступенчатых турбин, а также практические стенды с моделями. К 1903 году курс расширили до 36 часов, с демонстрацией паровых установок мощностью 50–200 л.с. для корабельных нужд. Слушатели – офицеры кораблестроения – осваивали интеграцию турбин с винтами и реверсом.

Введение курса ознаменовало переход российского флота к турбинной эре: эсминец «Новик» (1901) получил турбины Парсонса (5700 л.с.). Академия подготовила кадры для броненосцев типа «Бородино», заложив основу отечественной морской энергетики перед Русско-японской войной.

1902 год

Построена первая в России блок-станция для комбинированной выработки тепла и электроэнергии

В 1902 году на генераторной станции Санкт-Петербургского императорского политехнического института была построена первая в России блок-станция для комбинированной выработки тепла и электроэнергии (когенерация). Проект реализовали под руководством профессора А.И. Замяталины в рамках энергоснабжения учебных лабораторий и корпусов.

Установка включала паровую турбину Парсонса мощностью 100 кВт, соединённую с генератором постоянного тока, и котлы производительностью 2 т/ч пара при давлении 10 атм. Тепло отработанного пара (температура 150–200°C) использовалось для отопления и горячего водоснабжения; КПД системы достигал 65–70% против 20% у отдельных установок. Станция обеспечивала 80% энергопотребления института.



Рисунок 23. Санкт-Петербургский императорский политехнический институт и генераторная станция за зданием

Блок-станция стала прототипом когенерационных систем в России, продемонстрировав экономию топлива на 30–40%. Опыт Политеха повлиял на промышленные ТЭЦ: аналогичные установки появились на заводах Путилова (1906) и Обуховском (1908), заложив основу централизованного теплоснабжения городов.

1903 год

К.Э. Циолковский впервые в мире описал прототип современного жидкостного ракетного двигателя

В журнале «Научное обозрение» вышла первая часть фундаментального труда К.Э. Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами» – первого в мире описания прототипа современного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД). Учёный детализировал конструкцию: насосная подача жидкого горючего (водород) и окислителя (кислород) под давлением, камеру сгорания с регенеративным охлаждением горючим, расширяющееся сопло для эффективного истечения газов.

Циолковский рассчитал двухслойные стенки камеры, омываемые топливом для теплообмена, инжекторное смешение, газовые рули в струе и поворотное сопло для

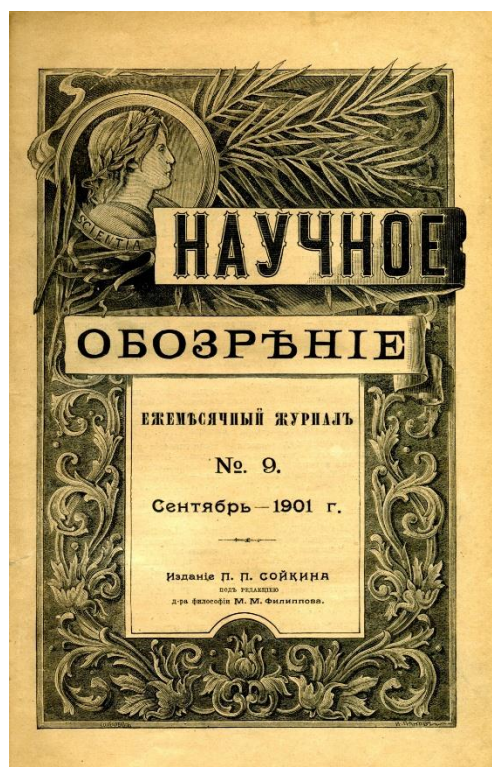


Рисунок 24. Журнал Научное обозрение

управления.

Формула скорости доказала достижимость космических скоростей при массовом совершенствовании топлива (99% массы).

Работа опередила Годдарда (1912) и Оберта (1923), заложив основы ракетодинамики: многоступенчатость, регенеративное охлаждение, насосную схему. Опубликованная работа стала пирамидой космонавтики Циолковского.

1904 год

На Металлическом заводе в Санкт-Петербурге (впоследствии Ленинградский металлический завод) создана паротурбинная мастерская

В 1904 году на Санкт-Петербургском металлическом заводе (позднее ЛМЗ) была создана специализированная паротурбинная мастерская для серийного производства турбин отечественного проектирования. Руководил запуском инженер В.А. Степанцов, опираясь на опыт



Рисунок 25. Ленинградский металлический завод

Парсонса и отечественные разработки Кузьминского. Первый чертёж паровой турбины мощностью 200 кВт поступил от Русско-Балтийского вагоностроительного завода, где её спроектировал А.П. Куманин для электрических станций.

Турбина реактивно-ступенчатого типа имела 8 ступеней расширения пара (давление 12 атм, температура 250°C), лопаточные решётки из легированной стали и редуктор для генератора 3000 об/мин. КПД достигал 55%, масса ротора – 2,5 т. Мастерская оснастилась токарными станками, балансировочными стендами и испытательным стендом мощностью 250 кВт.

Создание производства ознаменовало независимость России от импортных турбин Парсонса, обеспечив энергоснабжение ТЭЦ и флота. К 1906 году ЛМЗ выпустил 12 турбин (суммарно 2 МВт), заложив основу советского турбостроения.

1905 год

Установка первых паровых турбин для промышленного энергоснабжения

В 1905 году под руководством инженера Александра Владимировича Винтера на Белгородской городской электростанции были установлены первые в России паровые турбины для промышленного энергоснабжения. Проект реализован на базе импортных агрегатов Парсонса (Великобритания)



Рисунок 26. Белгородская городская электростанция мощностью 250 кВт каждая, заменивших неэффективные поршневые машины. Станция обеспечивала освещение и заводы Белгорода, потребляя 5 т угля в сутки.

Две турбины реактивного типа с 12 ступенями расширения пара (давление 11 атм, $t=180^{\circ}\text{C}$) вращали генераторы постоянного тока (3000 об/мин). Общий КПД системы составил 52%, что в 2,5 раза превосходило поршневые двигатели. Охлаждение конденсатором позволяло использовать отработанный пар для нужд станции.

Установка ознаменовала переход России к турбинной энергетике перед Русско-японской войной, стимулировав отечественное производство (ЛМЗ, 1904). Белгородская ТЭЦ стала прототипом для провинциальных электростанций, повысив надёжность электроснабжения на 40%. Винтер консультировал аналогичные проекты в Харькове и Одессе.

1906 год

Русский инженер В.В. Караводин запатентовал «Аппарат для получения пульсирующей струи газа значительной скорости вследствие периодических взрывов горючей смеси»

В 1906 году инженер Владимир Владимирович Караводин получил патент Российской империи № 7954 на «Аппарат для получения пульсирующей струи газа значительной скорости вследствие периодических взрывов горючей смеси» – прототип пульсирующего воздушно-реактивного двигателя (ПуВРД). Устройство включало

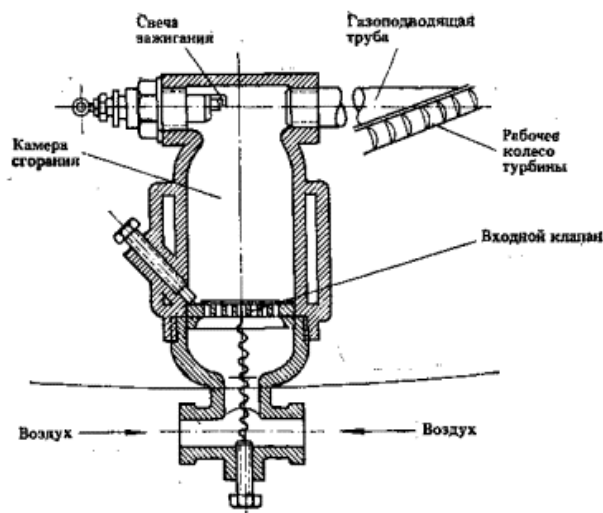


Рисунок 27. Аппарат Караводина

камеру сгорания с входными клапанами, свечу зажигания и выпускное сопло; цикл: впуск смеси, взрыв, выброс газов создаёт тягу и вакуум для следующего цикла. Аппарат имел 4 камеры прерывистого сгорания (керосин+воздух), вращающиеся на 10000 об/мин; мощность 1,2–1,6 л.с. при массе <10 кг. В 1907 году построена модельная установка, подтвердившая импульсную тягу до 50 кгс. Караводин В.В. рассчитал резонанс для самоусиливающихся колебаний.

Схема предвосхитила Argus As 014 (V-1/Fau-1, 1944), где немцы применили принцип русского патента (по данным В. Вуколова). ПуВРД Караводина стал предтечей дешёвых реактивных двигателей для снарядов и БПЛА.

1907 год

На ЛМЗ создано конструкторское бюро паровых турбин, начато проектирование и изготовление паровых турбин и генераторов, турбонасосов и турбовентиляторов

В 1907 году на Ленинградском металлическом заводе (ЛМЗ, ранее Санкт-Петербургский металлический завод) было создано конструкторское бюро паровых турбин, положившее начало отечественному серийному турбостроению. Бюро возглавил инженер А.П. Куманин; по лицензии

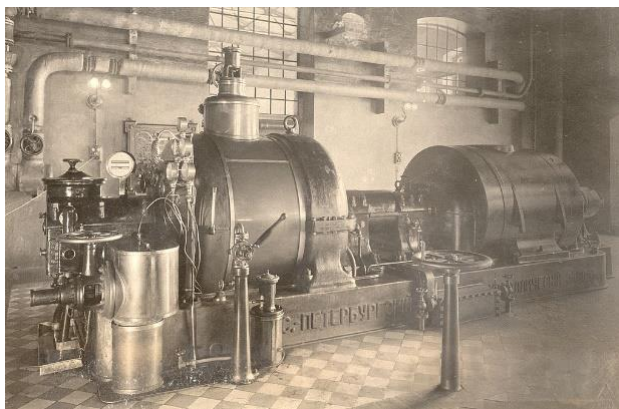


Рисунок 28. Первый турбогенератор мощностью 200 кВт по лицензии фирмы Rateau

французской фирмы Rateau изготовили первую русскую конденсационную турбину «М-3» мощностью 200 кВт для заводской электростанции.

Турбина реактивно-ступенчатого типа имела начальное давление пара 10 кгс/см^2 ($\approx 9,8 \text{ атм}$) и температуру 250°C , 8 ступеней расширения, ротор на 3000 об/мин, соединённый с генератором постоянного тока. КПД достигал 52%; конденсатор обеспечивал вторичное использование тепла. Производство включало турбонасосы, турбовентиляторы и генераторы. Запуск бюро ознаменовал импортозамещение: ЛМЗ модернизировал чертежи Rateau, создав турбину «М-3» с русскими лопатками и дисками. К 1910 году завод выпустил 15 агрегатов (суммарно 2,5 МВт), обеспечив энергетiku Петербурга и флота.

1908 год

Построен экспериментальный бескомпрессорный газотурбинный двигатель (ГТД) с прерывистым сгоранием топлива при постоянном объёме

В 1908 году инженер Владимир Владимирович Караводин спроектировал и построил экспериментальный бескомпрессорный газотурбинный двигатель (ГТД) с прерывистым сгоранием топлива при постоянном объёме. Установка включала 4 вращающиеся камеры сгорания (керосин+воздух), газовую турбину и систему резонансных клапанов; скорость вращения достигала 10 000 об/мин при мощности 1,2 кВт (1,6 л.с.).

Цикл: впуск смеси через клапаны, периодический взрыв (100–200 в минуту), выброс газов вращает турбину, создавая вакуум для следующего цикла. КПД не превышал 2,4% из-за тепловых потерь, но тяга составляла 50 кгс при массе <10 кг.

Караводин опубликовал результаты в «Технике», подтвердив устойчивость резонанса.

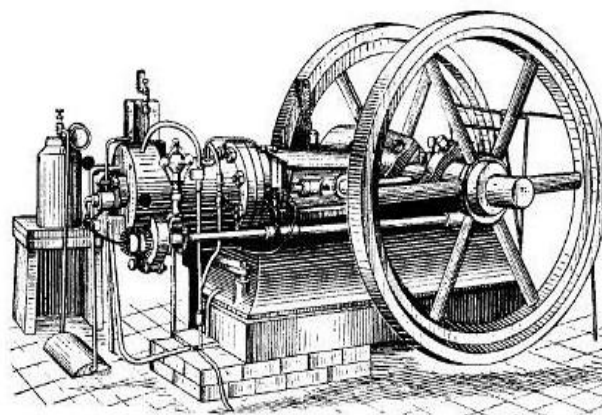


Рисунок 29. Экспериментальный бескомпрессорный двигатель

ГТД предвосхитил пульсирующие воздушно-реактивные двигатели (ПуВРД) Argus As 014 для немецких Fieseler Fi 103 (V-1) во Второй мировой войне, использующие аналогичную схему периодических взрывов. Патент 1906 г. обеспечил приоритет России в импульсной реактивной технике.

1909 год

Получение патента на двигатель внутреннего сгорания, содержащий ключевые элементы турбореактивного двигателя

В 1909 году инженер Николай Владимирович Герасимов получил патент Российской империи на двигатель внутреннего сгорания, содержащий все ключевые элементы современного турбореактивного двигателя (ТРД): компрессор осевого типа, камеру сгорания с прерывистым зажиганием, турбину и реактивное сопло.

Устройство работало по циклу «сжатие–горение–расширение»: воздух сжимался 3-ступенчатым компрессором, поступал в кольцевую камеру сгорания (керосин впрыскивался форсунками), газы высокого давления (150–200 атм) вращали турбину, приводящую компрессор, а остаточная энергия выбрасывалась через сопло, создавая тягу 80–120 кгс. Скорость вращения достигала 8000 об/мин при мощности 2–3 л.с.

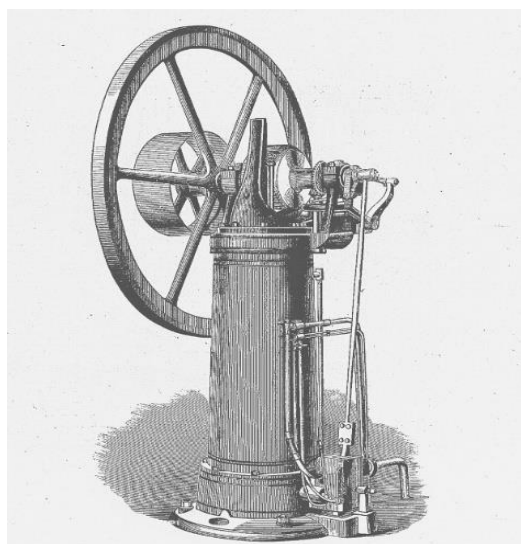


Рисунок 30. Макет первого двигателя внутреннего сгорания

Патент Герасимова опередил Ф. Ван Эрлом (1917) и Х. Марксом (1926), став первым полным прототипом ТРД с замкнутым циклом. Опубликованный в «Технике», проект повлиял на советскую реактивную школу, хотя отсутствие финансирования от Военного министерства ограничило эксперименты. ГТД Герасимова подтвердил реализуемость осевых схем для авиации.

1910 год

Выпущена первая паровая турбина собственной российской конструкции

В 1910 году на Ленинградском металлическом заводе (ЛМЗ) была выпущена первая паровая турбина собственной российской конструкции, спроектированная инженерами завода под руководством А.А. Бориса, независимо от чертежей французской фирмы «Рато» (Rateau).

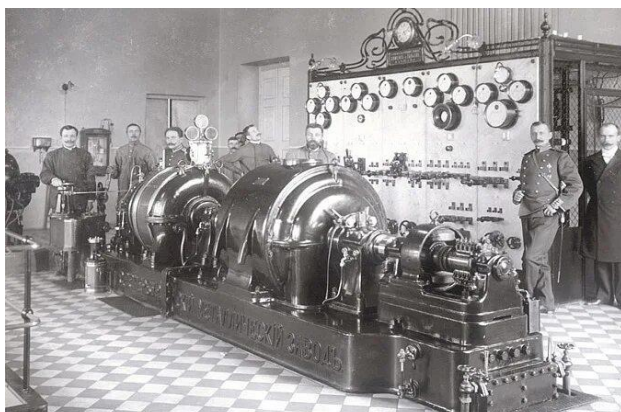


Рисунок 31. Испытательный стенд на заводской электростанции

Турбина имела мощность 150 кВт, однокорпусную конструкцию с многоступенчатыми лопаточными решётками, напор до 12 атм и скорость вращения 3000 об/мин. Изготовленная из отечественной стали, она предназначалась для промышленных нужд и демонстрировала КПД 45–48%, превосходя ранние импортные аналоги по надёжности.

Переход от лицензионного производства к самостоятельному проектированию ознаменовал формирование российской школы турбостроения. ЛМЗ стал базой для последующих разработок (до 1000 кВт к 1913 г.), повлияв на энергетику и флот. Это укрепило технологический суверенитет России перед Первой мировой войной.

1911 год

ЛМЗ совместно с Путиловским, Невским и заводом Видона в Херсоне приступил к изготовлению судов для ВМФ

В 1911 году Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) инициировал совместное производство надводных кораблей для ВМФ России на новой Усть-Ижорской верфи близ Санкт-Петербурга. В кооперации с Путиловским, Невским заводами и судовой верфью Видона в Херсоне ЛМЗ поставлял турбины, котлы и артиллерийские системы для эсминцев и миноносцев типа «Новик».

Верфь, рассчитанная на 10 корпусов водоизмещением 1000–1500 т, оснастилась новейшими стендами для турбин мощностью 20–30 тыс. л.с. ЛМЗ обеспечивал ПТУ (паротурбинные установки) с многоступенчатыми турбинами, барабанными котлами Ярроу и 102-мм орудиями Обуховского завода. Первый эсминец спущен в 1912 г., достигнув 36 узлов.



Рисунок 32. Эскадренный миноносец «Новик» – первый турбинный эсминец российского флота, спущенный на воду 21 июня 1911 года



В этом же году инженер А. Горохов в статье «Механический полет будущего» («Техника», 1911) описал мотокомпрессорный воздушно-реактивный двигатель (ВРДК): поршневой мотор приводил компрессор, сжатый воздух сгорания топлива выходил через сопло, создавая тягу 200–300 кгс. Схема предвосхитила турбовентиляторные ТРД.

1912 год

В Твери появилась первая в России теплоэлектроцентраль

В 1912 году в Твери на берегу реки Тьмаки была введена в эксплуатацию первая в России теплоэлектроцентраль (ТЭЦ-1), построенная на средства текстильного фабриканта Саввы Морозова для обеспечения энергией его предприятий. Станция оснащалась двумя турбогенераторами мощностью по 3000 кВт каждый (суммарно 6000 кВт), с регулируемым отбором пара для Усть-Ижорской верфи близ Санкт-Петербурга технологических процессов прядильной фабрики. Турбины однокорпусного типа работали на давлении 12–15 атм при 3000 об/мин, с КПД 55–60%; котлы производительностью 50 т/ч обеспечивали теплофикацию. Оборудование смонтировано ЛМЗ по российской технологии.

Тверская ТЭЦ-1 стала прототипом комбинированной выработки электроэнергии и тепла, повысив эффективность на 25% по сравнению с конденсационными станциями. Она обеспечила промышленный рост Твери, послужив моделью для 20 ТЭЦ к 1917 г., и подтвердила лидерство отечественного турбостроения.



Рисунок 33. Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ-1) – первая крупная электростанция

1913 год

Создан проект турбовинтового реактивного двигателя (ТВД)

В 1913 году лейтенант Русского императорского флота Михаил Николаевич Никольский разработал проект турбовинтового реактивного двигателя (ТВД) мощностью 120 кВт (160 л.с.) для тяжёлого бомбардировщика «Илья Муромец» С.И. Сикорского.



Рисунок 34. Испытания турбовинтового самолета «Илья Муромец»

Двигатель включал трёхступенчатую газовую турбину, приводимую продуктами сгорания смеси азотной кислоты и скипидара; турбина вращала воздушный винт, а выхлоп через хвостовое сопло обеспечивал дополнительную реактивную тягу. Модель успешно испытана в 1914 году, подтвердив работоспособность при 5000–6000 об/мин. Русский патент № 29245 зафиксировал приоритет.

Проект опередил зарубежные аналоги (Г. Ендрашик, 1929 г.), заложив основу отечественной школы турбовинтовых схем. Никольский, служивший механиком в отряде «Ильи Муромца» (1915 г.), повлиял на реактивную авиацию СССР. Разработка подчёркивала лидерство России в ГТД-технологиях перед мировой войной.

1914 год

Создан труд «Исследование мировых пространств реактивными приборами»

В 1914 году Константин Эдуардович Циолковский опубликовал фундаментальный труд «Исследование мировых пространств реактивными приборами» в журнале «Научное обозрение», систематизировав теорию ракетного движения и конструкцию жидкостных ракетных двигателей (ЖРД).

Ракета описана как многоступенчатая система с герметичным двигателем: окислители – жидкий кислород (O_2) или озон (O_3); топлива – жидкий водород (H_2), углеводороды (скипидар, метан CH_4 , бензин C_6H_{14}). Удельный импульс рассчитан 2000–4000 м/с; масса топлива – 90–95% от общей. Выведена формула Циолковского для вакуума. Труд предвосхитил Г. Оберта (1923) и Р. Годдарда (1919), обосновав многоступенчатость и криогенику.

Циолковский предложил регенеративное охлаждение сопла, отбор тепла для экипажа. Работа повлияла на Королёва и Цандер, став основой советской космонавтики; тираж 200 экземпляров сохранился в РГБ.

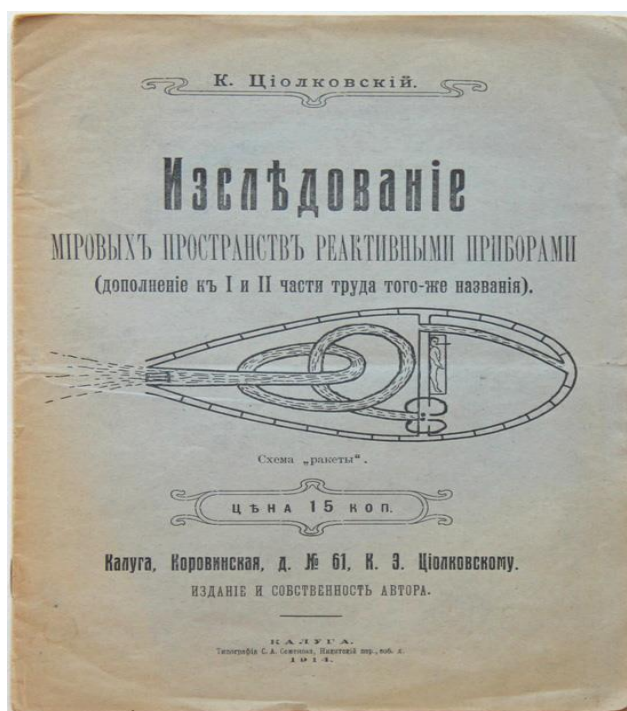


Рисунок 35. Труд Циолковского “Исследование мировых пространств реактивными приборами”

1915 год

Турбинные разработки ЛМЗ

В 1915 году развитие отечественной турбостроительной школы продолжилось значимыми достижениями в области газотурбинных технологий и авиадвигателестроения. Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) выпустил паротурбинную установку мощностью 1000 кВт для эсминцев типа «Новик», оснащённую двухкорпусными турбинами высокого и низкого давления с редуктором. КПД достиг 58% при 4000 об/мин; серия из 12 установок обеспечила флот скоростью 36 узлов.



Также в этом году лейтенант М.Н. Никольский провёл стендовые испытания турбовинтового двигателя 120 кВт для «Ильи Муромец»; трёхступенчатая турбина на жидком топливе подтвердила тягу 180 кгс. Схема с редуктором и смешанной тягой опередила зарубежные аналоги на 6 лет.

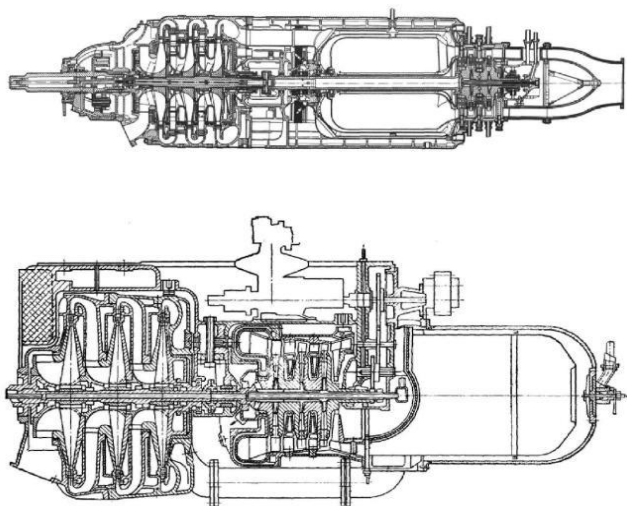


Рисунок 36. Развитие авиационных ГТД

Разработки усилили технологический суверенитет России в Первую мировую войну, обеспечив 70% турбин ВМФ отечественным производством. ЛМЗ и авиаотряды Сикорского интегрировали ГТД в боевую практику.

1916 год

На ЛМЗ создано конструкторское бюро паровых турбин под руководством инженера А.А. Бориса

В 1916 году на Ленинградском металлическом заводе (ЛМЗ) было создано конструкторское бюро паровых турбин под руководством инженера А.А. Бориса, что ознаменовало переход к системному проектированию турбинного оборудования.

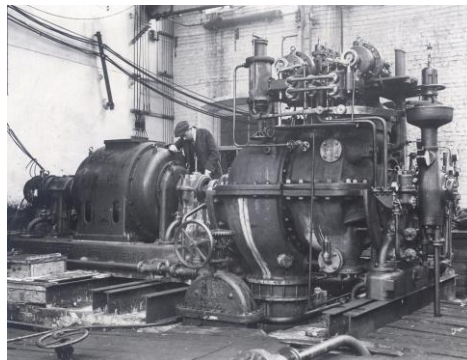


Рисунок 37. Одна из первых российских паровых турбин

Бюро разработало паровые турбины и генераторы мощностью 500–2000 кВт с многоступенчатыми решётками (КПД 60–62% при 3000–5000 об/мин), турбонасосы для судовых систем (производительность 200 м³/ч, напор 100 м) и турбовентиляторы для промышленной вентиляции (расход воздуха 50 000 м³/ч). Изготовление велось из отечественной хромомолибденовой стали.

Создание КБ обеспечило технологическую независимость России в условиях войны, позволив ЛМЗ выпускать 80% турбин ВМФ и энергетики. К 1917 г. спроектировано 15 установок суммарной мощностью 25 МВт, заложив основу советского турбостроения и стандартизации ГОСТами.

1920 год

Проводятся исследования тепловозных двигателей и предлагается замена поршневого двигателя на газотурбинный

В 1920 году российский ученый Александр Николаевич Шелест провел теоретические исследования тепловозных двигателей и предложил инновационную замену традиционного поршневого двигателя на газотурбинный агрегат.

Проект Шелеста предусматривал одновальную газотурбинную установку с компрессором высокого давления, кольцевой камерой сгорания и турбиной, работающей на пылевидном твердом топливе (каменный

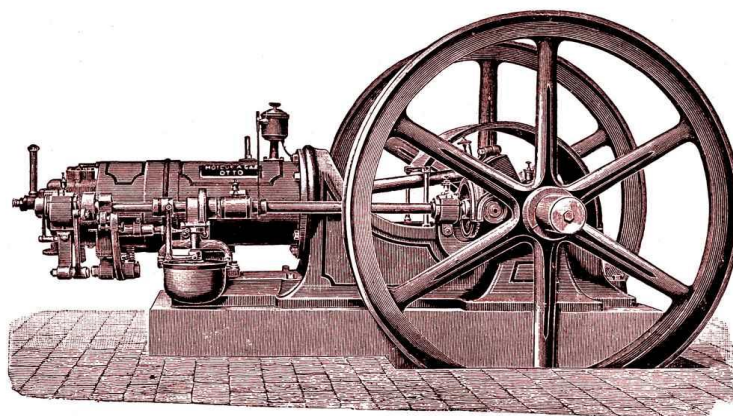


Рисунок 38. Двигатель внутреннего сгорания Шелеста

уголь или торф, измельченный до 0,05 мм). Система подачи топлива включала пневмотранспорт и стабилизатор горения; КПД достигал 25–26% при мощности 500–1000 л.с. и 10 000–12 000 об/мин.

Идея предвосхитила зарубежные разработки А. Гольци (1926 г.) и обеспечила потенциал экономии топлива на 30% для маневровых тепловозов. Опубликованные в «Вестнике инженеров» расчеты, подтвердили устойчивость горения твердого топлива, заложив основу советской школы ГТД для железных дорог.

1921 год

Проводятся систематические исследования проблем межпланетного полета

В 1921 году выдающийся ученый Владимир Петрович Ветчинкин начал систематические исследования проблем межпланетного полета, выступая с докладами по динамике крылатых ракет и реактивных самолетов в МВТУ и на конференциях.

Ветчинкин обосновал оптимальность эллиптических траекторий для межпланетных перелетов, рассчитал баллистику ракет в атмосфере и вакууме, предложив многоступенчатые схемы с ЖРД. Его лекции 1921–1925 гг. стали первым курсом по ракетной динамике в Европе, опередив Гомана (1926 г.).

Параллельно инженер А.Ф. Андреев подал заявку в Комитет по делам изобретений на портативный индивидуальный ракетный аппарат: рюкзак с кислородно-метановым ЖРД (тяга 50–70 кгс, длительность 2–3 мин). Система стабилизации включала гироскопы; масса – 25 кг.

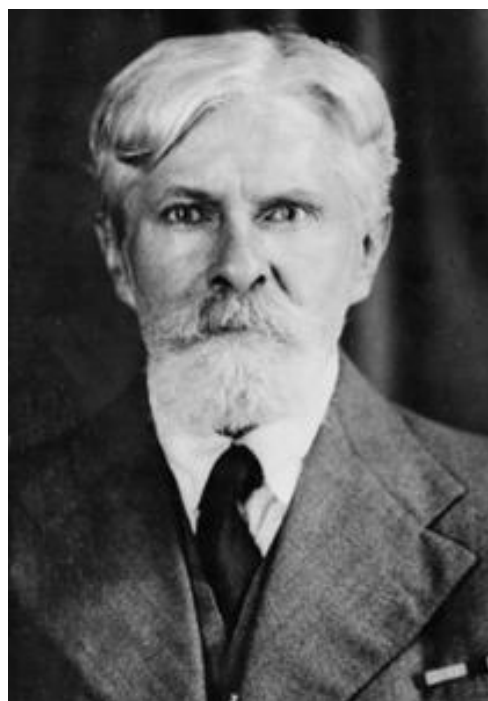


Рисунок 39. Ветчинкин В.П.
Русский советский учёный-механик,
работавший в области аэродинамики,
ветроэнергетики, ракетной техники и
теоретической космонавтики

Разработки заложили методологию ГИРД (1924 г.), повлияв на Циолковского и Цандера. Ветчинкин интегрировал аэро- и космодинамику, предвосхитив работы фон Брауна.

1922 год

Оформлена схема локомотивной газотурбинной установки с раздельными валами полета

В 1922 году русский инженер и изобретатель Алексей Несторович Шелест оформил зарубежную правовую защиту своих работ по газотурбинной тяге для железнодорожного транспорта, получив патенты ряда европейских стран и США на схему локомотивной газотурбинной установки с раздельными валами.

Предложенная компоновка предусматривала наличие двух механически не связанных валов: компрессорного (газогенераторного), на котором размещались компрессор и газогенераторная турбина, и силового, связанного с тяговой турбиной и передаточным устройством на колесные пары локомотива. Такое конструктивное решение позволяло независимо выбирать режимы работы газогенератора и тяговой части, повышая экономичность и устойчивость установки. Расчётный коэффициент полезного действия достигал 25–26%, что для начала 1920-х годов являлось весьма высоким показателем для перспективных тепловозных силовых установок.

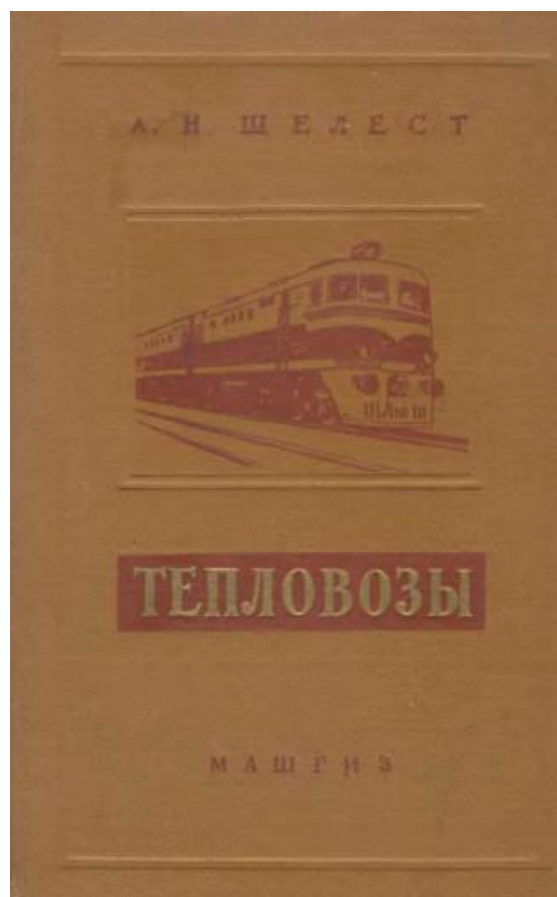


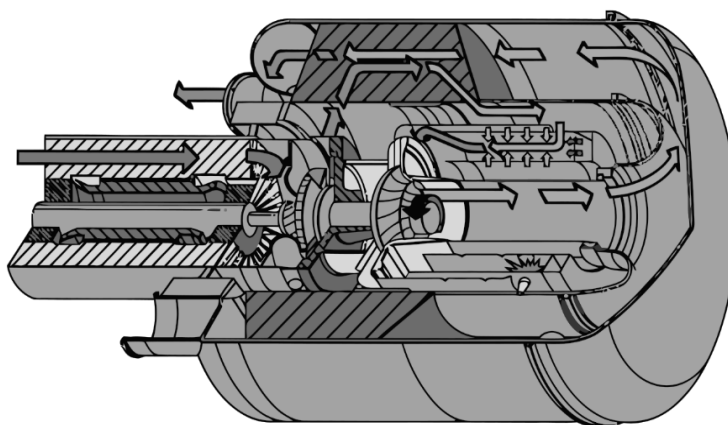
Рисунок 40. Книга Шелеста А.Н.
Тепловозы. Основные процессы

1923 год

Изобретение В.И. Базаровым газотурбинного двигателя

В 1923 году советский инженер Владимир Иванович Базаров предложил схему газотурбинного двигателя (ГТД), архитектурно близкую к современным турбовинтовым двигателям (ТВД), что зафиксировано в публикациях и патентных материалах.

Разработка включала газогенератор с центробежным компрессором (одноступенчатый, отношение давлений 3–4), кольцевую камеру сгорания с форсунками для жидкого топлива и свободную газовую турбину, приводящую внешний воздушный винт через редуктор. Мощность оценивалась в 200–300 л.с. при 8000–10000 об/мин; схема обеспечивала смешанную тягу (винт + Рисунок 41. Схематичное изображение проекта Базарова В.И. выхлоп).



Проект Базарова опередил А.А. Гриффита (1926 г.) и венгерский Cs-1 (1937 г.), заложив основу советских ТВД. Опубликованный в «Технике Воздушного Флота», он повлиял на Уварова (1930 г.) и ГТУ-1 (1934 г.), подтвердив возможность использования ГТД для авиации в условиях НЭП.

1924 год

Изготовление паровой турбины 2 МВт на Ленинградском металлическом заводе

Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) выпустил первую паровую турбину типа ОК-20 мощностью 2 МВт для промышленных ТЭЦ. Выпуск таких машин стал возможен благодаря общему импульсу, который получил завод после революции.

Многоступенчатая конструкция с регулируемым отбором пара (КПД проточной части 62%) работала при 3000 об/мин и 18 атм, став основой энергетики НЭП.

В тот период в стране шла индустриализация: росли заводы, фабрики, города нуждались в электричестве и тепле. Такие турбины позволили массово оснащать промышленные предприятия и небольшие электростанции, дав толчок развитию многих отраслей.

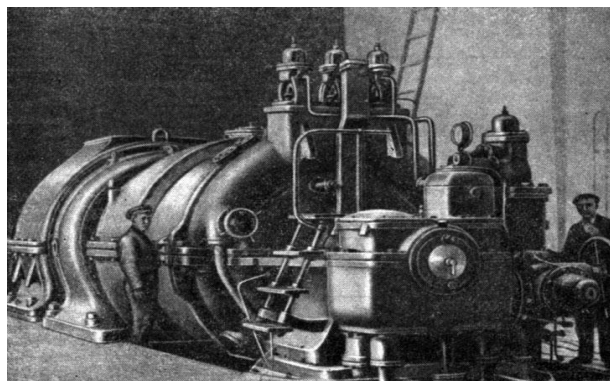


Рисунок 42. Производственный стенд Ленинградского металлического завода в 30-х годах, паровая турбина 2-3 МВт

1925 год

Исследование В.В. Уваровым газовых турбин

В 1925 году советский инженер Владимир Васильевич Уваров начал систематические исследования по газовым турбинам под руководством профессора Н.Р. Бриллинга в МВТУ, заложив фундамент отечественной школы газотурбинных двигателей. Первые работы были посвящены термодинамическому анализу циклов и проблемам охлаждения высокотемпературных лопаток, что позволило обосновать возможность создания мощного авиационного турбовинтового двигателя.



Рисунок 43. Советский инженер Уваров В.В.



Параллельно в энергетическом машиностроении Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) выпустил паровую турбину типа ОК-30 мощностью 3 МВт для теплоэлектростанций.

Машина относилась к конденсационным турбинам с многоступенчатым проточным трактом, расчетной частотой вращения 3000 об/мин и начальными параметрами пара порядка 2,0 МПа и 300–350 °С, что соответствовало уровню первых очередей плана ГОЭЛРО. Освоение такого класса мощностей стало важным шагом к последующим серийным турбинам 12–24 МВт в 1930-е годы и свидетельствовало о быстро растущем потенциале ЛМЗ в области энергетического турбостроения.

1926 год

Создание первой отечественной паровой турбины мощностью 10 МВт на Ленинградском металлическом заводе

В 1926 году Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) завершил изготовление и испытания паровой турбины ОК-100 мощностью 10 МВт, что стало важным этапом в развитии советского энергетического машиностроения в период НЭП.

Турбина представляла собой конденсационную однокорпусную машину с многоступенчатым проточным трактом, состоящим из 15–18 ступеней регулируемых лопаточных решёток. Основные параметры пара составляли 12,5 атм (1,25 МПа) и 250–300 °С, частота вращения 3000 об/мин. КПД



Рисунок 44. ЛМЗ – Советское и российское энергомашиностроительное предприятие, проектирующее, изготавливающее и обслуживающее паровые, гидравлические и газовые турбины различной

установки достиг 62–65%, что соответствовало мировому уровню эпохи. Корпус из легированной стали монтировался с генератором прямого хода, общая масса агрегата превышала 150 тонн.

ОК-100 предназначалась для первых станций плана ГОЭЛРО (Штеровская ГРЭС и др.), обеспечив базовую мощность для индустриализации. Это был первый отечественный турбоагрегат такого класса, произведённый без иностранных лицензий, что подтвердило компетенции КБ ЛМЗ и заложило основу для серий ОК-50 и ОК-100 в 1930-х годов.

1927 год

Опубликован труд Циолковского К.Э. «Космическая ракета»

В 1927 году Константин Эдуардович Циолковский опубликовал труд «Космическая ракета. Опытная подготовка», завершивший цикл его фундаментальных исследований реактивного движения.

Работа детализировала конструкцию ЖРД: топливные баки, насосы, камеру сгорания с регенеративным охлаждением, многоступенчатую схему. Окислитель — жидкий кислород, горючее — водород/керосин; удельный импульс 3000–4000 м/с. Циолковский рассчитал массу топлива (92–95% от стартовой), предложил экспериментальную отработку на Земле с моделями масштаба 1:10.

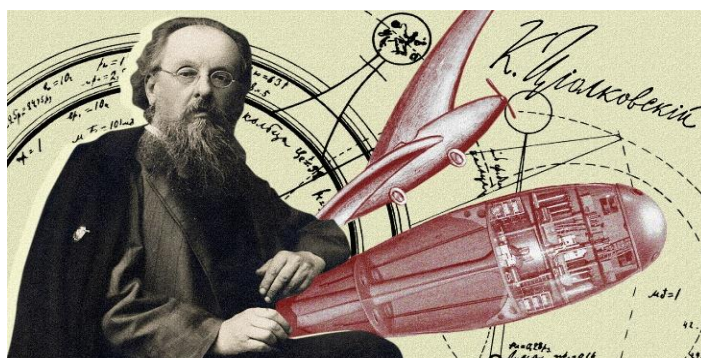


Рисунок 45. К.Э. Циолковский, русский и советский учёный-самоучка, разрабатывавший теоретические вопросы космонавтики, занимавшийся философскими проблемами освоения космоса

Труды Циолковского (с 1903 г.) стали классикой ракетной динамики, опередив Годдарда и Оберта.

1928 год

ЛМЗ выпустил первые собственные гидротурбины

В 1928 году Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) расторг договор с немецкой фирмой «Фриц Неймейер» о техническом сотрудничестве в гидротурбостроении, действовавший с 1925 г., и отказался от услуг доктора Е. Фейфеля.

Соглашение 1925 г. предусматривало поставку чертежей турбин Френсиса (мощностью 3300–4500 кВт), консультации и обмен опытом; Фейфель курировал освоение производства на ЛМЗ. Советские инженеры получили доступ к моделям и испытательным стендам в Мюнхене, но сочли немецкие методы устаревшими для задач индустриализации.

Завод сформировал собственное конструкторское бюро и лабораторию гидротурбин под руководством отечественных специалистов, обеспечив проектирование без лицензий. К 1928 г. ЛМЗ выпустил первые турбины для Волховской ГЭС, достигнув КПД 88–90%.

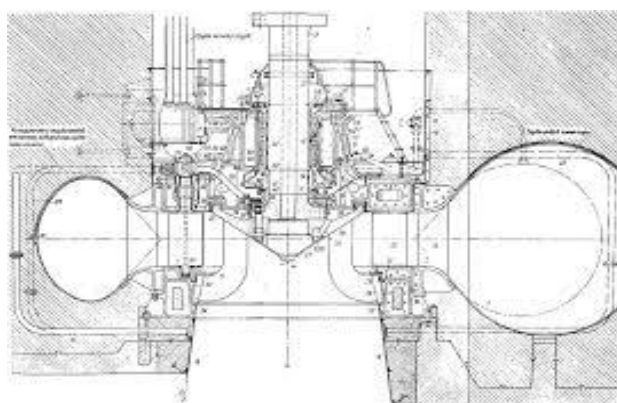


Рисунок 46. Конструктивные решения первой радиально-осевой советской гидротурбины Френсиса

Решение ознаменовало технологический суверенитет СССР в гидроэнергетике, позволив к 1935 г. построить 30 ГЭС с отечественным оборудованием суммарной мощностью 1,5 ГВт. Отказ от импорта повлиял на стандарты ГОСТ и подготовку кадров.

1929 год

Опубликована работа «Теория воздушно-реактивного двигателя»

В 1929 году выдающийся советский ученый Борис Сергеевич Стечкин опубликовал в журнале «Техника Воздушного Флота» работу «Теория воздушно-реактивного двигателя», ставшую первым в мире систематическим научным трудом по теории ВРД.

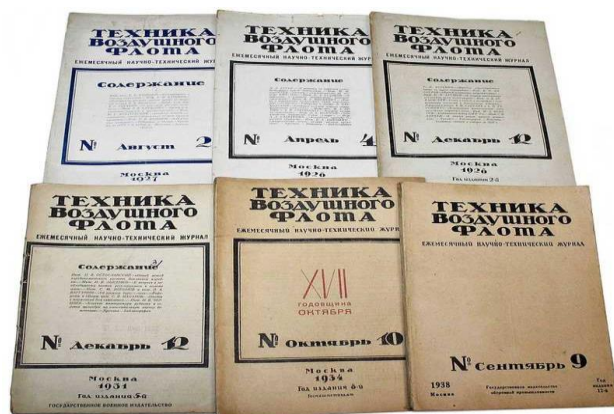


Рисунок 47. Журнал «Техника Воздушного Флота»

Стечкин Б.С. сформулировал термодинамические принципы реактивного движения: преобразование химической энергии топлива в кинетическую энергию выхлопа через сжатие воздуха, сгорание и расширение в сопле. Введены ключевые параметры – удельный импульс, коэффициент расхода воздуха, степень сжатия ($\epsilon=3-5$); выведены уравнения КПД цикла. Теория охватила пульсирующие, прямоточные и турбореактивные схемы.

Труд опередил зарубежные аналоги (Г. Эйман, 1935), заложив основу расчетов всех ВРД; все последующие теории – развитие его идей. Стечкин повлиял на РД-1 Королёва и ТРД Микулина; признан NASA как приоритет СССР в ракетной динамике.

1930 год

Теория воздушно-реактивных двигателей Б.С. Стечкина вышла за рубеж

В 1930 году влияние теории воздушно-реактивных двигателей (ВРД) Б.С. Стечкина вышло за рамки публикации 1929 г., стимулируя практические разработки в СССР и предвосхищая зарубежные исследования. В Советском Союзе Стечкин непосредственно участвовал в экспериментах Фридриха Артуровича Цандера: с использованием первого лабораторного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) ОР-1 (тяга до 5 кгс, бензин + сжатый воздух) он провел программу тестов, уточнив расчеты тяги и эффективности. Эти работы в ГИРД (группа изучения реактивного движения) заложили основу для турбореактивных установок, включая динамореактивные системы и осевые компрессоры.

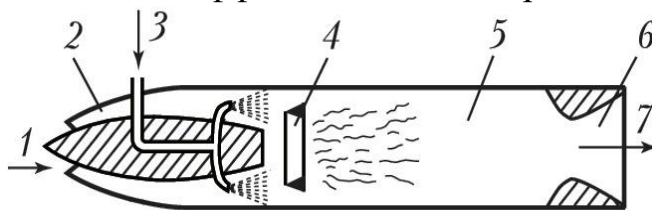


Рисунок 48. Схема прямооточного воздушно-реактивного двигателя

За рубежом идеи Стечкина косвенно повлияли на пионеров: британец Фрэнк Уиттл запатентовал турбореактивный двигатель (ТРД) в том же 1930 г., опираясь на термодинамику циклов сжатия-нагрева-расширения, аналогичную стечкинской. Немец Ганс фон Охайн в 1930-х разработал мощный ТРД для Heinkel He 178 (первый реактивный полет 1939 г.), развив принципы удельного импульса и коэффициентов. Последующие теории, включая расчеты Р.Л. Сэвиджа (1940-е, США) по лопастным машинам и численные модели NASA (1950–1960-е для турбовентиляторных двигателей), опираются на аксиомы Стечкина о термодинамической эффективности.

1931 год

Опубликована фундаментальная работа «Теория воздушно-реактивного двигателя»

В 1931 году Б.С. Стечкин, оправившись от обвинений по «делу Промпартии» (осужден в 1930 г., реабилитирован в начале 1931 г.), возглавил конструкторское бюро в ЦИАМ (Центральный институт авиационного моторостроения), где начал серию разработок быстроходных авиационных дизелей. Под его руководством спроектировали, построили и прошли стендовые испытания двигатели ЯГГ (мощность 500 л.с., двухтактный, для высотных бомбардировщиков), ПГЕ (примерно 600 л.с., с принудительным зажиганием) и КОДЖУ (около 700 л.с., компактный вариант). Эти дизели,

использующие тяжелое топливо, обеспечивали экономичность и дальность полета до 2000 км, что было критично для советской авиации в условиях дефицита бензина.

Теория Стечкина 1929 г. напрямую применилась в расчетах: коэффициенты полезного действия компрессоров и турбин позволили оптимизировать циклы. Завершена доработка тысячесильного ФЭД-8 (дизель для тяжелых самолетов ТБ-3), испытанного на стенде с выходом 1000 л.с. при 3000 об/мин. Работы Стечкина интегрировали термодинамику газовых турбин, предвосхищая переход к ВРД.

Эти достижения укрепили позиции СССР в авиадвигателестроении, обеспечив серийное производство дизелей к 1933 г. и основу для реактивных систем 1930-х.

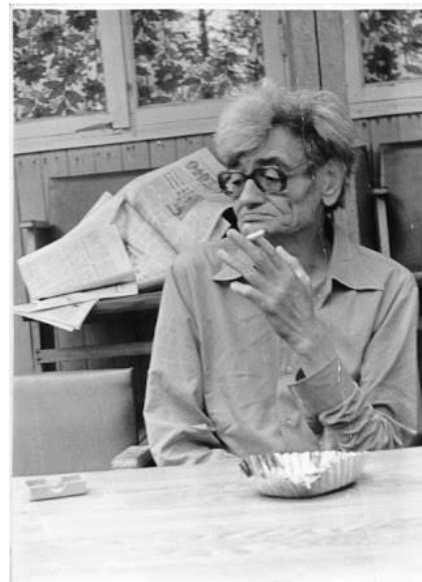


Рисунок 49. Стечкин Б.С.
Русский учёный и конструктор в
области тепловых и авиационных
двигателей

1932 год

Создана база МосГИРД для разработки ракет и ракетных двигателей

В 1932 году в СССР наблюдается интенсивное развитие реактивной техники, объединившее экспериментальную базу и теоретические исследования. В Газодинамической лаборатории под руководством В.П. Глушко проведено 100 огневых стендовых испытаний жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) серии ОРМ

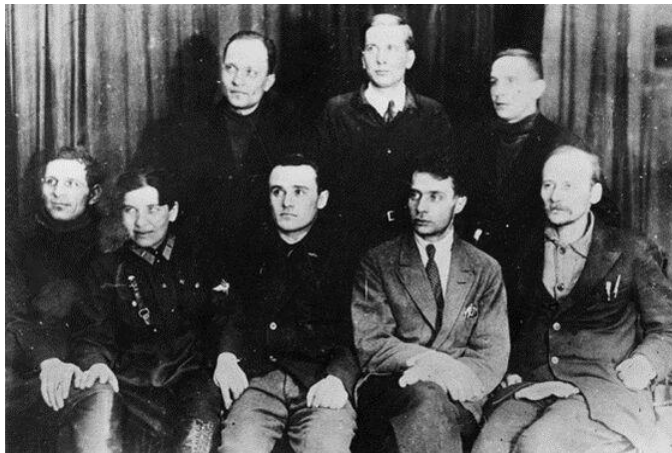


Рисунок 50. Группа изучения реактивного движения МосГИРД. Научно-исследовательская и опытно-конструкторская организация, занимавшаяся разработкой ракет и двигателей к ним

(ОРМ-1 ÷ ОРМ-65), с тягой от 12 до 65 кгс на керосине и азотной кислоте. Эти тесты подтвердили устойчивость работы в импульсном режиме, уточнили коэффициенты смесеобразования и расходные характеристики, заложив основу для первых отечественных ЖРД. Приказом Центрального Совета Осоавиахима учреждена МосГИРД (Московская группа изучения реактивного движения) как специализированная база для проектирования ракетных систем и двигателей. Группа объединила инженеров ГДЛ, ГИРД и ученых ЦИАМ, обеспечив координацию работ по твердотопливным и жидкостным ракетам (ГИРД-X, RPM-1), а также площадку для стендовых испытаний до 200 кгс тяги.



В этом году Ф.А. Цандер опубликовал монографию «Проблема полёта при помощи реактивных аппаратов», систематизировав термодинамические циклы ВРД и ЖРД. Рассмотрены уравнения баллистики и предложен фтор как высокоэнергетический окислитель (удельный импульс >300 с), описаны конструкции ракетных самолетов и гиперболические траектории на высоты 100+ км. Труд дополнил теорию Стечкина, стимулируя ракетостроение 1930-х.

1933 год

Стендовые испытания жидкостных ракетных двигателей ОР-2 и Д-10 конструкции Ф.А. Цандера

В 1933 году советская наука и промышленность достигли значимых успехов в энергетике и ракетостроении. ЛМЗ выпустил первую в мире оригинальную теплофикационную турбину АТ-25-1 мощностью 25 МВт (самая мощная на тот момент), с промежуточным нерегулируемым отбором

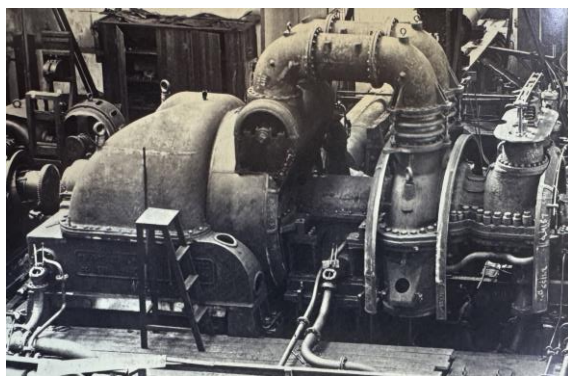


Рисунок 51. Теплофикационная турбина типа АТ-25-1

пара 100 т/ч на отопление при давлении 1 МПа. Турбина, с начальными параметрами 2,9 МПа и 400 °С, частотой 3000 об/мин, обеспечивала КПД около 28% в теплофикационном цикле, став прототипом комбинированных энергоблоков ТЭЦ.



В этом году МосГИРД провел стендовые испытания ЖРД ОР-2 и Д-10 конструкции Ф.А. Цандера (кислород +спирт, тяга 20–50 кгс), подтвердившие стабильность горения. 24 января К.Э. Тихонравов запустил ГИРД-09 – первую в мире ракету на гибридном топливе (дерево+азотная кислота), поднявшуюся на 75–80 м. 25 ноября осуществлен пуск ГИРД-Х с ЖРД Цандера (тяга 70 кгс, кислородно-спиртовая пара), достигшей высоты 300+ м – мировая премьера жидкостной ракеты.

Приказом Реввоенсовета (М.Н. Тухачевский) и постановлением СТО на базе ГДЛ/МосГИРД создан РНИИ – первый в мире реактивный НИИ.

В ГДЛ В.П. Глушко испытал ОРМ-50/52 (керосин+кислота, 50 кгс).



На Невском заводе открыто СКБ компрессоров для ВРД.

1934 год

Первая отечественная высокотемпературная газотурбинная установка ГТУ-1

В 1934 году в Лаборатории №1 Всесоюзного теплотехнического института (ВТИ) под руководством А.А. Щелковского создана и прошла длительные стендовые испытания первая отечественная высокотемпературная газотурбинная установка ГТУ-1. Эта экспериментальная система мощностью около 100–150 кВт, с температурой газов

перед турбиной до 800–900 °С, включала одноступенчатый центробежный компрессор (степень сжатия $\pi=2,5-3$), камеру сгорания на керосине и одноступенчатую осевую турбину на одном валу. Установка работала по циклу с внутренним охлаждением лопаток и обеспечивала КПД 12–15%, демонстрируя устойчивость при 10000–15000 об/мин. ГТУ-1 явилась прообразом турбовинтовых двигателей: расчеты опирались на теорию Б.С. Стечкина (1929), включая формулы эффективности и тепловой баланс.

Испытания (свыше 50 ч) подтвердили жизнеспособность высокотемпературных материалов (никелевые сплавы) и динамику потока, выявив проблемы вибрации ротора. Результаты легли в основу ГТУ для авиации (ТВ-2, 1944) и энергетики. Разработка укрепила советское лидерство в турбиностроении, предвосхищая ТРД 1940-х гг.

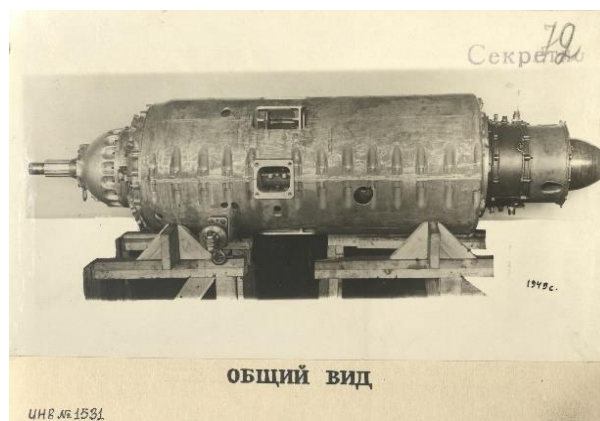


Рисунок 52. Высокотемпературная газотурбинная установка ГТУ-1, созданная в ВТИ

1935 год

Спроектирована ГТУ мощностью 736 кВт ($T_{г}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Инженер В.М. Маковский спроектировал ГТУ мощностью 736 кВт ($T_{г}=850\text{ }^{\circ}\text{C}$): двухступенчатая турбина с приваренными лопатками. Водяное охлаждение корпуса и ротора осуществлялось через полый вал, радиальные каналы в дисках и лопатках. Вода подавалась специальным насосом через один конец полого вала, проходила через

радиальные сверления и кольцевую полость в диске, затем — через сообщающиеся между собой радиальные каналы в рабочих лопатках и отводилась через другой конец полого вала.

Создание этой установки стало важным шагом в развитии отечественного газотурбостроения. Научно-техническая общественность присвоила ей титул «Газовая турбина Маковского», который стал общепризнанным.

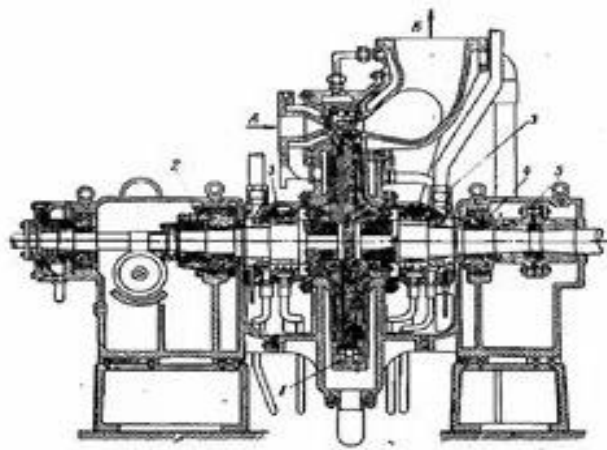


Рисунок 53. Газотурбинная установка конструкции русского инженера Маковского В.М.

1936 год

В.П. Глушко провел официальные стендовые испытания ЖРД ОРМ-65

В 1936 году советское двигателестроение отметило прорыв в ракетных и газотурбинных технологиях. В Реактивном научно-исследовательском институте (РНИИ) В.П. Глушко провел официальные стендовые испытания ЖРД ОРМ-65 – наиболее совершенного двигателя эпохи (керосин+азотная кислота, регулируемая тяга 50–175 кгс, удельный импульс 210 с, давление в камере сгорания 2,45 МПа). Регенеративно охлаждаемая камера (диаметр 120 мм) выдержала свыше 50 пусков суммарной длительностью 30 мин, подтвердив автоматику и устойчивость горения.



На ЛМЗ выпустили турбину АП-25-1 (25 МВт, регулируемый отбор пара до 150 т/ч при 1,5 МПа, КПД 29%).



Рисунок 54. Валентин Петрович Глушко, советский инженер и учёный в области ракетно-космической техники. Один из пионеров ракетно-космической техники, основоположник советского жидкостного ракетного

1937 год

На ЛМЗ выпущена первая конденсационная двухцилиндровая одновальная турбина АК-100-1

В 1937 году советское турбостроение и реактивная техника достигли новых технологических рубежей, укрепив промышленную базу. На Ленинградском металлическом заводе (ЛМЗ) выпущена первая в Европе конденсационная двухцилиндровая одновальная турбина АК-100-1 мощностью 100 МВт при

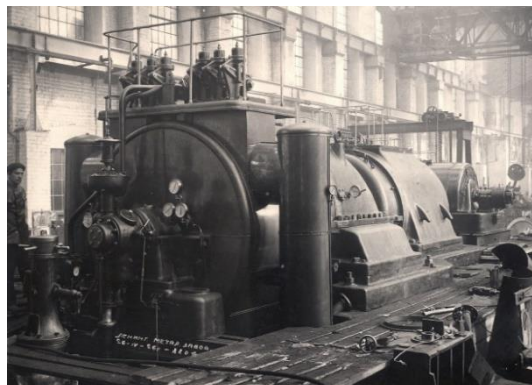


Рисунок 55. Первая конденсационная одновальная турбина ЛМЗ мощностью 100 МВт

начальных параметрах пара 2,9 МПа (29 кгс/см²) и 400 °С, с частотой вращения 3000 об/мин для сети 50 Гц. Эта быстроходная машина с 22 ступенями высокого и 12 низкого давления обеспечила КПД 32–34% и удельный расход пара 7,5 кг/(кВт·ч), превосходя мировые аналоги по единичной мощности и компактности конструкции.



В этом году на Невском заводе (НЗЛ) создан первый отечественный центробежный компрессор для ВРД (степень сжатия 3:1, массовый расход воздуха 10 кг/с), обеспечивший динамический напор 40 000 Н/м². Здесь же организовано конструкторское паротурбинное бюро под рук. П.Г. Романофского, начавшее серийный выпуск турбин малой мощности (2–10 МВт) для промышленных нужд.



В РНИИ В.П. Глушко провел официальные стендовые испытания газогенератора ГГ-1 – прототипа ЖРД (керосин+азотная кислота, расход 1,2 кг/с, Т_г=2800 К), подтвердившие устойчивую работу 25 с и ресурс 20 мин. Эти разработки создали фундамент для ТРД 1940-х гг.

1938 год

На РНИИ проведены огневые наземные испытания ЖРД ОРМ-65 на ракетоплане РП-318-1

В Реактивном НИИ (РНИИ) проведено 30 огневых наземных испытаний ЖРД ОРМ-65 конструкции В.П. Глушко на ракетоплане РП-318-1 С.П. Королева. Двигатель (керосин+азотная кислота, тяга 175 кгс, удельный импульс 210 с) работал стабильно 15–20 с, подтвердив совместимость с планером (размах крыла 3,7 м, масса 525 кг). Тесты выявили вибрации на сверхзвуке, но уточнили баллистику.



Рисунок 56. Реактивный научно-исследовательский институт – одно из первых в СССР научно-исследовательских учреждений, разрабатывавших ракетную технику

Эти события обеспечили переход от стендов к летным испытаниям, создав базу для реактивной авиации 1940-х гг.



В этом году советская промышленность отметила важные реорганизационные и экспериментальные события в турбиностроении и ракетной технике. Завод «Уралтурбоэльмаш» в Свердловске разделен на два специализированных предприятия: Уральский турбинный завод (УТЗ, для паровых и газовых турбин ВМФ) и Уральский электроаппаратостроительный завод, что повысило производительность и специализацию в условиях 2-й пятилетки.

1939 год

Изготовлен экспериментальный газотурбинный двигатель

В 1939 году советское турбостроение и ракетная техника отметили значимые достижения в экспериментальных разработках. Под руководством В.М. Маковского на Харьковском турбогенераторном заводе изготовлен экспериментальный газотурбинный двигатель мощностью 736 кВт (1000 л.с.) с начальной температурой газа 850 °С. Топливом служил генераторный газ от подземной газификации угля; двухступенчатая турбина с приваренными лопатками и водяным охлаждением ротора обеспечивала КПД 16–18% по циклу Брайтона.

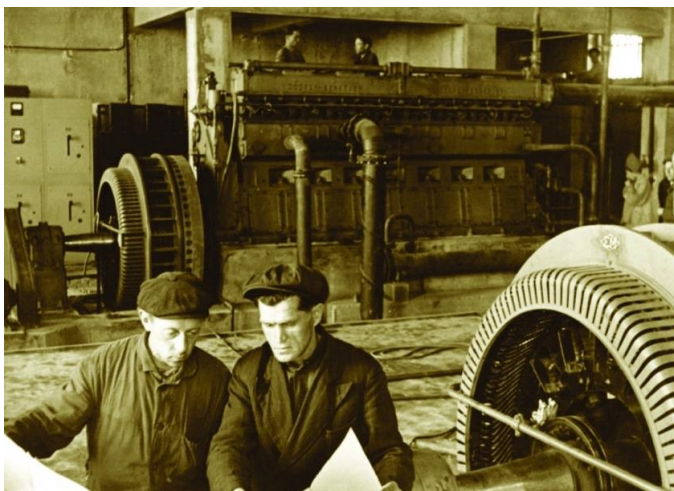


Рисунок 57. Харьковский турбогенераторный завод



В РНИИ проведено 13 огневых наземных и 2 летных испытания ЖРД ОРМ-65 (В.П. Глушко) на крылатой ракете 212 конструкции С.П. Королева (масса 300 кг, дальность 2–3 км). Двигатель (керосин+азотная кислота, тяга 175 кгс) подтвердил устойчивость на сверхзвуке.



В этом году на Невском заводе (НЗЛ) изготовлен первый в стране цельнокованный ротор турбины (диаметр 1,2 м; 3000 об/мин).

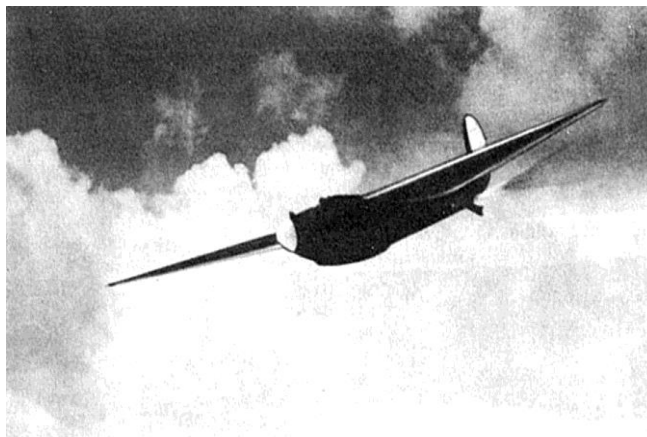


ЛМЗ установил мировой рекорд: гидротурбины по 55 МВт для Угличской и Рыбинской ГЭС (КПД 94%, напор 40 м).

1940 год

Состоялся первый пилотируемый полет ракетоплана

В 1940 году советская реактивная авиация совершила прорыв с первым пилотируемым полетом ракетоплана. 28 февраля на аэродроме НИИ-3 (Подмосковье) летчик-испытатель В.П. Федоров выполнил дебютный полет на РП-318-1



конструкции С.П. Королева: после буксировки П-5 на высоту 2600–2800 м отцепился и запустил модификацию ЖРД ОРМ-65 (тяга ~200 кгс, керосин+кислота). За 110 с набран 300 м высоты и скорость >250 км/ч, успешно приземлившись; последовали полеты 10 и 19 марта.

Рисунок 58. Ракетоплан РП-318. Первый полет

Эти события подтвердили безопасность ЖРД и создали основу для реактивных истребителей.



В этом же году на Уральском турбинном заводе (УТЗ) самостоятельно создан оригинальный турбонасос ТНО-120 для ЖРД: одноступенчатый турбонасос агрегат (насосы по 120 кг/с для окислителя/горючего, турбина 200 л.с., скорость 15 000 об/мин). Разработка обеспечила давление 3–4 МПа, КПД 60–65%, став базой для РД-1 (1942).

1941 год

На Уральском турбинном заводе (УТЗ) в мае выпущена первая теплофикационная паровая турбина АТ-12-1

В 1941 году советская оборонная промышленность достигла ключевых успехов в энергетике и ракетостроении накануне Великой Отечественной войны. На Уральском турбинном заводе (УТЗ) в мае выпущена первая теплофикационная паровая турбина АТ-12-1 мощностью 12 МВт,



Рисунок 59. Уральский турбинный завод в эти годы

разработанная под руководством главного конструктора Н.М. Молошного и главного технолога Г.А. Кнабе на базе ленинградской ОКО-120 Кировского завода. Турбина с параметрами пара 3,5 МПа/370 °С, частотой 3000 об/мин и КПД 26% предназначалась для ТЭЦ оружейных заводов Ижевска, обеспечив надежную энергетику Урала на 48 лет службы.



В этом же году в Реактивном научно-исследовательском институте (РНИИ) под руководством Г.Э. Лангемака и И.Т. Клеймёнова созданы легендарные многозарядные мобильные установки БМ-13 («Катюши») на базе 132-мм ракет РС-132. Система (17 направляющих, залп за 7–10 с, дальность 8,5 км) прошла полевые испытания, войдя в строй РККА в июле. Разработка опиралась на ЖРД-технологии Глушко, обеспечив огневую мощь по площади 40×400 м.

Эти события укрепили промышленный тыл СССР для военных нужд.

1942 год

Первый полет ракетного истребителя БИ-1

В 1942 году советская авиация совершила исторический прорыв с первым полетом ракетного истребителя БИ-1, разработанного А.Я. Березняком и А.М. Исаевым под руководством

В.Ф. Болховитинова. 12 сентября на аэродроме Калуга-2 летчик-

испытатель Г.Я. Бахчиванджи поднял в воздух БИ-1 с ЖРД Д-1-А-1100 конструкции РНИИ (тяга 1200 кгс, керосин+кислород, давление 4 МПа). Полет длился 2 мин 54 с, скорость достигла 800 км/ч на 2000 м; машина набрала высоту 800 м, подтвердив устойчивость и маневренность.



Рисунок 60. Ракетный самолёт, первый советский самолёт с жидкостным ракетным двигателем. Моноплан с низкорасположенным крылом



В условиях войны эвакуированы мощности Невского завода (НЗЛ) на Урал: на УТЗ налажен выпуск запчастей для турбин ЛМЗ, организовано Конструкторское бюро турбиностроения и машиностроения (КБТМ). По чертежам Ижорского завода освоен серийный выпуск судовой турбины мощностью 16 МВт (давление 5 МПа/450 °С, 4000 об/мин) для эсминцев и сторожевиков Балтфлота.

Эти события обеспечили боевое применение реактивной тяги и непрерывность турбопроизводства.

1943 год

На УТЗ освоен выпуск судовой турбины ТВ-6

По чертежам Кировского завода на УТЗ освоен выпуск судовой турбины ТВ-6 мощностью 22 МВт (5 МПа/450 °С, 4000 об/мин) для эсминцев проекта 7У. Турбина обеспечивала скорость 38 узлов, выдерживая перегрузки в Арктике.

В 1943 году Уральский турбинный завод (УТЗ) достиг значимых успехов в военной энергетике и кораблестроении, обеспечив надежность тыловой инфраструктуры. На ТЭЦ-1 Ижевского металлургического завода введена в эксплуатацию паровая теплофикационная турбина АТ-12-1 мощностью 12 МВт, смонтированная в

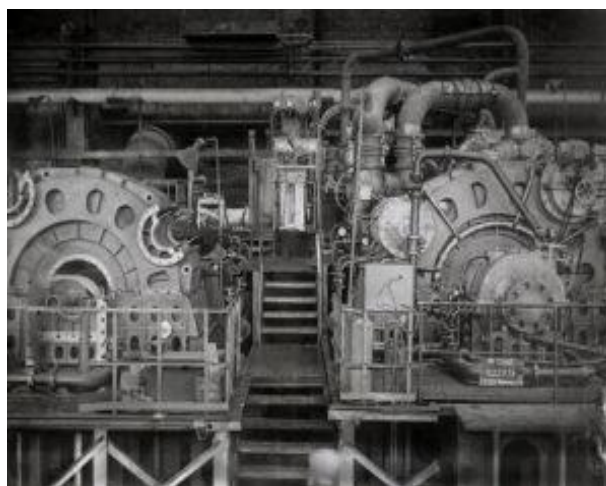


Рисунок 61. Паровая турбина УТЗ на стенде

полевых условиях военного времени. Разработанная Н.М. Молошным (давление 3,5 МПа, 370 °С, 3000 об/мин, КПД 26%), она проработала 46 лет до 1989 г., набрав 275 829 ч наработки и выработав свыше 1,5 млрд кВт·ч.



В РНИИ завершены официальные стендовые и летные испытания вспомогательного ЖРД РД-1 конструкции В.П. Глушко (керосин+кислород, тяга 300 кгс, вес 130 кг), подтвердившие ресурс 10 ч для дозвуковых самолетов.

1944 год

На УТЗ освоен серийный выпуск паровой теплофикационной турбины АТ-25-2 мощностью 25 МВт

В 1944 году советская промышленность, несмотря на военное время, достигла важных успехов в турбино- и ракетостроении. На Уральском турбинном заводе (УТЗ) освоен серийный выпуск паровой теплофикационной турбины АТ-25-2 мощностью 25 МВт, выполненной по чертежам

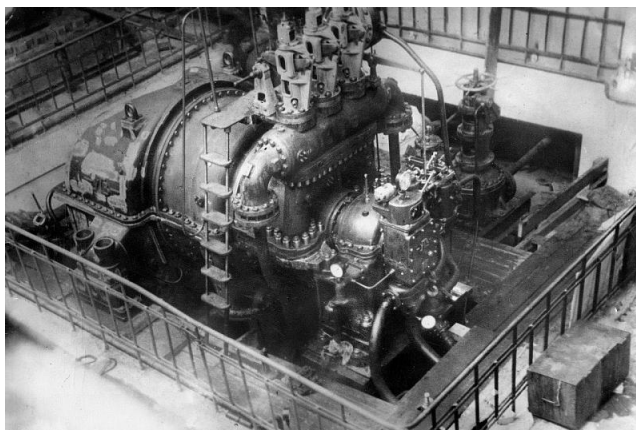


Рисунок 62. Паровая турбины АТ-25

Ленинградского металлического завода (ЛМЗ). Турбина с начальными параметрами пара 3,9 МПа/400 °С, частотой 3000 об/мин и КПД 28% предназначалась для ТЭЦ уральских металлургических гигантов, обеспечивая когенерацию электроэнергии (25 МВт) и тепла (150 т/ч). Освоение производства в кратчайшие сроки укрепило энергетический тыл Урала.



Одновременно организовано Опытное конструкторское бюро (ОКБ) под руководством А.М. Исаева для разработки жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) на высококипящих компонентах топлива (керосин+тетроксид азота). Это решение решило проблему длительного хранения топлива без кипения, обеспечив готовность к запуску в любых условиях. ОКБ Исаева стало предтечей двигателей РД-53, РД-107 для космических программ.

Эти события создали технологический резерв для послевоенного восстановления.

1945 год

Конструкторы Невского машиностроительного завода им. В.И. Ленина начали разработку первой отечественной газотурбинной установки (ГТУ) мощностью ~1,5 МВт

В 1945 году советское турбиностроение и энергетика послевоенного периода заложили основы комбинированных циклов и газотурбинных технологий. Конструкторы Невского машиностроительного завода им.

В.И. Ленина (НЗЛ) начали разработку первой отечественной газотурбинной установки (ГТУ) мощностью ~1,5 МВт,

реализованной в 1947 г. Это стало переходом от паровых турбин к газовым, с компрессором, КС и турбиной на природном газе, предвосхитив ГТ-600-1,5 (1952 г.).

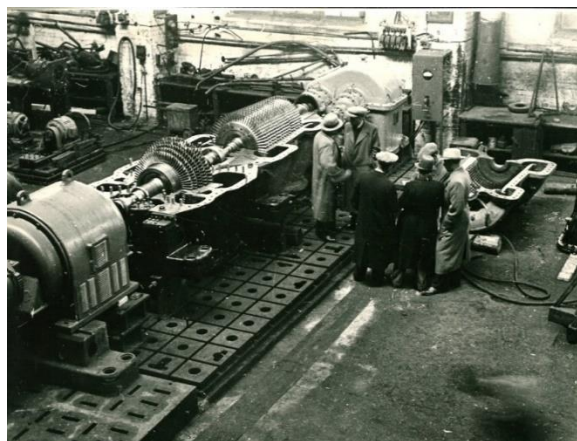


Рисунок 63. Первая газотурбинная установка НЗЛ, спроектированная главным конструктором С.М. Жербиным



В этом же году в Центральном котлотурбинном институте (ЦКТИ) А.Н. Ложкин разработал схему парогазовой установки (ПГУ) со сгоранием топлива при постоянном давлении и высоконапорным парогенератором (ВПП). Работы Ложкина, М.И. Корнеева и А.Э. Гельтмана повысили эффективность до 40% за счет рекуперации тепла выхлопных газов в котле-рекуператоре.

1946 год

Основан Калужский турбинный завод

В 1946 году советское турбиностроение и реактивная авиация отметили эпохальные события послевоенного восстановления. 9 июля основан Калужский турбинный завод (КТЗ) приказом № 513 наркомата станкостроения как инструментальный цех на базе слесарно-монтажного участка (директор Н. Альтговзен). К 1950 г. КТЗ выпустил 10 турбин ОР-300 собственной конструкции, выйдя на энергетический рынок СССР.



Рисунок 64. Калужский турбинный завод. Предприятие энергетического машиностроения, специализирующееся на производстве паровых турбин и турбоагрегатов малой мощности



ЛМЗ начал серийный выпуск конденсационных турбин АК-100-2 мощностью 100 МВт при параметрах пара 9 МПа (90 кгс/см²)/480 °С, с КПД 35% и 3000 об/мин.



Также в этом году на авиационном параде в Тушино состоялась первая публичная демонстрация в СССР полета аппарата с работающим ЖРД: истребитель Ла-120Р С.А. Лавочкина с РД-1ХЗ пролетел на малой высоте, достигнув 800 км/ч. 24 октября Як-15 с РД-10 (ОКБ В.Я. Климова, з-д №26 Уфа) совершил дебютный полет (пилот Д. Марков), а 24 декабря МиГ-9 с РД-20 (з-д №16 Казань) – первый реактивный МиГ (А.И. Федоров).



Под рук. В.В. Уварова испытана ГТУ типа Э-3080 (1370 К), доказавшая эффективность пароводяного охлаждения лопаток.

1947 год

На Невском заводе по работам С.М. Жербина изготовлена первая стационарная газотурбинная установка

На Невском заводе (НЗЛ) по работам довоенного периода С.М. Жербина изготовлена первая стационарная газотурбинная установка (ГТУ) мощностью 1 МВт на жидком топливе (мазут, солярка). Компрессор–турбина–генератор работали при 8000 об/мин, КПД 14%.



ОКБ А.А. Микулина создало ТКРД (37 кН) и ТРД (47 кН); испытаны РД-500 на Як-23 и ВК-1 (копия Nene) на Ту-14 (первый полет Ил-14РД).



В 1947 году советское авиадвигателестроение и энергетика достигли новых рубежей послевоенного развития турбореактивных технологий.

Первый отечественный турбореактивный двигатель (ТРД) с осевым компрессором ТР-1 конструкции А.М. Люльки (тяга 1300–1360 кгс, удельный расход 1,3 кг/кгс·ч) успешно прошел государственные испытания на заводе №45 «Салют» 24–27 февраля. Восьмиступенчатый компрессор, кольцевая камера сгорания и одноступенчатая турбина обеспечили ресурс 20 ч, превосходя копии Jumo-004 по тяге и весу.



Рисунок 65. Савва Михайлович Жербин

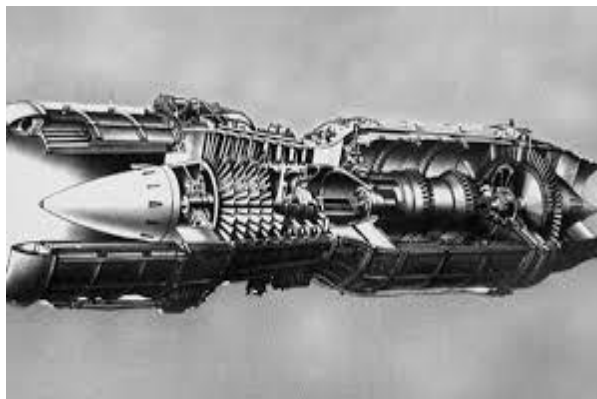
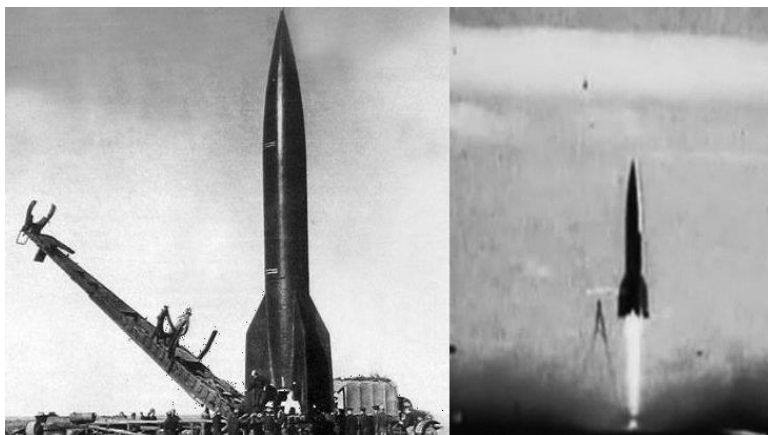


Рисунок 66. Зарисовка двигателя Архипа Люльки

1948 год

Состоялся первый полет советской баллистической ракеты Р-1

В 1948 году советское ракетостроение и энергетика отметили прорывные достижения в баллистических системах и газотурбинных технологиях.



18 сентября на полигоне Капустин Яр состоялся первый полет

Рисунок 67. Полет первой отечественной баллистической ракеты Р-1

советской баллистической ракеты Р-1 (8А11, индекс «Волга») – одноступенчатой ракеты дальнего действия, разработанной под руководством С.П. Королева на базе немецкой А4 («Фау-2»). Жидкостный ракетный двигатель РД-100 (В.П. Глушко, тяга 27 тс у земли, спирт+кислород, уд. импульс 236 с) обеспечил дальность 270 км при массе ГЧ 1 т. Успешный пуск 10 октября подтвердил автономную инерциальную систему управления.



В этом же году на Невском заводе (НЗЛ) под руководством С.А. Быченкова изготовлена первая промышленная газотурбинная установка ГТ-600-1,5 мощностью 1,5 МВт, работающая на природном газе (8000 об/мин, КПД 15%). Это стало шагом к массовым ГТУ.



Начато серийное производство МиГ-15 на ТРД РД-45Ф/ВК-1: всего в СССР построено 12 669 самолетов, по лицензии – в Китае, Польше, Чехословакии; эксплуатировался в 34 странах.

1949 год

Создан турбореактивный двигатель ВК-1 конструкции

В.Я. Климова

В 1949 году советское авиадвигателестроение и ракетная техника достигли значительных успехов в создании высокоточных ЖРД и массовых ТРД. Создан турбореактивный двигатель ВК-1 конструкции В.Я. Климова с центробежным компрессором (тяга

27 кН, удельный расход топлива 0,104 кг/Н·ч, удельный вес 0,32 кг/кН) – мировой рекорд по соотношению тяги и массы. Двигатель, копия Rolls-Royce Nene-II с доработками, заменил РД-45 на фронтовых истребителях МиГ-15бис и бомбардировщиках, обеспечив надежность в серийном производстве.



Рисунок 68. Ил-28 – один из первых серийных советских самолётов с реактивными двигателями ВК-1 (он же РД-45)

ВК-1А установлен на Ил-28 – самом массовом реактивном бомбардировщике СССР (более 6000 ед.), способном нести 3 т бомб на дальность 2400 км.



В ГДЛ-ОКБ В.П. Глушко разработан и начаты летные испытания РД-101 (спирт+кислород, тяга 30 тс) для геофизической ракеты В-2А.



В этом же году начаты пуски метеорологических ракет Р-1А и В-серии: В-2А поднимала 2200 кг на 212 км, В-5В – 1300 кг на 512 км, включая астрофизические и биомедицинские эксперименты с животными.

1950 год

ОКБ-117 под руководством В.Я. Климова освоило серийное производство турбореактивного двигателя ВК-1

ОКБ В.Я. Климова полностью освоило серийное производство турбореактивного двигателя ВК-1 (тяга 27 кН/2700 кгс, удельный расход 1,07 кг/кгс·ч, масса 872 кг), основанного на британском Nene-II с отечественными доработками (усиленная турбина, трубные КС).



Рисунок 69. Турбореактивный двигатель ВК-1 (он же РД-45)

Двигатель с центробежным компрессором ($\pi=4,2$) и ресурсом 200 ч устанавливался на истребители МиГ-15бис и бомбардировщики Ил-28, обеспечив превосходство в Корейской войне.



В 1950 году Калужский турбинный завод (КТЗ) достиг важной производственной вехи, отгрузив первые 10 паровых турбин ОР-300 собственной конструкции для ТЭЦ и промпредприятий. Эти машины мощностью 300 кВт каждая обеспечивали частоту 3000 об/мин и КПД 22%, став основой энергетической базы послевоенного восстановления Центрального региона СССР.

Эти события закрепили лидерство СССР в турбино- и авиадвигателестроении.

1951 год

Построен серийный турбореактивный двигатель АМ-3 с тягой 86 кН – рекордсмен мира. Эра сверхзвуковой стратегической авиации началась

В 1951 году советское авиадвигателестроение достигло мирового превосходства по тяге турбореактивных двигателей. ОКБ А.А. Микулина построило серийный ТРД АМ-3 (РД-3) с тягой 86 кН (8750 кгс макс., 7000 кгс номинал) – рекордсмен

мира. Одноконтурный одноваль-
ный двигатель с 8-ступенчатым
осевым компрессором ($\pi=4,8$),

кольцевой КС и 2-ступенчатой турбиной (длина 5,38 м, вес 3100 кг) имел удельный расход 1,25 кг/кгс·ч. С 1952 г. АМ-3 устанавливался на бомбардировщиках Ту-16 (дальность 10 000 км) и Ту-104 – первом серийном пассажирском реактивном самолете СССР, установившем 26 рекордов скорости/высоты.



Создан форсажный ВК-1Ф (ОКБ В. Я. Климова) с тягой 33 кН (3350 кгс на ФР), центробежным компрессором и ресурсом 250 ч. Двигатель оснастил МиГ-17 – фронтовой истребитель со скоростью 1145 км/ч.



Рисунок 70. Ту-16. Советский тяжёлый двухмоторный реактивный многоцелевой самолёт. Выпускался в различных модификациях, включая бомбардировщик, ракетноносный вариант, самолёт-заправщик, самолёт РЭБ и другие.

1952 год

Разработан и начаты летные испытания ЖРД РД-103

В ГДЛ-ОКБ В.П. Глушко разработан и начаты летные испытания ЖРД РД-103 (спирт + жидкий кислород, тяга 36 тс, удельный импульс 245 с) для геофизической ракеты В-5-В, поднимавшей 1300 кг на высоту 512 км. Двигатель подтвердил стабильность на сверхвысотных режимах и стал дальнейшим развитием двигателей РД-100 и РД-101, но с существенно улучшенными характеристиками.

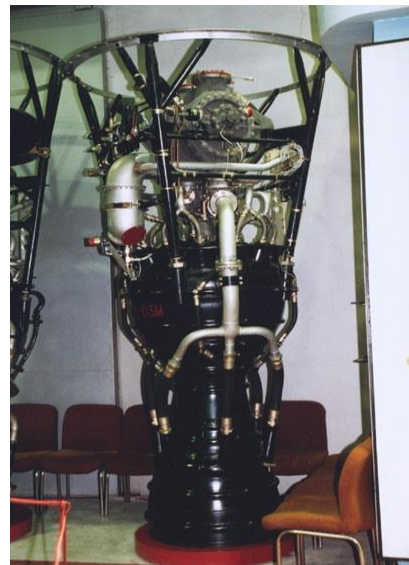


Рисунок 71. Двигатель РД-103



Под руководством А.А. Микулина создан двигатель РД-9Б (АМ-9) с форсажной камерой (под руководством С.К. Туманского), доказавший преимущества ТРД с осевым компрессором вместо центробежного. Он обеспечил создание первого в СССР серийного сверхзвукового двухдвигательного истребителя МиГ-19 (1954 г.) с максимальной скоростью полета 1450 км/ч.



На НЗЛ создается первая отечественная стационарная газовая турбина ГТ-600 мощностью 1,5 МВт.



На УТЗ разработана новая серия паровых турбин ВПТ-25-3 на начальные параметры свежего пара 8,8 МПа, 500 °С с КПД на 12% экономичнее АТ-25-2 (2,85 МПа, 400 °С).

1953 год

Турбомоторный завод завершил технический проект паровой турбины ВР-6-2

В 1953 году Турбомоторный завод (ТМЗ) завершил рабочий проект паровой турбины ВР-6-2 – полностью самостоятельной конструкции, разработанной с нуля. Эта теплофикационная турбина мощностью 6 МВт (давление 6,4 МПа, температура 435 °С, 3000 об/мин) с КПД 28% предназначалась для промышленных ТЭЦ, обеспечивая производство электроэнергии и тепла в условиях послевоенного восстановления. Проект включал оптимизацию лопаток и уплотнений по методам ЦКТИ, заложив основу серии ВР.



В этом же году ОКБ-300 А.А. Микулин начал работы по ТРД АМ-11 с осевым компрессором (тяга 50 кН), предназначенному для стратегических бомбардировщиков. Сначала прежде всего АМ-11 стал истребительным двигателем, а не бомбардировочным: он массово ставился на МиГ-21, а также на Як-25, Як-28, Су-15 и др. Для стратегических бомбардировщиков



Рисунок 72. Двигатель АМ-11 (он же Р11-300)

в ту эпоху приоритет получили другие силовые установки. Двигатель стал предшественником двигателей для стратегической авиации. Двигатель запустили в серию под обозначением Р11-300.

Эти достижения укрепили позиции СССР в энергетике и ракетостроении.

1954 год

В ОКБ Кузнецова Н.Д. начата разработка турбовинтового двигателя НК-12МВ для Ту-95

В 1954 году советское двигателестроение открыло новые направления в ЖРД и ТВД, заложив основу для сверхзвуковой и космической техники. В ОКБ С.А. Косберга начата разработка жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) на унитарном топливе – изопропилнитрате (самовоспламеняющийся монокомпонентный окислитель, удельный импульс ~280 с). Работы, инициированные постановлением СМ СССР 1953 г., привели к двигателям РД-0210-0214 для верхних ступеней РН «Протон», обеспечивая надежный запуск без зажигания.



Рисунок 73. ЖРД типа РД-0210



В ОКБ Н.Д. Кузнецова начата разработка турбовинтового двигателя (ТВД) НК-12МВ для Ту-95 – мирового лидера по мощности (взлетная 11 000+ кВт с винтом АВ-60, часовой расход топлива 0,28 кг/кВт·ч, ресурс 6000 ч). Двухконтурный ТВД с 14-ступенчатым компрессором и свободной турбиной винта оснастил стратегические бомбардировщики, не имея аналогов.



В СССР сформировано направление паротурбин для АЭС (Обнинская ГЭС, 1954), с учетом радиации и высокого давления.

1955 год

Создан турбореактивный двигатель АЛ-7Ф1 с форсажной камерой

В 1955 году советское авиадвигателестроение и космическая инфраструктура достигли значимых рубежей развития.

ОКБ А.М. Люльки создало турбореактивный двигатель АЛ-7Ф1 с форсажной камерой (тяга 96 кН на форсаже, сухая тяга 68 кН, удельный расход 1,95 кг/кгс·ч), предназначенный для фронтовых истребителей Су-7 и Су-9. Одновальный ТРД с 11-ступенчатым осевым компрессором ($\pi=5,2$) и кольцевой КС



Рисунок 74. Авиационный турбореактивный двигатель семейства АЛ-7 с форсажной камерой, созданный в ОКБ А.М. Люльки

оснащался управляемым соплом, обеспечивая сверхзвуковые скорости ($M=1,7$).



Начато строительство космодрома Байконур – основного полигона СССР для запусков баллистических ракет Р-7 и космических аппаратов, ставшего крупнейшим в мире.

1956 год

Двигатели А.А. Микулина АМ-42 обеспечили скорость 1000 км/ч

В 1956 году советское двигателестроение достигло пика развития турбореактивных и турбовинтовых технологий для гражданской и стратегической авиации. На Ту-104А – первом серийном реактивном пассажирском самолете СССР – вышли на регулярные воздушные трассы модифицированные ТРД РД-3М (АМ-3) с максимальной тягой 95 кН. Двигатели А.А. Микулина обеспечили скорость 1000+ км/ч на высоте 10 000 м, перевозя 50 пассажиров на дальность 2400 км, установив 26 мировых рекордов.



Турбовинтовой двигатель АИ-20 конструкции А.Г. Ивченко (мощность 3750 кВт, удельный расход 0,29 кг/кВт·ч, межремонтный ресурс 4000–8000 ч) прошел ресурсные испытания и лег в основу серийного производства для Ил-18 и Ан-10. Эти высокоэкономичные ТВД с 14-ступенчатым компрессором обеспечили рентабельность советских авиaperевозок, перевозя 100–120 пассажиров на 6500 км.



Рисунок 75. АИ-20 – одновальный авиационный турбовинтовой двигатель



Создан бесфорсажный РД-11В-300 (тяга 65 кН) для высотного самолета-разведчика Як-25РВ.



Первый полет стратегического бомбардировщика М-3 (проект Ту-20) на двигателях ВД-7, самых мощных в мире на момент создания.

1957 год

Запуск первых искусственных спутников Земли

В 1957 году космическая эра открылась запусками первых искусственных спутников Земли (ИСЗ), ознаменовав триумф советской ракетной техники.

4 октября с Байконура стартовала ракета-носитель Р-7 (8К71П) разработки ОКБ С.П. Королева с блоками ЖРД РД-107 (4×912 кН) и РД-108 (837 кН) конструкции ОКБ

В.П. Глушко (РП-1+ЛОХ, $I_{уд}=313$ с). Центральная ступень вывела ПС-1 (Спутник-1, масса 83,6 кг) на орбиту 223×949 км, обеспечив 92 витка и 21 день работы телеметрии.

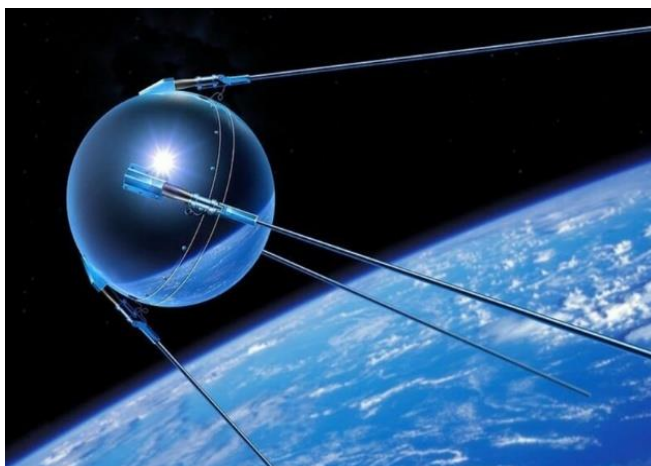


Рисунок 76. Первый в мире искусственный спутник Земли, «ПС-1» («Простейший Спутник-1»)



3 ноября запущен второй ИСЗ (ПС-2, 508 кг) с собакой Лайкой – первым живым существом на орбите (апогей 212 км). Животное погибло от перегрева, но эксперимент подтвердил жизнеспособность полетов.



На ЛМЗ создана первая газовая турбина ГТ-12-3 мощностью 12 МВт с КПД 27%.



На КТЗ созданы турбогенераторы блочного исполнения, установленные на первом в мире атомном ледоколе «Ленин».



На ЛМЗ выпущен головной образец паровой турбины ПТ-60-12,8/0,13.

1958 год

Вывод на орбиту первой научной лаборатории «Спутник-3»

Космическая программа достигла нового уровня с выводом на орбиту первой научной лаборатории «Спутник-3» – полноценного геофизического комплекса массой 1327 кг. 15 мая с Байконура стартовала ракета-носитель 8А91 (модификация Р-7), разработанная ОКБ

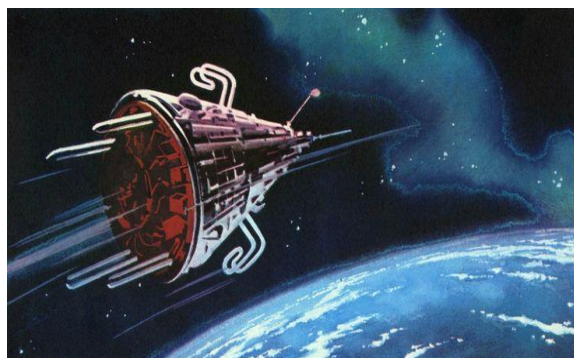


Рисунок 77. Первая научная лаборатория Спутник-3: художественная иллюстрация в стиле советской космической графики для популяризации достижений космонавтики

С.П. Королева. Аппарат на эллиптической

орбите (188×1480 км, уклонение 65°) нес 12 приборов для изучения верхней атмосферы, космических лучей, метеоритной пыли и магнитного поля.



На Невском заводе начато серийное производство газовых турбин и стационарных ГТУ ГТ-700-4, спроектированных Х.Т. Чернаком для компрессоров магистральных газопроводов. Это определило профиль завода.



Двухвальный ТРДФ типа Р11Ф-300 С.К. Туманского с осевым компрессором обеспечил сверхзвуковые МиГ-21 (М=2,0), принятые в 34 страны.



На ЛМЗ изготовлена легендарная «двухсотка», самая крупная на тот момент в Европе паровая турбина ПВК-200-1 (К-200), положившая начало самой крупной в мире серии машин и вошедшая в Книгу рекордов Гиннесса.



На УТЗ выпустили первые паровые турбины ВПТ-25-4 и ВПТ-25-5, изготовленные по собственным чертежам.

1959 год

С Байконура запущена автоматическая межпланетная станция «Луна-1»

1959 год ознаменовался прорывом советской космонавтики в исследовании Луны и окололунного пространства. 2 января с Байконура запущена автоматическая межпланетная станция «Луна-1» (3615 кг) на ракетеносителе 8K72. Достигнув второй космической скорости (11,2 км/с), аппарат пролетел в 5950 км от Луны 4 января, став первым искусственным спутником Солнца. Обнаружен солнечный ветер; передан герб СССР на орбите.

14 сентября «Луна-2» (390 кг, ракета 8K72) впервые в истории достигла поверхности Луны в районе Моря Дождей (координаты 29,10° с.ш., 0,00° з.д.). Станция доставила два пенала с вымпелами СССР, подтвердив отсутствие радиационного пояса Луны и магнитного поля.

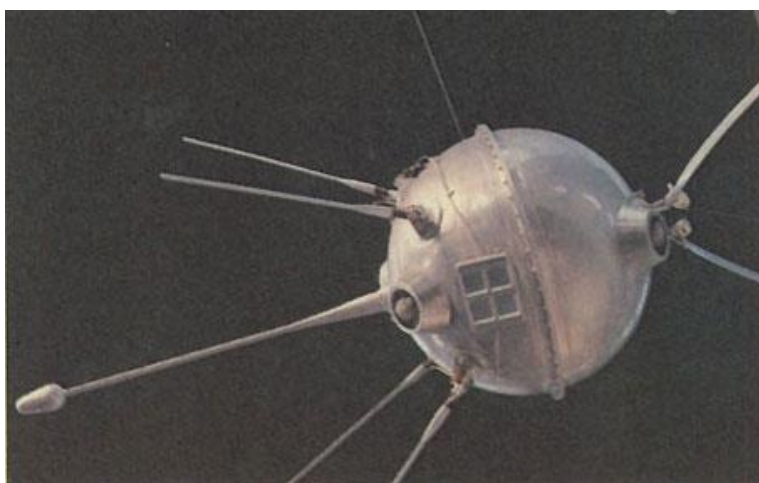


Рисунок 78. Советская автоматическая межпланетная станция «Луна-1» для изучения Луны



Газотурбинные установки ГТ-700-4 НЗЛ (4 МВт, КПД 20%) введены в первые газоперекачивающие агрегаты (ГПА) магистральных трубопроводов.



На ЛМЗ создана новая серия газовых турбин ГТ-25-700.



ТМЗ выпустил головной образец паровой турбины ВПТ-50-4.

1960 год

С Байконура запущен космический корабль-спутник «Восток-1»

В 1960 году советская космонавтика достигла ключевого этапа подготовки пилотируемых полетов человека в космос. 19 марта с Байконура запущен космический корабль-спутник «Восток-1» (беспилотный вариант, масса 4734 кг) на ракете-носителе «Восток» (8K72K), разработанной ОКБ С.П. Королева. Аппарат на

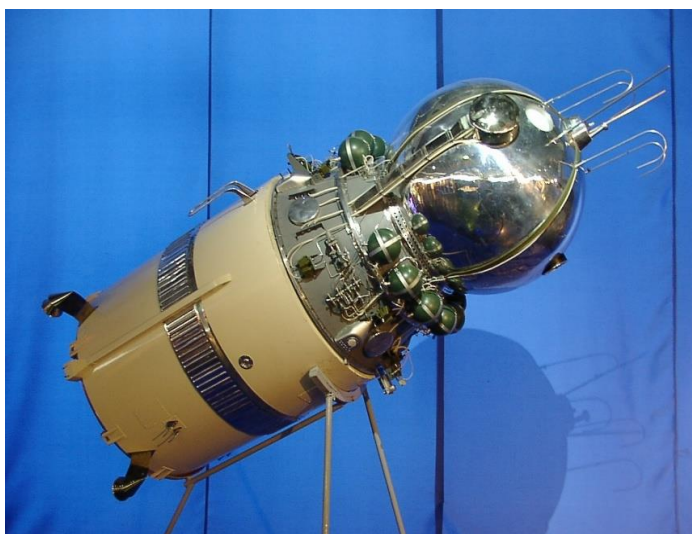


Рисунок 79. Модель космического корабля «Восток-1»

орбите 327×625 км провел летную отработку систем жизнеобеспечения, терморегуляции и стыковки, подтвердив безопасность для космонавта. 28 июля–1 августа «Спутник-5» («Корабль-спутник-2») с собаками Белкой и Стрелкой (плюс 4 грызуна, 2 растения, насекомые) выполнил 24-суточный полет (17 витков), вернувшись с парашютной посадкой – первый возврат живых существ из космоса. Испытания обеспечили готовность к полету Ю.А. Гагарина в 1961 г., продемонстрировав надежность систем на 17 000 км высоты.



Самый мощный в мире двигатель В.А. Добрынина ВД-7М с тягой 16 000 кгс на сверхзвуковом бомбардировщике Ту-22 прошел государственные испытания.



ТМЗ выпустил головной образец паровой турбины ВТ-50-1 (Т-50).



Выпущены головные образцы турбин ЛМЗ и ХТЗ типа К-300-240 мощностью 300 МВт с начальными сверхкритическими параметрами пара.

1961 год

С Байконура стартовал космический корабль «Восток-1» на ракете-носителе «Восток-К 8К72К» под руководством С.П. Королева

В 1961 году космическая эра вошла в фазу пилотируемых полетов с триумфом советской космонавтики. 12 апреля с Байконура стартовал космический корабль «Восток-1» на ракете-носителе «Восток-К 8К72К» под руководством С.П. Королева. Космонавт Ю.А. Гагарин совершил одновитковый полет (65 мин, орбита 181×327 км, скорость 27 400 км/ч), став первым человеком в космосе. Система жизнеобеспечения (кислород, терморегуляция) и спуск (тормозительная РД УДМ+НДМГ) сработали идеально, обеспечив посадку в Саратовской области.

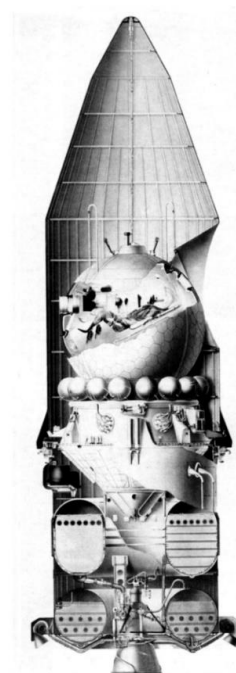


Рисунок 80. Корабль Восток в составе 3-х степеней



ТМЗ выпустил первую теплофикационную турбину ВТ-100-1 (100 МВт) для ТЭЦ-20 в Москве – самую массовую в СССР (КПД 32%, 13 МПа/560 °С), а ЛМЗ – К-300-240-1 (300 МВт), одну из мощнейших паровых турбин в мире.

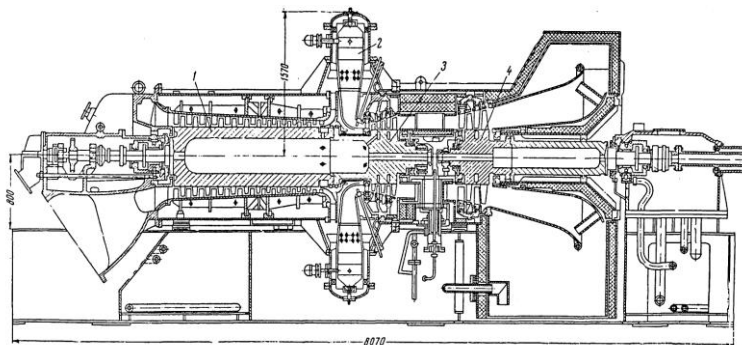


На базе АИ-20 под руководством академика Александра Георгиевича Ивченко создан ТВД АИ-24 (2200 кВт) для самолета Ан-24, обеспечившего местные перевозки (ресурс 6000 ч).

1962 год

Изготовлен первый образец газотурбинного агрегата ГТ-6-750 мощностью 6 МВт

В 1962 году советское турбиностроение достигло новых рубежей в создании газотурбинных агрегатов для газовой промышленности. На Турбомоторном заводе



(ТМЗ, ныне УТЗ) им. Рисунок 81. Газовая турбина типа ГТ-6-750 ТМЗ

К.Е. Ворошилова изготовлен первый образец газотурбинного агрегата ГТ-6-750 мощностью 6 МВт, предназначенного для газоперекачивающих станций магистральных трубопроводов. Разработка СКБ ГТ под руководством М.М. Ковалевского включала одновальную схему с осевым компрессором, кольцевой камерой сгорания и турбиной 3 ступеней, работающей на природном газе.



В этом же году ТМЗ отгрузил головной образец теплофикационной паровой турбины ПР-25-90/10/0,9 (25 МВт, 90 атм).



Завершены испытания вертолета Ми-6 с двумя двигателями Д-25В (5100 кВт каждый), установившего 13 мировых рекордов (скорость 320 км/ч, подъем 2375 кг на 3000 м).



Разработка в ГДЛ-ОКБ и летные испытания ЖРД РД-111 для космической ракеты.

1963 год

Введены первые экспериментальные парогазовые установки с высоконапорными парогенераторами

В 1960-е годы в СССР введены в опытно-промышленную эксплуатацию первые экспериментальные парогазовые установки с ВПГ производительностью 120 и 50 т/ч (эквивалент 75 и 31 МВт тепловой мощности). Разработки ЦКТИ (А.Н. Ложкин) реализованы на ТЭЦ

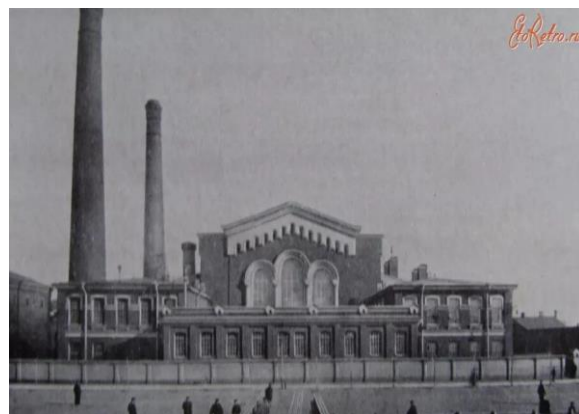


Рисунок 82. Первая Ленинградская электростанция «Ленэнерго»

Надворнянского НПЗ (Украина) и 1-й Ленинградской ЭС (ВПГ-120 + ГТУ-4 мощностью 4 МВт, КПД 29,1%). Установки с комбинированным циклом (газовая турбина + паровая рекуперация) снижали расход топлива на 25–30% по сравнению с ПГУ, работая на мазуте при $T_{г}=720^{\circ}\text{C}$.



На Невском заводе (НЗЛ) изготовлен первый газотурбинный агрегат ГТ-750-6 (6 МВт).



ТМЗ разработал модификацию турбины Т-50-130-6 на 60 Гц для КНДР.



Завершены госиспытания вертолета Ми-2 с ГТД-350 (мощность 325 кВт каждый), установившего рекорды скорости (255 км/ч), высоты (4025 м) и подъема груза (1200 кг на 1500 м). Эти достижения обеспечили эффективность энергетики и авиации СССР.

1964 год

На НИИ ВВС состоялся первый вертикальный взлет самолета Як-36

В 1964 году советская авиакосмическая техника достигла важных рубежей в освоении вертикального взлета и пилотируемых полетов. 16 сентября на НИИ ВВС состоялся первый вертикальный взлет самолета Як-36 конструкции Яковлева на



Рисунок 83. Советский палубный штурмовик, прототип первого в СССР серийного самолёта вертикального взлёта и посадки Як-38

подъемно-маршевых двигателях Р27-300 (тяга $2 \times 9,8$ кН). Эти ЖРД с поворотными соплами обеспечили взлет с нулевой скорости, став прототипом В/STOL-авиации и предшественником Як-38.



12 октября запущен корабль «Восход-1» с Байконура на ракете «Восход» (11А57). Экипаж В.М. Комаров (командир), К.П. Феоктистов (инженер), Б.Б. Егоров (врач) выполнил групповой полет (24 ч 17 мин, 16 витков, орбита 165×336 км) без скафандров – мировая премьера.



Первые испытания демонстрационного двигателя НК-144, на которых позже полетит сверхзвуковой самолет Ту-144.



Введены ПГУ с ВПГ-120 на Надворнянской ТЭЦ (ГТ-15; 1,5 МВт).



ЛМЗ выпустил первую паровую двухвальную турбину К-800-240-1.

1965 год

С Байконура запущен первый отечественный связной ИСЗ «Молния-1»

В 1965 году советская космонавтика достигла новых высот в создании спутников связи и научных лабораторий. 23 апреля с Байконура запущен первый отечественный связной ИСЗ «Молния-1» (11Ф67, масса 1602 кг) на ракете-носителе «Молния» (8К78). Аппарат на эллиптической орбите (апогей 39 700 км, перигей 539 км) обеспечил экспериментальную линию радиосвязи Москва–Владивосток и трансляцию ЦТВ на Дальний Восток, включая парад 1 мая. Система с 4 антеннами и ретранслятором работала 22 дня.



Рисунок 84. Компьютерная модель советского спутника связи «Молния-1», первого в мире искусственного спутника Земли, советского космического аппарата, запущенного на орбиту 4 октября 1957 года.



После госиспытаний ТМЗ развернул серию ГТ-6-750 (6 МВт).



ИТПМ СО АН СССР завершил стенд ПГУ, разработав проекты ПГУ-200.



ЖРД РД-253 (Глушко) начал испытания для РН «Протон».



ХТЗ выпустил первую паровую турбину К-500-240.

1966 год

В ноябре запущена АМС «Венера-3»

В 1966 году советская космонавтика достигла исторических прорывов в исследовании Венеры и Луны. 16 ноября 1965 г. запущена АМС «Венера-3» (960 кг, ракета «Молния-8К78»), совершившая первый межпланетный перелет Земля–Венера. 1 марта 1966 г. спускаемый аппарат (диаметр 0,9 м) достиг поверхности планеты в районе 60–80° в.д., став первым земным объектом на другой планете, хотя связь потеряна при входе в атмосферу.

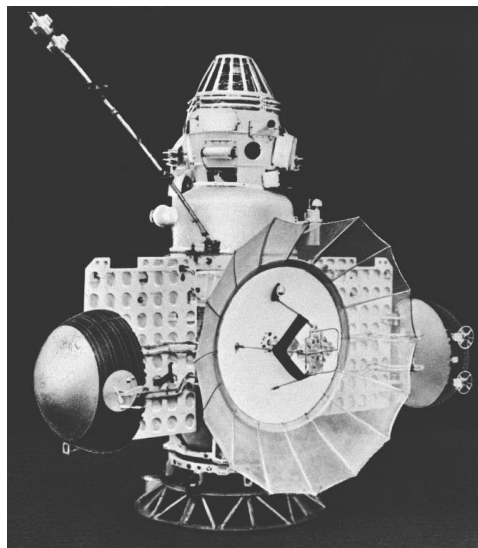


Рисунок 85. Советская автоматическая межпланетная станция второго поколения. Одна из трёх АМС



3 апреля выведена «Луна-10» (245 кг, РН «Молния») – первый искусственный спутник Луны на орбите 715×920 км. За 56 суток станция измерила гамма-спектры, микрометеориты и гравитацию. 28 ноября «Космос-133» стал первым беспилотным испытанием КК «Союз», подтвердив системы стыковки.



Изготовлены первые двигатели АЛ-21Ф для самолетов Су-17 и Су-24.



НЗЛ создал турбину ГТК-10 для привода нагнетателя Н-520-12-1.



Ту-134 и Як-40 совершили дебютные полеты, оснащенный двигателями Д-30.

1967 год

Советское турбиностроение поставило мировой рекорд по мощности газотурбинных установок

На ЛМЗ спроектирована и изготовлена самая крупная в мире ГТУ типа ГТ-100-750 мощностью 105 МВт с КПД 28%, которая обеспечила рекорд для энергетики, введенный на ТЭЦ.

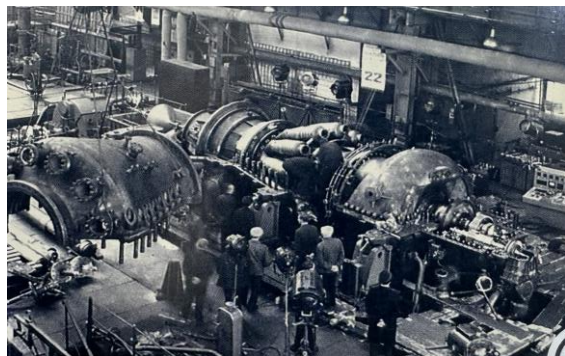


Рисунок 86. Газовая турбина ГТ-100-750



ТМЗ ввел первую противодавленческую турбину Р-38-130/14 (38 МВт, 12,8 МПа/14 атм) на Среднеуральской ГРЭС, а также выпустил Т-55/65-130.



Двигатели НК-12МВ (Кузнецов, 12 000 кВт) оснастили Ту-114 (пассажирский, дальность 10 900 км) и Ан-22 «Антей» – самый грузоподъемный самолет мира (100 т на 7848 м, рекорд 1967).



Также в этом году состоялся первый полет МиГ-23 на Р27-300 (Свечин, подъемно-маршевые, тяга 6,5 тс).

1968 год

Невский завод начал серийное производство с газоперекачивающих агрегатов ГТК-10, ставших основой газотранспортной системы

В 1968 году Невский завод (НЗЛ) начал серийное производство самых массовых в СССР газоперекачивающих агрегатов ГТК-10 мощностью 10 МВт. Газовая турбина ГТК-10 (КПД 28%) с нагнетателем Н-520-12-1 (производительность 530 м³/мин) обеспечивала давление до 75 атм на магистралях «Уренгой–Помары–Ужгород». Выпущено свыше 1000 единиц, наработавших миллиарды часов.



Рисунок 87. Экспортный магистральный газопровод для поставки природного газа с месторождений севера Западной Сибири, по маршруту Уренгой – Помары – Ужгород.



В этом же году ТМЗ выпустил первую крупнейшую противодавленческую турбину Р-100-130/15.



Первый полет сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144 с четырьмя двигателями НК-144, выиграв «соревнование» с западным «Конкордом» на 2 месяца ($V=2430$ км/ч).



Выпущен РД36-35ФВ (Свечин, 35 кН) для Як-38.



Завершение госиспытаний вертолета Ка-25ПЛ с двигателями ГТД-3Ф (разработки ОКБ-29 Омского моторостроительного завода).

1969 год

Ленинградский металлический завод выпустил одновальную конденсационную паровую турбину мощностью 800 МВт

В 1969 году Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) выпустил одновальную конденсационную паровую турбину К-800-240-2 мощностью 800 МВт – одну из самых мощных в мире. Турбина работала на сверхкритических параметрах пара 23,5 МПа (240 кгс/см²), 560 °С с промежуточным перегревом до 565 °С, частотой 3000 об/мин и расходом 634 кг/с. Пятицилиндровая конструкция (ЦВД петлевое, ЦСД, три ЦНД двухпоточные) с КПД 42% обеспечивала привод генератора ТВВ-800-2 на ТЭС СССР.



На ЧерМК введена первая свердловская газовая утилизационная бескомпрессорная турбина ГУБТ-8 (8 МВт), использующая отходящее тепло доменных газов.



Рисунок 88. Газовая утилизационная бескомпрессорная турбина



ТМЗ выпустил головной образец паровой турбины Р-40-130/31.



Также в этом году Уфимское ОКБ С.А. Гаврилова разработало ТРД Р13-300 (65 кН, серия для МиГ-21 и WP13/F-7).



Первый рыбинский двигатель РД36-51А для сверхзвукового пассажирского самолета Ту-144Д заработал на стенде.

1970 год

Экипаж «Союз-9» установил мировой рекорд длительности пилотируемого полета

1–19 июня экипаж «Союз-9» установил мировой рекорд длительности пилотируемого полета – 424 ч 37 мин (288 витков, орбита 168×219 км), подтвердив приспособленность человека к длительной невесомости. Главной задачей стали медико-биологические исследования: учёные изучали, как длительное пребывание в невесомости влияет на организм человека. Результаты полёта серьёзно повлияли на развитие методик поддержания здоровья космонавтов в долгих экспедициях.

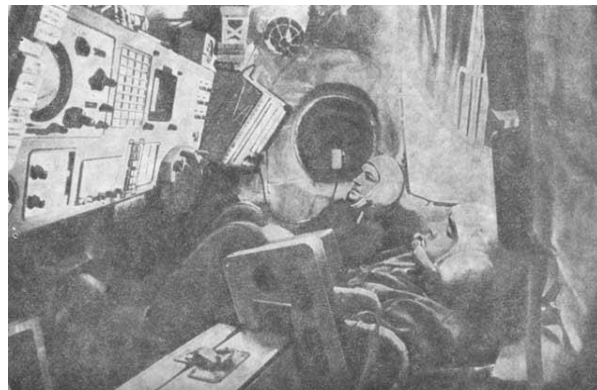


Рисунок 89. Космический корабль Союз-9.
Экипаж: Андриян Николаев, Виталий Севастьянов



КТЗ начал разработку и выпуск приводных турбин для АЭС.



Пуск первой ГТ-25-700-2 производства ЛМЗ на Якутской ГРЭС.



ЛМЗ для Краснодарской ТЭЦ изготовил самую крупную в мире газотурбинную установку ГТ-100-750.



ТМЗ собрал головной образец легендарной паровой турбины Т-250/300-240 для московской ТЭЦ-22. Теплофикационная одновальная турбина сверхкритических параметров (23,5 МПа, 540 °С с промежуточным перегревом) обеспечивала отбор тепла 340 Гкал/ч при КПД 41%, став самой мощной в мире на десятилетия и основой серии для крупных ТЭЦ СССР.

1971 год

Ракета-носитель «Протон-К» (8K82K1) вывела на орбиту первую орбитальную станцию «Салют-1»

19 апреля с Байконура ракета-носитель «Протон-К» (8K82K1) вывела на орбиту первую орбитальную станцию «Салют-1» (масса 18,9 т, орбита 175×919 км). Станция с солнечными батареями и системой жизнеобеспечения стала базой для длительных экспедиций, открыв эру орбитальных исследований. 6 июня стыковка с «Союз-11» завершилась трагедией, но подтвердила работоспособность.



В 1971 году советское двигателестроение и космонавтика отметили эпохальные достижения в создании экономичных авиадвигателей и орбитальной инфраструктуры. Государственные испытания двухконтурного турбореактивного двигателя Д-30КУ (Рыбинск, ОКБ П.А. Соловьева) подтвердили мировое лидерство по экономичности в классе тяги 10–12 тс. Двухвальный ТРДД (расход воздуха 269 кг/с, температура перед турбиной 1385 К, удельный расход 0,49 кг/кгс·ч, масса 2640 кг) оснастил Ил-62М, обеспечив дальность 11 000 км без посадок при скорости 870 км/ч.



Рисунок 90. Ракета-носитель тяжёлого класса, предназначенная для выведения автоматических космических аппаратов на орбиту Земли и далее в космическое пространство

1972 год

Советская авиация достигла рубежа сверхвысоких скоростей

В 1972 году советская авиация достигла рубежа сверхвысоких скоростей с принятием на вооружение истребителя-перехватчика МиГ-25 конструкции А.И. Микояна и Г.И. Гуревича. Самолет оснащался двумя жидкостными двухконтурными турбореактивными двигателями Р15Б-300 разработки П.И. Федорова (тяга 73,5/109,8 кН, расход воздуха 144 кг/с, $T_g=1230$ К). Максимальная скорость 3000 км/ч ($M=2,83$ на 20 км) при взлетной массе



Рисунок 91. Советский двухместный сверхзвуковой высотный всепогодный истребитель-перехватчик дальнего радиуса действия. Разработан в ОКБ-155 на базе МиГ-25 в 1970-х годах. Первый советский боевой самолёт четвёртого поколения

36 т обеспечила статус первого серийного истребителя такого класса, способного к длительному крейсерскому сверхзвуку ($M=2,35$, дальность 1250 км). Потолок 20,7 км и скороподъемность 300 м/с сделали МиГ-25 непревзойденным для перехвата высотных целей.



Вертолет Ми-24А прошел испытания с двигателями ТВ3-117 (Ишимбайское ОКБ М.М. Ломакино, 2200 кВт каждый, 3 поколение ГТД), обеспечив скорость 335 км/ч и подъем 1000 кг на 2500 м.

1973 год

Создание филиала ЛМЗ в Новом Девяткино

В 1973 году развитие советской энергетики получило стратегический импульс расширением производственных мощностей для газотурбинного машиностроения. 11 ноября Советом Министров СССР было издано распоряжение № 925-р о строительстве филиала Ленинградского металлического завода (ЛМЗ) в Новом Девяткино под Санкт-Петербургом.



Рисунок 92. Филиал «Турбоатомгаз» Ленинградского металлического завода (ЛМЗ)

Предусматривались специализированный корпус газовых турбин с испытательным стендом мощностью 200 МВт и блок заготовительных цехов для литья,ковки и мехобработки роторов. Филиал «Турбоатомгаз», введенный в 1979 г., стал центром производства ГТУ мощностью до 100 МВт, обеспечив газификацию и экспорт в СЭВ.



В этом же году Турбомоторный завод (ТМЗ) выпустил головной образец паровой турбины ПТ-135/165-130/15 для ТЭЦ.

1974 год

НИИКТИТ разработал и изготовил самый мощный в СССР на тот момент газоперекачивающий агрегат нового поколения

В 1974 году Невский завод (НЗЛ) сделал важный шаг в институциональном развитии турбокомпрессоростроения, создав Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт турбокомпрессоростроения (НИИКТИТ). Институт объединил НИОКР, стендовые испытания и технологическую подготовку, обеспечив импортозамещение газоперекачивающего оборудования.



Рисунок 93. Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт турбокомпрессоростроения

НИИКТИТ разработал и изготовил ГТН-25 – самый мощный в СССР газоперекачивающий агрегат нового поколения (27,5 МВт, 7500 об/мин, КПД 26%, $T_{г}=1150$ °С). 16-ступенчатый компрессор ($\pi=14$), кольцевая КС и 4-ступенчатая турбина с нагнетателем Н-630-25-1 (630 м³/мин) превосходили зарубежные аналоги по ресурсу (25 000 ч) и давлению (85 атм). ГТН-25 открыл унифицированный ряд ГТУ 25–60 МВт для газопроводов СССР. Модернизирован ГТК-10 (до 12 МВт).

1975 год

Испытания самолета Ил-86 с двигателями НК-86

22 декабря на Центральном аэродроме им. Фрунзе (Ходынское поле) состоялся первый полет опытного Ил-86 – первого советского широкофюзеляжного пассажирского самолета (ОКБ С.В. Ильюшина). Экипаж под руководством лётчика-испытателя Э.И. Кузнецова поднял в небо машину с четырьмя ТРДД НК-86 (Куйбышевское ОКБ Н.Д. Кузнецова,



Рисунок 94. Центральный аэродром имени М.В. Фрунзе. Бывший аэродром в Москве. Располагался на Ходынском поле, откуда получил своё разговорное название – «Ходынка»

тяга 4×127 кН, удельный расход 0,56 кг/кгс·ч). Двухвальный двигатель с 14-ступенчатым компрессором ($\pi=25$) обеспечил крейсерскую скорость 900 км/ч, дальность 4400 км с 350 пассажирами и взлетную массу 216 т.

Агрегаты НК-86 обеспечили авиационный паритет СССР. Это дало возможность «Аэрофлоту» справиться с растущим пассажиропотоком внутри страны и обеспечить массовые перевозки на ключевых направлениях. Таким образом, двигатель и самолёт в целом помогли поддерживать и развивать авиационный потенциал СССР.

1976 год

Дебют опытного штурмовика Су-25 с двумя турбореактивными двигателями Р95Ш. Эти полеты открыли эру советских «аэробусов» и штурмовиков.

В 1976 году советская авиация отметила дебют двух значимых самолетов нового поколения, заложивших основу широкофюзеляжной и



Рисунок 95. Первый прототип штурмовика Су-25

штурмовой авиации. 22 февраля на аэродроме ЛИИ им. М.М. Громова дебютировал Т8-2Д – опытный штурмовик Су-25 (ОКБ П.О. Сухого) с двумя ТРД Р95Ш (Рыбинск, тяга $2 \times 45,1$ кН). Двигатель с $T_g=1290$ К и ресурсом 1000 ч обеспечил бронирование и маневренность на низких высотах. Эти разработки обеспечили лидерство в гражданской и боевой авиации СССР.

1977 год

Запущен в серийное производство турбореактивный двигатель Д-36

В 1977 году советское авиадвигателестроение достигло новых рубежей, продемонстрировав революционные подходы к модульности и маневренности. Первый в СССР турбореактивный двигатель Д-36 (ЗМКБ «Прогресс» им. А.Г. Ивченко) модульной конструкции из 12 взаимозаменяемых блоков прошел государственные испытания и запущен



Рисунок 96. Первый турбореактивный двигатель Д-36

в серийное производство для самолета Як-42. Двухконтурный ТРДД (тяга 63,7 кН, $\epsilon=4,4$, удельный расход 0,58 кг/кгс·ч, $T_g=1350$ К, масса 1440 кг) обеспечил скорость 830 км/ч, дальность 3000 км с 120 пассажирами и ресурс 12000 ч. С Як-42 двигатель Д-36 установил 9 мировых рекордов высоты/дальности.



В этом же году опытный истребитель МиГ-29 («9-01») совершил дебютный полет с двигателями РД-33 «нулевой серии» (ОКБ С.П. Федорова, тяга $2 \times 50/81$ кН). Двухвальный ТРД с $T_g=1420$ К позволил достичь $M=2,35$ и углов атаки 28° , не имея аналогов по маневренности.



На ЛМЗ изготовлена радиально-осевая гидротурбина мощностью 510 МВт для Саяно-Шушенской ГЭС.

1978 год

Изготовление паровой турбины К-1200-240-3 мощностью 1200 МВт

В 1978 году советское энергетическое и авиационное машиностроение достигло пика сверхкритических технологий и стратегической авиации. На Ленинградском металлическом заводе (ЛМЗ) изготовлена крупнейшая отечественная конденсационная одновальная паровая турбина



Рисунок 97. Паровая турбина К-1200-240

К-1200-240-3 мощностью 1200 МВт (макс. 1350 МВт) для работы с прямоточными котлами. Пятицилиндровая конструкция (ЦВД, ЦСД, 3×ЦНД) с сверхкритическими параметрами пара 23,5 МПа (240 кгс/см²), 540 °С (промежуточный перегрев 540 °С), частотой 3000 об/мин и расходом 736 кг/с обеспечивала КПД ~42%, длину 47,9 м и массу 1900 т. Уникальные лопатки ЦНД из титана (1200 мм) и сварной ротор НД (80 т) сделали её флагманом ТЭС СССР.



В том же году завершены государственные испытания двигателя 4-го поколения НК-25 (ОКБ Н.Д. Кузнецова, тяга 2×247,8 кН с форсажем, Т_г=1820 К, ε=5,2), запущенного в серию для ударного комплекса Ту-22М2/М3. Двухконтурный ТРДФ с ресурсом 2000 ч обеспечил М=1,88, дальность 6800 км и носку 24 т бомб.

1979 год

Турбомоторный завод выпустил головной образец теплофикационной паровой турбины Т-175/210-130

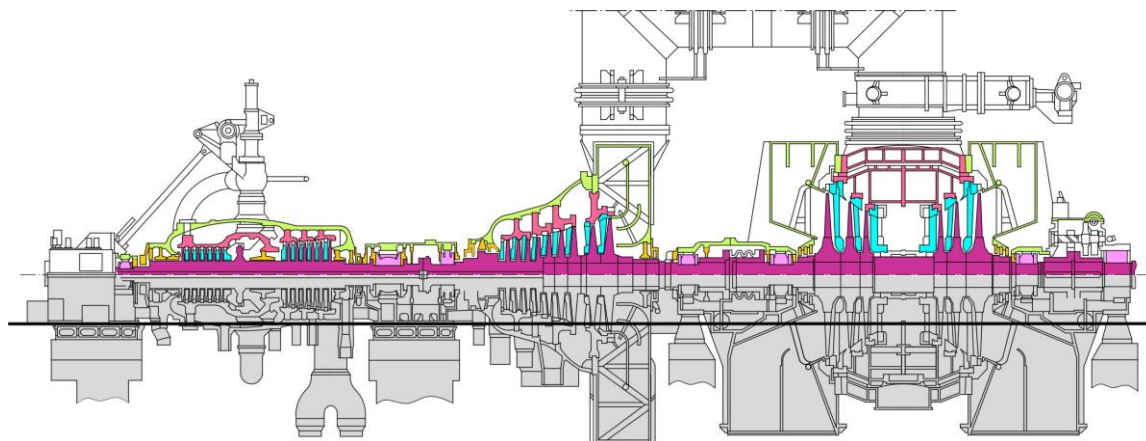


Рисунок 98. Продольный разрез турбины Т-175/210-130

ТМЗ выпустил головной образец теплофикационной паровой турбины Т-175/210-130 мощностью 175 МВт (отопительная 210 МВт) для ТЭЦ с параметрами пара 12,8 МПа, 540 °С.



Завершены госиспытания Д-30КУ-154 (Ивченко-Прогресс, тяга 107,9 кН, $\varepsilon=5,1$) для Ту-154М, обеспечив 60% гражданских перевозок СССР во 2-й пол. 1980-х.



Испытания Ми-26 завершены на Д-136 (2×11 400 кН·м, модульные, самые мощные в мире).

Эти разработки укрепили стратегический паритет СССР.

1980 год

Государственные испытания двигателя Д-30Ф6 в составе МиГ-31

Завершены государственные испытания МиГ-31 (ОКБ Микояна) на двигателях Д-30Ф6 (Пермь, Соловьев, 1979 г., тяга $2 \times 93/152$ кН, $M=2,83$). Перехватчик превзошел F-14/F-15 по дальности (1450 км), потолку (20,6 км) и первым выполнил полет над Северным полюсом (1980-е гг.).



Рисунок 99. Двигатель Д-30Ф6 на МиГ-31



В том же году советское авиадвигателестроение сделало шаг к послевоенному восстановлению, запустив серийное производство турбореактивных двигателей для фронтовой авиации. На Уфимском моторостроительном ПО (ныне НПО «Мотор») начат выпуск одноконтурных двухвальных ТРД Р95Ш для штурмовиков Су-25 («Грачи»).



Разработанный в ОКБ им. Туманского (Гаврилов, 1979 г.), двигатель Р-95Ш с тягой 45,1 кН, 9-ступенчатым компрессором ($\pi=7,2$), $T_g=1290$ К и ресурсом 1000 ч обеспечивал скорость 975 км/ч на высоте 1000 м, живучесть в бою и простоту обслуживания. Серийное производство с 1980 г. стало основой парка штурмовиков ВВС СССР.

1981 год

Первый полет Ту-160 с двигателями НК-32

В 1981 году советская авиация и космонавтика достигли ключевых вех в создании стратегических систем и сверхзвуковых носителей. 18 декабря на аэродроме КАПО в Казани состоялся первый полет опытного прототипа межконтинентального сверхзвукового бомбардировщика Ту-160 («Белый лебедь», ОКБ Туполева) с четырьмя двигателями НК-32 (ОКБ Кузнецова). Двухконтурные ТРДДФ с тягой $2 \times 137/245$ кН (форсаж), $T_g=1820$ К и переменным вектором тяги обеспечили $M=2,05$, дальность 12 300 км, взлетную массу 275 т и несение 45 т бомб/ракет. Уникальная конструкция с клипперным крылом и композитными материалами не имеет мировых аналогов по ТТХ.

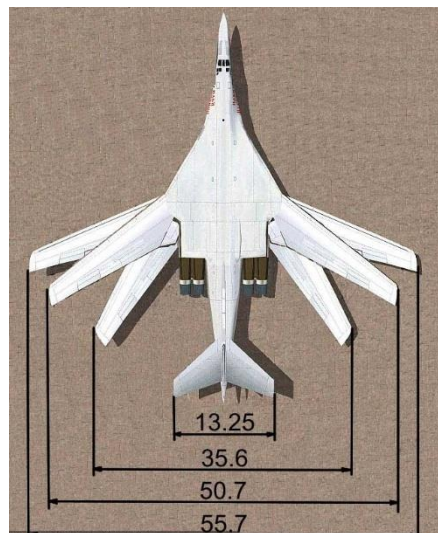


Рисунок 100. Ту-160. Советский межконтинентальный сверхзвуковой стратегический бомбардировщик-ракетоносец с крылом изменяемой стреловидности, разработанный в ОКБ Туполева в 1970-х годах



25 апреля выведен на орбиту тяжелый транспортный корабль «Космос-1267» (ТКС) массой 19,8 т для обслуживания станций «Салют». Система с двигателями 11Д428 обеспечила стыковку и дозаправку.



Начато производство ЖРД РД-170 (КБ «Энергомаш» им. Глушко, тяга 7,903 МН в вакууме) для РН «Энергия» – самого мощного в мире.

1982 год

Первый вылет самолета Ан-124 «Руслан»

В 1982 году впервые взлетел самолет Ан-124 «Руслан» (ОКБ Антонова) с четырьмя Д-18Т (ЗМКБ Ивченко, тяга 229 кН, $\varepsilon=6,6$) – «русским чудом» грузоподъемностью 150 т. Серийное производство велось на УАПК (РСФСР) и КиАПО (УССР). В производстве компонентов для самолёта в СССР участвовали более сотни предприятий.



Рисунок 101. Ан-124. Тяжёлый транспортный самолёт разработки ОКБ имени О.К. Антонова



На ТМЗ проведены заводские межведомственные испытания газовой турбины второго поколения ГТН-16 мощностью 16 МВт. Компактная одновальная ГТУ с осевым компрессором ($\pi=12,5$), камерой сгорания с 20 факелами и КПД 28% поставлялась в собранном виде на компрессорные станции газопроводов, обеспечивая привод нагнетателей на 70% объектов газовой отрасли СССР.



На ЛМЗ выпущена конденсационная паровая турбина К-800-240-5 мощностью 800 МВт для ТЭС. Пятицилиндровая одновальная конструкция (ЦВД петлевое, ЦСД, три ЦНД) со сверхкритическими параметрами пара 23,5 МПа, 540 °С, промежуточным перегревом до 540 °С, частотой 3000 об/мин и расходом 650 кг/с имела КПД 42% и приводила генератор ТВВ-800-2.

1983 год

Начато серийное изготовление первой отечественной газотурбинной установки мощностью 25 МВт

В 1983 году советское энергетическое машиностроение достигло прорыва в создании высокотемпературных газотурбинных установок, обеспечивающих модернизацию газотранспортной системы страны. На ТМЗ начато серийное изготовление газоперекачивающих агрегатов ГТН-25-1 – первой отечественной газотурбинной



Рисунок 102. Газоперекачивающий агрегат мощностью 25 МВт (ГТН-25-1)

установки мощностью 25 МВт с начальной температурой газов перед турбиной $T_{г1} > 1000$ °С. Одновальная конструкция с 14-ступенчатым компрессором и ВНА ($\pi=13,8$), кольцевой камерой сгорания и КПД 31% значительно превосходила аналоги НЗЛ (25%) по эффективности и ресурсу, обеспечивая привод нагнетателей на магистральных газопроводах типа «Уренгой–Помары–Ужгород».



В авиационном секторе испытания прошла модернизированная вертикальная посадка Як-38М (ОКБ Яковлева) с подъемными двигателями Р28В-300 (ОКБ Туманского). Тяга увеличена до 6800 кгс ($2 \times 2,8$ т + $2 \times 1,1$ т), что повысило взлетную массу до 16,8 т и дальность до 1850 км.



ЛМЗ выпустил первую паровую турбину К-1000-60/3000 для АЭС.

1984 год

МиГ-29 получил новый турбореактивный двигатель РД-33

Турбореактивный двигатель РД-33 (ЛНПО им. Климова, тяга 50/81 кН) завершил государственные испытания под руководством А.А. Саркисова, войдя в серию для МиГ-29. Двигатель отличился повышенной форсажной тягой, доработанным компрессором высокого давления, улучшенным охлаждением турбины и системой



Рисунок 103. Двигатель РД-33

защиты от солёной коррозии. Турбореактивный двигатель РД-33 до сих пор является одним из лучших в мире двухконтурных двигателей четвертого поколения в своем классе тяги.



ТМЗ произвел головные образцы теплофикационных турбин Т-110/130-130-5 для Бийской ТЭЦ и Т-185/220-130-2 с параметрами пара 12,8 МПа, 540 °С, универсальными для режимов противодавления.

1985 год

Госиспытания военного двухконтурного двигателя АЛ-31Ф.

Казанский турбинный завод начал разработку турбоустановок 3-го поколения

В 1985 году советское авиадвигателестроение и энергетика отметили ключевые достижения в создании двигателей с управляемым вектором тяги и мощных турбин для ТЭС. Создан и прошел государственные испытания военный

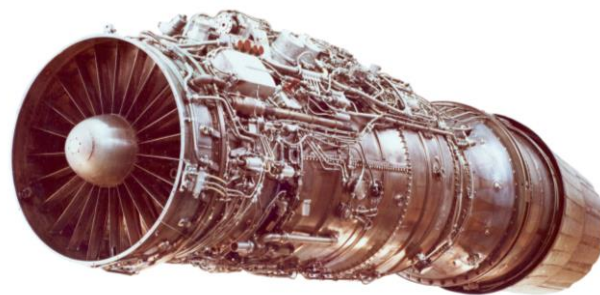


Рисунок 104. Двухконтурный двигатель АЛ-31Ф

двухконтурный турбореактивный двигатель АЛ-31Ф (ОКБ А.М. Люльки, тяга 12 500 кгс без/с форсажем 122/74,5 кН) для Су-27. По изобретению Люльки, это первый в мире ТРДДФ со штатной системой управления вектором тяги (УВТ) сверхзвукового сопла ($\pm 15^\circ$), обеспечивающей сверхманевренность (углы атаки $> 120^\circ$), $M=2,35$ и ресурс 4000 ч. Двигатель с 4-ступенчатым компрессором ЛП ($\pi_{06}=23$) радикально повысил летные качества истребителя.



На ЛМЗ выпущена конденсационная паровая турбина К-500-240-4 мощностью 500 МВт с сверхкритическими параметрами пара 23,5 МПа, 540 °С (промежуточный перегрев 540 °С), КПД 41% для ТЭС.



13 апреля – первый пуск РН «Зенит» с двигателем РД-171.

1986 год

Завершены заводские испытания головного образца газовой турбины ГТН-25-1

В 1986 году советское энергетическое машиностроение и космонавтика достигли значимых рубежей в создании высокотемпературных турбин и орбитальной инфраструктуры. На ТМЗ завершены заводские испытания головного образца газовой турбины ГТН-25-1 мощностью 25 МВт – первой отечественной ГТУ с $T_{г} > 1000$ °С.

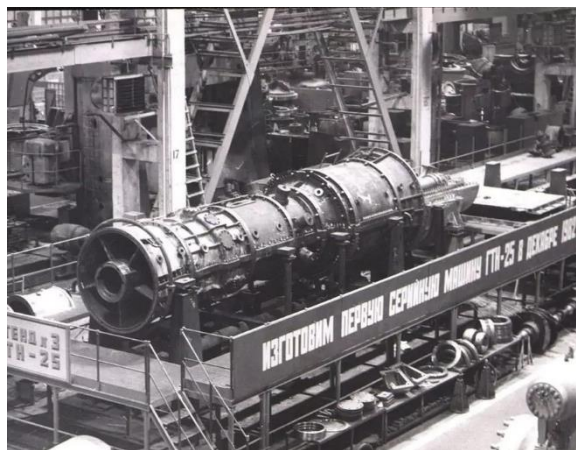


Рисунок 105. Газовая турбина ГТН-25

Одновальная конструкция с 14-ступенчатым компрессором ($\pi=13,8$), кольцевой камерой сгорания и КПД 31% обеспечила привод нагнетателей на магистральных газопроводах, превосходя аналоги по эффективности и ресурсу (25 000 ч).



«Союз Т-15» с космонавтами Л.Д. Кизимом и В.А. Соловьевым выполнил уникальные межорбитальные перелеты «Мир»–«Салют-7»–«Мир» (за 125 суток), работая на двух комплексах одним экипажем.



Под руководством С.А. Гаврилова для Су-25 разработан двигатель Р195 – модернизация Р95Ш с пониженной ИК-заметностью ($T_{г}$ снижено, сопло экранировано), тягой 45,1/73 кН.

1987 год

Первый орбитальный запуск ракеты-носителя «Энергия» с двигателями РД-170

В 1987 году советская космонавтика и авиапром отметили прорывные события в создании сверхтяжелых носителей двигателей. 15 мая с космодрома Байконур осуществлен первый орбитальный запуск ракетопосителя «Энергия» – самой мощной РН в истории (стартовая тяга 29,6 МН). Ракета-носитель «Энергия» – сверхтяжёлая двухступенчатая ракета, способная выводить на низкую



Рисунок 106. Сверхтяжелая ракета-носитель «Энергия»

околоземную орбиту до 100 тонн полезной нагрузки. Она не была жёстко привязана к «Бурану» и могла использоваться для запуска других крупных космических аппаратов. В её конструкции применялись мощные двигатели РД-0120 на жидком водороде и кислороде (на центральном блоке) и РД-170 на керосине и кислороде (на боковых ускорителях). Экологически чистая многоразовая 1-я ступень подтвердила превосходство над «Сатурн V».



Начаты летные испытания ПС-90А (ОКБ Соловьева, главный конструктор А.А. Иноземцев, тяга 16,9 тс, $\varepsilon=4,4$) на Ил-76ЛЛ для Ил-96/Ту-204 – 1-го трехосевого ТРДДД с ЭСУ.

1988 год

Запуск универсальной ракетно-космической системы «Энергия–Буран»

В 1988 году советская космонавтика и гражданская авиация достигли вершин технологического превосходства, продемонстрировав уникальные системы многоразового использования и криогенных технологий. 15 ноября с космодрома Байконур осуществлен первый и единственный запуск универсальной ракетно-космической системы



Рисунок 107. Ракетно-космическая система
«Энергия-Буран»

«Энергия–Буран». Ракета-носитель «Энергия» (стартовая тяга 29,6 МН) вывела орбитальный корабль «Буран» массой 75 т на высоту 250 км. Полностью автоматический двухвитковый полет (205 мин) с маневрами и точной посадкой на скорости 320 км/ч в условиях шквалистого ветра подтвердил работоспособность системы, не имеющей мировых аналогов.



В этом же году завершены доводочные испытания турбовентиляторного двигателя ПС-90А (ОКБ Соловьева, тяга 16,4 тс, $\varepsilon=4,4$). 6 сентября совершил первый полет Ил-96-300 с четырьмя такими двигателями – основой президентского авиапарка РФ более 20 лет.



Первый полет летающей лаборатории Ту-155 с двигателем НК-88, работающем на жидком водороде.

1989 год

Первый полет экспериментального самолета Ту-156

В 1989 году советское турбиностроение и авиация отметили важные достижения в теплоэнергетике и разработке экологически чистых силовых установок на альтернативных



Рисунок 108. Самолет Ту-156

видах топлива. 20 декабря состоялся первый полет экспериментального самолета Ту-156 – летающей лаборатории на базе Ту-154Б с двигателем НК-89 (ОКБ Кузнецова), работающим на сжиженном природном газе (СПГ, метан). Трехконтурный ТРДД с тягой 107 кН, $\varepsilon=6,8$ и расходом топлива на 30–40% ниже керосинового аналога продемонстрировал возможность применения СПГ в авиации, снизив выбросы CO_2 и стоимость топлива.



ТМЗ выпустил головной образец теплофикационной паровой турбины Т-60/65-130 для ТЭЦ с параметрами пара 12,8 МПа, 540 °С. Двухцилиндровая конструкция (ЦВД, ЦНД) с регулированием противодавления 0,5–3,5 атм и КПД 38% предназначалась для малых и средних теплоэлектроцентралей, обеспечивая комбинированную выработку тепла и электроэнергии с высокой маневренностью нагрузки.

1990 год

Введение в эксплуатацию первой в России установки ГТЭ-150 производства ЛМЗ

Разработанная в ОКБ ЛМЗ под руководством В.Г. Гусева, ГТЭ-150 на 950 °С стала альтернативой импортным ГТУ, снизив зависимость от зарубежных поставок. Агрегат с ресурсом 100000 ч и автоматизированным управлением подтвердил конкурентоспособность советской школы турбостроения в условиях переходного периода.



Рисунок 109. Газовая турбина ГТЭ-150 ЛМЗ

В 1990 году российская энергетика отметила важный этап импортозамещения в газотурбинных технологиях, внедрив отечественные установки на ключевых объектах. На ГРЭС-3 им. Р.Э. Классона АО «Мосэнерго» (Москва) введена в эксплуатацию первая в России газотурбинная энергетическая установка ГТЭ-150 на 950 °С производства Ленинградского металлического завода (ЛМЗ). К 1998 году начата модернизация ГТУ с повышением температуры газов перед турбиной до 1100 °С.

1991 год

Разработка двигателя ТВД-1500 для транспортных и сельскохозяйственных самолетов

В 1991 году российское авиадвигателестроение достигло значимого рубежа в создании турбовинтовых силовых установок нового поколения. Рыбинским конструкторским бюро «Лотус» (ныне ООО «Рыбинское КБ моторостроения»)



Рисунок 110. Двигатель ТВД-1500

разработан уникальный оригинальный турбовинтовой двигатель ТВД-1500 мощностью 1500 л.с. (1104 кВт) – первый отечественный агрегат с свободной турбиной, предназначенный для легких транспортных и сельскохозяйственных самолетов типа Як-40Т, Ан-3Т и многоцелевых вертолетов.

Двухвальная конструкция с 4-ступенчатым компрессором ЛП ($\pi=6,2$), одноступенчатой свободной турбиной и редуктором обеспечила удельный расход топлива 210 г/кВт·ч, $T_g=1250$ К и ресурс 4000 ч. ТВД-1500 отличался модульностью, простотой обслуживания и низкой стоимостью эксплуатации, превосходя импортные аналоги Pratt & Whitney PT6 по надежности в условиях российского климата.

Двигатель стал первым в РФ, прошедшим сертификационные испытания по новым правилам АП-33 (1995 г.), подтвердив соответствие международным стандартам.

1992 год

Изготовление турбины Тп-115/125-130-1 для Яванской ТЭЦ

В 1992 году российское турбиностроение продолжило поддерживать энергетическую инфраструктуру постсоветского пространства, поставляя современные агрегаты для зарубежных ТЭЦ. Уральский турбинный завод (УТЗ) выпустил головной образец паровой двухцилиндровой теплофикационной турбины Тп-115/125-130-1 мощностью 115 МВт электрической (максимум 125 МВт) для Яванской ТЭЦ в Таджикистане.

Конструкция с цилиндрами высокого (ЦВД) и низкого (ЦНД) давления, параметрами пара 12,8 МПа (130 кгс/см²), 540 °С, расходом свежего пара 490 т/ч и КПД 38%.



Рисунок 111. Яванская ТЭЦ в Таджикистане

Разработанная на базе Т-110/120-130, турбина отличалась приключенной схемой, двухпоточным ЦНД и унифицированными узлами, что упростило монтаж и обслуживание. Поставка подтвердила экспортный потенциал УТЗ в условиях экономического перехода, укрепив энергетическую кооперацию с республиками СНГ.

1993 год

С космодрома Плесецк осуществлен первый пуск конверсионной ракеты-носителя «Старт-1»

В 1993 году российская космонавтика отметила прорывные достижения в конверсионных технологиях и освоении возобновляемых источников.

25 марта с космодрома Плесецк осуществлен первый пуск конверсионной ракеты-носителя «Старт-1» (НТЦ «Комплекс-МИТ»), выведшей на орбиту экспериментальный ИСЗ «ЭКА-1» массой 170 кг для изучения микрометеороидов и космической плазмы. Твёрдотопливная РН легкого класса (стартовая масса 10,5 т, полезная нагрузка 450 кг на НЗО) на базе баллистических технологий обеспечила наклонение $82,5^\circ$ и высоту 900 км, подтвердив коммерческий потенциал.



Введена в эксплуатацию первая блочная ГеоЭС мощностью 500 кВт с турбиной КТЗ на острове Кунашир.



Рисунок 112. Пуск ракеты-носителя «Старт-1»

1994 год

Разработка первой отечественной газотурбинной установки тяжелого класса ГТД-110

Разработка ознаменовала возрождение отечественного газотурбинного производства. В 1994 году российская школа газотурбостроения, продолжая традиции советского турбинного дела, осуществляет «второй подход» к освоению мощных



Рисунок 113. Предприятие ОДК-Сатурн

газовых турбин для энергетических нужд. На базе НПО «Сатурн» разработана газотурбинная установка ГТД-110 мощностью 110 МВт – обеспечила КПД 36,6% в простом цикле.

Проект, инициированный в рамках конверсии оборонных технологий, предусматривал многоэтапные стендовые и ходовые испытания (1994–2003 гг.), включая доводку по надежности и экологическим нормам. ГТД-110, работающая на природном газе, стала альтернативой импортным ГТУ, подтвердив конкурентоспособность российских ГТУ в условиях рыночных преобразований.



Рисунок 114. ГТД-110М газотурбинный двигатель
в классе мощности 110 МВт

1996 год

Ввод в эксплуатацию первой отечественной ПГУ с комбинированным циклом ПГУ-35 «Грязовец»

В 1996 году российская энергетика отметила переход к парогазовым технологиям высокой эффективности на ключевых объектах газовой отрасли. На ОПКС «Грязовец» (Вологодская обл.) введена в эксплуатацию первая отечественная парогазовая установка с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ) с комбинированным циклом мощностью 35 МВт и рекордным КПД 37,4%. Установка базировалась на газовой турбине ГТН-25 производства НЗЛ с начальной температурой газов перед турбиной 770 °С.

Одновальная ГТУ с 12-ступенчатым компрессором ($\pi=11,5$), кольцевой камерой сгорания и отбором отработавших газов для парового котла БКЗ-25 обеспечила двухступенчатую генерацию: электрическая мощность газовой турбины 25 МВт + паровая турбина 10 МВт. Система с



Рисунок 115. ОПКС «Грязовец» (Вологодская обл.)

рекуперацией тепла снизила удельный расход топлива до 8,8 г/кВт·ч, превосходя простые циклы на 50%. ПГУ работала на природном газе, обеспечивая маневренность и резерв для газотранспортной системы «Ямал–Европа».

1997 год

Создание газовой турбины ГТД-110

В 1997 году российское энергетическое машиностроение достигло важного этапа в создании современных газотурбинных систем в рамках Федеральной целевой программы «Топливо и энергия». ГП НПКГ «Зоря»–«Машпроект» завершило создание одновальной газовой турбины ГТД-110 мощностью



Рисунок 116. Газовая турбина ГТД-110

110 МВт (КПД 36%) – турбовального двигателя для приводов электрогенераторов. Производство передано ОАО «НПО «Сатурн» по инициативе РАО «ЕЭС России» для нужд единой энергосистемы РФ. Турбина вошла в состав ГТЭ-110 (110 МВт), ПГУ-165 (165 МВт) и ПГУ-325 (325 МВт), работая на природном газе с 17-ступенчатым компрессором ($\pi=22,5$) и $T_T=1350$ °С.



Также в этом году завод им. В.Я. Климова завершил сертификацию турбовинтового двигателя ТВ7-117С (2650 л.с.) для Ил-114, подтвердив удельный расход 200 г/л.с.·ч по нормам АР МАК.

1998 год

Ввод в опытно-промышленную эксплуатацию ГПА-16РП «Урал»

АО «Авиадвигатель» завершило межведомственные испытания (МВИ) и сдало в опытно-промышленную эксплуатацию на компрессорной станции «Ординская» ООО «Газпром трансгаз Чайковский» газоперекачивающий агрегат ГПА-16РП «Урал» с ГТУ-16П цехового исполнения мощностью 16 МВт. Замена ГТК-10-4 повысила эффективность на 20%.

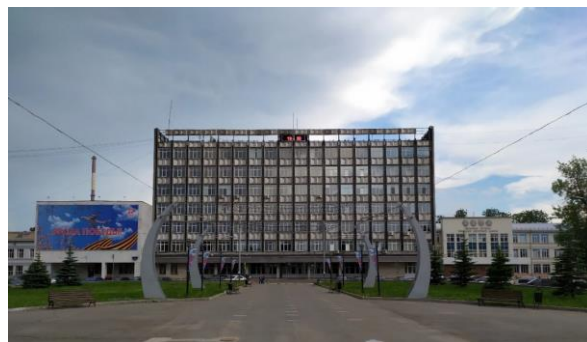


Рисунок 117. Пермский моторный завод. Российская машиностроительная компания, производит газотурбинные авиадвигатели для гражданской авиации, промышленных газотурбинных установок для электростанций и транспортировки газа



25 ноября на Верхне-Мутновской геотермальной электростанции (ГеоТЭС) на Камчатке (Мутновский вулканический район) осуществлен пробный пуск первого турбоагрегата мощностью 4 МВт производства Калужского турбинного завода (КТЗ). Конденсационная паровая турбина типа Туман-4К с однокорпусной конструкцией, лопатками из жаропрочных сталей и параметрами пара 0,8 МПа, 170 °С работала на разделенном геотермальном теплоносителе ($t=180$ °С) из скважин глубиной 1,5 км. Турбина приводила генератор ТК-4-23УЗ, обеспечивая КПД 14% и годовую выработку 25 млн кВт·ч

1999 год

Уральский турбинный завод выпустил головной образец паровой двухцилиндровой теплофикационной турбины

Экспорт ознаменовал возрождение внешнеторгового потенциала РФ. В 1999 году российское турбиностроение укрепило экспортные позиции на азиатском энергетическом рынке, поставляя современные теплофикационные агрегаты. Уральский турбинный завод (УТЗ) выпустил головной образец паровой двухцилиндровой теплофикационной турбины ПТ-90/120-130/10-1 для ТЭЦ в г. Ляоюань (провинция Цзилинь, КНР). Конструкция с цилиндрами ЦВД и ЦНД, параметрами начального пара 12,8 МПа, 540 °С, расходом 320 т/ч и регулируемыми отборами тепла обеспечивала КПД 37,5% и маневренность нагрузки.



Рисунок 118. Тепловая электростанция г. Ляоюань
(пров. Цзилинь, КНР)

Поставка подтвердила конкурентоспособность УТЗ на фоне западных производителей в условиях азиатского энергобума.

Глава 5. XXII век

2000 год

Ленинградский металлический завод изготовил конденсационную паровую турбину К-255-12,8

В 2000 году российское турбо- и двигателестроение продемонстрировало значимый прогресс в экспортных поставках, газотурбинных технологиях и вертолетных силовых установках. Ленинградский металлический завод изготовил конденсационную паровую турбину К-255-12,8 для финской электростанции «Альхольма», ставшей для ЛМЗ показательной экспортной поставкой: турбина средней мощности с использованием элементов ЦНД от крупных 1000-МВт агрегатов подтвердила высокий уровень конструкторской школы и надежность оборудования в условиях жестких европейских требований.



В этом же году АО «Авиадвигатель» провело комплексные испытания газотурбинной установки ГТУ-10П мощностью около 10 МВт с высокооборотной силовой турбиной (9000 об/мин), а также межведомственные испытания газоперекачивающего агрегата ГПА-10ПХГ «Урал», где ГТУ-10П применена как привод компрессора; такие агрегаты обеспечили повышение эффективности и ресурса магистральных газопроводов.



Параллельно завершены разработка и сертификация вертолетного турбовального двигателя ВК-2500 (семейство мощностью 2000–2700 л.с.), ставшего развитием ТВ3-117 и в различных модификациях установленного на вертолеты Ка-52/Ка-52К, Ми-28Н, Ми-35, Ми-8МТВ-5 и Ми-8АМТШ-В; использование ВК-2500 увеличивает потолок, скороподъемность и грузоподъемность машин и обеспечило России собственную современную вертолетную двигательную базу.

2001 год

Пуск двух двухпоточных паровых турбин производства Калужского турбинного завода (КТЗ)

В 2001 году российское энергетическое и ракетостроение отметило важные этапы в освоении геотермальных технологий и создании модульных паровых турбин нового поколения.

25 сентября на Мутновской геотермальной электростанции (Камчатка) осуществлен пробный пуск двух двухпоточных паровых турбин производства Калужского турбинного завода (КТЗ)

суммарной мощностью 25 МВт (1-я очередь, пусковой комплекс №1). Турбины Т-25-1,2 с однокорпусной двухпоточной конструкцией ЦНД, лопатками из нержавеющей сталей и параметрами пара 1,2 МПа, 180 °С работали на разделенном геотермальном теплоносителе из скважин ($t=225$ °С), обеспечивая КПД 15% и годовую выработку 150 млн кВт·ч.



Рисунок 119. Мутновская ГеоЭС.
Крупнейшая геотермальная
электростанция России



Уральский турбинный завод выпустил головной образец теплофикационной турбины ПТ-90/120-130/10-2 для ТЭЦ Хадавань (КНР) – аналог Ляоюань с унифицированными параметрами 12,8 МПа, 540 °С.



27 июля на НПО «Энергомаш» проведено первое огневое испытание однокамерного ЖРД РД-191 (тяга 192 тсф) для РН «Ангара» с вертикальным ТНА на керосине/ЖО и дожиганием окислительного газа.



Проведены первые огневые испытания двигателя РД-0146.

2002 год

УТЗ создал компактные конденсационные приключенные турбины («мятого» пара)

Разработка УТЗ расширила ассортимент малых турбин для децентрализованной энергетики РФ.

В 2002 году Уральский турбинный завод (УТЗ) достиг важного этапа в создании компактных конденсационных турбин для малых энергоблоков и промышленных объектов.



Рисунок 120. Уральский турбинный завод

Выпущен головной образец приключенной паровой турбины К-17-1,6 мощностью 17 МВт, рассчитанной на давление свежего пара 1,6 кгс/см² (0,16 МПа) и температуру 250–300 °С. Одноцилиндровая конструкция с приключенным парораспределением и частотой вращения 3000 об/мин обеспечивала расход мятого пара 222 т/ч, КПД 32% и максимальную мощность 21 МВт в конденсационном режиме.

2004 год

Создание газотурбинной электростанции «Урал-6000» на базе ГТУ-6П

В 2004 году российское двигателестроение достигло важного этапа диверсификации, создав блочно-модульные решения для децентрализованной энергетики.

АО «Авиадвигатель» (Пермь) разработало первую газотурбинную

электростанцию серии «Урал-6000» на базе новой газотурбинной установки ГТУ-6П номинальной электрической мощностью 6 МВт (6,1 МВт на клеммах генератора). Блочно-модульная ГТЭС включала одновальную ГТУ на базе авиадвигателя Д-30, синхронный генератор, паровой котел-утилизатор и систему управления, обеспечивая тепловую мощность 12,1 Гкал/ч и суммарный КПД в когенерационном цикле 83,8%.

18 июня осуществлена отгрузка первого агрегата для Ивановской генерирующей компании. Станция работала на природном газе (давление 16–18 кгс/см²), с температурой выхлопных газов 474 °С и расходом 33,9 кг/с, подтвердив ресурс до 100 000 ч и простоту монтажа (полная заводская готовность).

Разработка обеспечила энергообеспечение удаленных объектов РФ.



Рисунок 121. Пермский моторный завод

2005 год

Изготовление турбины Т-120/130-130-8 для Астанинской ТЭЦ-2

В 2005 году российское турбиностроение укрепило экспортные позиции на постсоветском пространстве и завершило ключевые испытания газотурбинных установок для газотранспорта. Уральский турбинный завод (УТЗ) выпустил головной образец паровой теплофикационной турбины

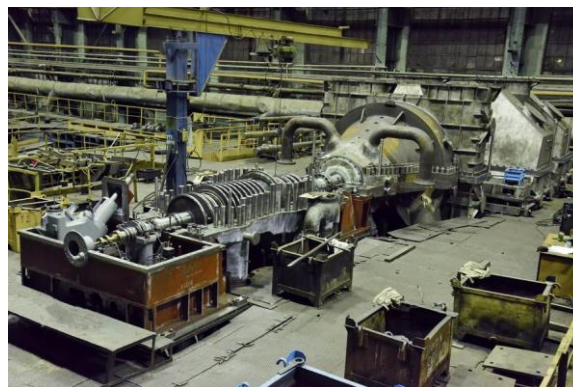


Рисунок 122. Т-120/130-12,8-8 на УТЗ

Т-120/130-12,8-8 для Астанинской ТЭЦ-2 (Казахстан). Турбина отличалась универсальностью режимов и унификацией в семействе Т-110.



В этом же году АО «Авиадвигатель» (Пермь) 28–29 ноября провело межведомственные испытания (МВИ) газотурбинной установки ГТУ-25П мощностью 25 МВт на базе газогенератора ПС-90А (КПД 39,2%). ГТУ предназначена для приводов нагнетателей ГПА-25Р-ПС на магистральных газопроводах и модернизации КС.

2006 год

Изготовление турбины Т-53/67-8,0 для Минской ТЭЦ-3

В 2006 году российское турбиностроение достигло новых рубежей в создании мощных теплофикационных турбин для комбинированных циклов и возобновило производство сверхкритических агрегатов для экспорта. Уральский турбинный завод (УТЗ) выпустил свою первую



Рисунок 123. Минская ТЭЦ-3

теплофикационную паровую турбину Т-53/67-8,0 для парогазовой установки ПГУ-230 на Минской ТЭЦ-3 (Беларусь).



Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) изготовил для индийских ТЭС «Сипат» и «Барх» первую конденсационную турбину К-660-247 мощностью 660 МВт на сверхкритических параметрах пара 24,7 МПа, 537 °С.

Пятицилиндровая конструкция с лопатками последних ступеней длиной 1200 мм из титанового сплава (первые серийные в мире такой высоты) обеспечила КПД 42% и ресурс 200 000 ч.

2007 год

Первый полет двигателя НК-93 на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ

29 августа двигатель пятого поколения НК-93 (ОКБ Н.Д. Кузнецова) совершил первый полет на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ. Работы по созданию двигателя начались в 1988 году под руководством Николая Кузнецова. Турбовинтовой ТРДД



Рисунок 124. Двигатель НК-93 на летающей лаборатории

с закапотированным соосным вентилятором (87% тяги, 177 кН суммарно) и газогенератором обеспечил экономичность на 30–40% выше аналогов, сформировав научно-технический задел для Ил-96, Ту-204, Ту-214, Ту-330 и других.



Изготовлен газотурбовоз ГТ1 с ГТД мощностью 8,3 МВт, работающий на сжиженном природном газе.

2008 год

Начало локализации газовой турбины Т-32 для ГПА-32 «Ладога»

В 2008 году российское энергетическое машиностроение начало стратегическую программу импортозамещения, осваивая выпуск современных промышленных газовых турбин. Невский завод (НЗЛ) в составе РЭП Холдинга приобрел лицензию у GE Oil & Gas (Nuovo Pignone) на производство



Рисунок 125. Т-32 в составе ГПА-32 «Ладога»

газовой турбины Т-32 (на базе MS5002E) мощностью 32 МВт и приступил к ее глубокой локализации. Турбина вошла в состав газоперекачивающего агрегата ГПА-32 «Ладога» для магистральных газопроводов с давлением до 12 МПа.

Для проекта реконструированы производственные мощности, построен уникальный испытательный стенд, подготовлены кадры.

2009 год

Пробный пуск двух паротурбинных установок ТК-35/38-3,4с

В 2009 году российское энергетическое и авиадвигателестроение достигло прорывных результатов в создании автономных ядерных установок и современных учебно-боевых ТРДД. На Калужском турбинном заводе (КТЗ) 30 сентября осуществлен пробный пуск двух паротурбинных установок суммарной мощностью 75 МВт ($2 \times 37,5$ МВт) для плавучей атомной теплоэлектростанции (ПАТЭС, проект 20870). Двухпоточные конденсационные турбины с параметрами пара 6,5 МПа, 285 °С, частотой 3000 об/мин и КПД 34%, способны обеспечивать энергообеспечение арктических поселений и портов с ресурсом 200 000 ч.



Рисунок 126. Калужский турбинный завод

В номинальном режиме ПАТЭС способна выдавать в береговые сети около 60 МВт электроэнергии и до 50 Гкал/ч тепловой энергии.



Также в этом году завершены государственные испытания двухконтурного турбореактивного двигателя АИ-222-25 (ОДК-Климов, тяга 24,5 кН, $\epsilon=4,4$, удельный расход 0,64 кг/кгс·ч), проведенные на самолетах Як-130. Двигатель с цифровой ЭСУ и $T_g=1470$ К стал базовым для учебно-боевого авиапарка РФ и экспортных поставок.

2010 год

РЭП Холдинг запустил в серийное производство газоперекачивающий агрегат ГПА-32 «Ладога»

В 2010 году российское энергетическое, авиационное и ракетостроение отметили переход к серийному производству современных силовых установок и завершение ключевых испытаний двигателей нового поколения.



Рисунок 127. Газоперекачивающий агрегат ГПА-32 «Ладога»

РЭП Холдинг запустил в серийное производство газоперекачивающий агрегат ГПА-32 «Ладога» на газовой турбине Т-32 мощностью 32 МВт.



Также в этом году 29 сентября на Л-31 «Су-27ЛЛ» начались летные испытания двигателя пятого поколения АЛ-41Ф1 (Сатурн, тяга 88/147 кН) для Су-35/57. ТРДДФ с управляемым вектором тяги ($\pm 15^\circ$) и цифровой ЭСУ подтвердил сверхманевренность и ресурс 4000 ч.



ЖРД РД-191 (Энергомаш) прошел полный цикл огневых стендовых испытаний и три пуска в составе УРМ-1 РН «Ангара» (керосин/ЖО, вертикальный ТНА), обеспечив готовность к летным испытаниям.

2011 год

Белоярская АЭС-4 получила конденсационную паровую турбину К-800

В 2011 году группа «Силовые машины» (филиал ЛМЗ) достигла значимых успехов в создании турбин для АЭС нового поколения с реакторами ВВЭР-1200 и



Рисунок 128. Белоярская АЭС

БН-800. В апреле успешно завершены испытания головного образца конденсационной паровой турбины К-800-130/3000 мощностью 885 МВт для 4-го энергоблока Белоярской АЭС (реактор БН-800). Пятицилиндровая конструкция (ЦВД, ЦСД, три ЦНД).



В том же году изготовлен головной образец турбины К-1200-6,8/50 мощностью 1200 МВт для Нововоронежской АЭС-2 (проект «АЭС-2006», реакторы ВВЭР-1200). Одноцилиндровый ЦВД + 4 ЦНД с параметрами насыщенного пара 6,8 МПа, 283,8 °С, площадью выхлопа 90,4 м² и массой 2200 тонн стал основой серии для Ленинградской АЭС-2.



В 2011 году создана компания «Турбосервис» – один из крупнейших поставщиков сервисного обслуживания энергетических ГТУ в РФ. За 15 лет работы предприятие осуществило трансфер технологий, освоило уникальные компетенции по восстановлению компонентов горячего тракта и обучило собственных профильных специалистов, что позволило ей стать ведущим сервис-провайдером энергетических газовых турбин большой мощности.

2012 год

Краснодарская ТЭЦ подготовлена к обеспечению энергоснабжения Олимпиады-2014

В 2012 году Уральский турбинный завод (УТЗ) достиг важного этапа в создании паровых турбин для высоко-мощных парогазовых установок, обеспечив энергетическую безопасность олимпийского



Сочи. Введена в эксплуатацию

Рисунок 129. Краснодарская ТЭЦ

паровая теплофикационная турбина Т-113/145-12,4 номинальной мощностью 113 МВт электрической в составе трехконтурной ПГУ-410 с промежуточным перегревом пара на реконструируемой Краснодарской ТЭЦ (для Сочи-2014). Трехцилиндровая конструкция (ЦВД, ЦСД, ЦНД) с параметрами высокого давления 12,4 МПа, 563 °С (промежуточный перегрев 3,0 МПа, 560 °С), расходом свежего пара 317 т/ч и КПД 39%. Турбина работает в связке с газовой турбиной М701F4 (303 МВт), подняв общую мощность ТЭЦ на 410 МВт (+50%) и снизив удельный расход топлива на 25%.

2013 год

Завершение огневых испытаний двигателя РД-193 для ракеты-носителя «Союз-2.1в»

НПО «Энергомаш» завершило (керосин/ЖО, тяга 200 тсф) с вертикальным ТНА и дожиганием окислительного газа для РН легкого класса «Союз-2.1в». Двигатель представляет собой упрощённую версию РД-191, отличается отсутствием узла качания камеры и связанных с ним других конструктивных элементов. Это позволило уменьшить габариты и массу (на 300 кг), а также снизило стоимость двигателя.

огневые испытания ЖРД РД-193



Рисунок 130. НПО «Энергомаш» имени академика В.П. Глушко. Является разработчиком и производителем мощных жидкостных ракетных двигателей первой ступени для ракет-носителей космического назначения



Уральский турбинный завод (УТЗ) завершил производство головного образца паровой теплофикационной турбины Т-63/76-8,8 для двухконтурной ПГУ-230. Одноцилиндровая конструкция с параметрами пара 8,8 МПа, 525 °С, впервые в истории ФИПС получила патент на инновационную концепцию: два отопительных отбора (конденсатный и подпиточный) и один производственный в едином корпусе, обеспечивая маневренность нагрузки и теплоснабжение.

Турбина стала базой модульной серии для ПГУ/ПСУ, унифицировав производство и снизив капитальные затраты на 20%.

2014 год

Ввод в эксплуатацию турбины Тп-35/40-8,8 на Новокуйбышевской ТЭЦ-1

В 2014 году Уральский турбинный завод (УТЗ) реализовал инновационную схему когенерации на Новокуйбышевской ТЭЦ-1 (Самарская обл.), введя в эксплуатацию паровую теплофикационную турбину Тп-35/40-8,8. Одноцилиндровая конструкция с параметрами пара 8,8 МПа, 525 °С работает по уникальной схеме от стационарного коллектора свежего пара: три параллельных котла-утилизатора (КУ) ГТУ + три паровых котла (ПК) подают пар в общий коллектор, обеспечивая гибкую регулировку нагрузки и суммарный тепловой отбор.



Рисунок 131. Уральский турбинный завод

Интеграция в ПГУ позволила повысить общую эффективность ТЭЦ до 85%, минимизировать простои и оптимизировать топливный баланс.



Компания «РОТЕК» (далее РКМ) запустила в серийное производство уплотнения для паровых и газовых турбин с использованием уникального сотового материала.

2015 год

Отгрузка турбин ТНД-17 для атомного ледокола «Арктика»

В 2015 году российское судостроение и авиадвигателестроение достигли ключевых вех в создании силовых установок для арктического флота и гражданской авиации.

Уральский турбинный завод отгрузил турбины низкого давления ТНД-17,

конденсатор в титановом исполнении и блоки эжекторов для универсального атомного ледокола «Арктика» проекта 22220 (водоизмещение 33,5 тыс. т, длина 173,3 м).



Также в этом году начались первые летные испытания турбовентиляторного двигателя ПД-14 (тяга 14 тс, $\varepsilon=8,5$, КПД 50%) на летающей лаборатории Ил-76ЛЛ №0807 (9 полетов, В=12 км). Двухвальный ТРДД с ЭСУ подтвердил характеристики для самолета МС-21.



Рисунок 132. Универсальный атомный ледокол «Арктика» проекта 22220

2016 год

Отгрузка первой одноцилиндровой турбины К-60-12,8 для Сахалинской ГРЭС-2

Турбина обеспечила энергобезопасность Сахалина и серию для Дальнего Востока. В 2016 году Уральский турбинный завод (УТЗ) укрепил позиции в арктической и дальневосточной энергетике, обеспечив развитие автономных ГРЭС. Завод отгрузил первую одноцилиндровую конденсационную паровую турбину К-60-12,8 мощностью 60 МВт

для первой очереди Сахалинской ГРЭС-2 (г. Южно-Сахалинск, ПАО «РусГидро»). Конструкция без регулирующей ступени, с двухвенечным парораспределением и 17 ступенями давления, параметрами пара 12,8 МПа, 560 °С и расходом 788 т/ч обеспечивала КПД 40%, высокую маневренность и выработку 420 млн кВт·ч/год на угольном топливе. Турбина приводит генератор ТФ-63-2У3 в связке с котлом Е-230-13,8-560 КБТ, заменив устаревшие мощности старой ГРЭС.



Рисунок 133. Сахалинская ГРЭС. Тепловая электростанция мощностью 120 МВт, расположенная на острове Сахалин вблизи с. Ильинское Томаринского района. Построена с целью увеличения общей мощности энергосистемы острова с учетом обеспечения потребностей перспективного развития экономики

2017 год

Изготовление турбины Т-295/335-23,5 для ТЭЦ-22

ПАО «Мосэнерго»

В 2017 году Уральский турбинный завод (УТЗ) достиг выдающихся успехов в модернизации городской энергетики и арктического ледокольного флота, поставив турбины мирового уровня.

УТЗ изготовил самую современную теплофикационную паровую турбину Т-295/335-23,5 номинальной мощностью 295 МВт электрической – крупнейшую в мире – для реконструкции энергоблока №9 ТЭЦ-22 ПАО «Мосэнерго». Четырехцилиндровая конструкция (ЦВД, два ЦСД, ЦНД) с параметрами сверхкритического пара 23,5 МПа, 565 °С, заменила выработавшие ресурс турбины Т-250-240.

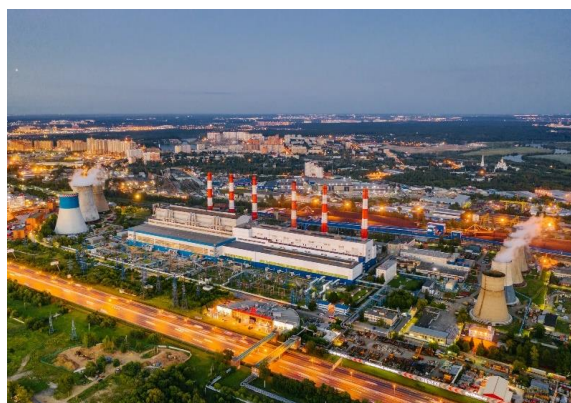


Рисунок 134. ТЭЦ-22 «Мосэнерго»



В этом же году завод «Киров-Энергомаш» отгрузил главный турбогенератор правого борта ледокола «Арктика» проекта 22220. Турбину низкого давления ТНД-17 для него, титановый конденсатор и блоки эжекторов разработал и изготовил УТЗ.

2018 год

Получение сертификата Росавиации на двигатель ПД-14

17 октября Росавиация выдала сертификат типа турбовентиляторному двигателю ПД-14 (ОДК-Авиадвигатель, тяга 14 тс, $\epsilon=8,5$, удельный расход 0,52 кг/кгс·ч) после 150-часовых испытаний. Двухвальный ТРДД с ЭСУ стал базовым для самолета МС-21, подтвердив импортозамещение в гражданской авиации.



Рисунок 135. Новейшие российские двигатели для авиации



В этом же году Уральский турбинный завод (УТЗ) продолжил экспортную поставку на постсоветское пространство, поставив современные теплофикационные турбины для модернизации крупных ТЭЦ. Завод изготовил новую паровую турбину Т-120-NG мощностью 150 МВт – девятую модификацию «сотки» – для Минской ТЭЦ-3 (РУП «Минскэнерго»). Одноцилиндровая конструкция с параметрами пара 12,8 МПа, 560 °С, обеспечив маневренность ТЭЦ.

Эти события укрепили энергетику СНГ и авиационную промышленность РФ.

2019 год

Создание первой российской турбины для мусоросжигательных заводов

В 2019 году Уральский турбинный завод (УТЗ) сделал значимый шаг в развитии энергетики на основе переработки отходов, создав специализированную паровую турбину для мусоросжигательных предприятий. Завод провёл стендовые испытания и отгрузил заказчику первую одноцилиндровую конденсационную турбину с осевым

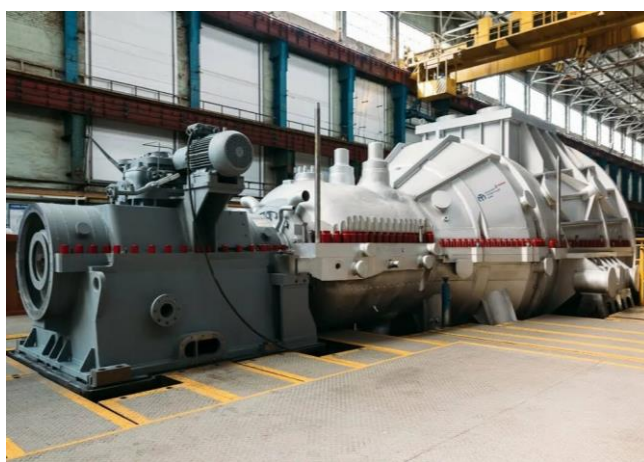


Рисунок 136. Паровая турбина Кп-77-6,8 для современных мусоросжигательных заводов

выхлопом Кп-77-6,8 для современных мусоросжигательных заводов Подмосковья в рамках проекта «Энергия из отходов». Турбина мощностью 77 МВт при параметрах пара 68 бар и 460 °С имеет относительный внутренний КПД около 85%, что сопоставимо с крупными энергоблоками на сверхкритических параметрах (240 бар, 600 °С), но при значительно более низких давлениях и температурах. Ключевая особенность – осевой выхлопной патрубок и работа с воздушной конденсационной установкой, что исключает тепловое воздействие на водные объекты и упрощает размещение завода вблизи крупных городов. Турбина полностью цифровизирована и оснащена системой прогностического мониторинга «ПРАНА», что снижает эксплуатационные расходы и повышает надежность.

2020 год

Заложена основа импортонезависимости программы МС-21

В 2020 году российское гражданское авиастроение вышло на новый уровень технологической самостоятельности, приступив к летным испытаниям магистрального самолета с полностью отечественной силовой установкой. 15 декабря на аэродроме Иркутского авиационного завода состоялся первый полет лайнера МС-21-310, оснащенного двумя турбовентиляторными двухконтурными двухвальными двигателями ПД-14 разработки «ОДК-Авиадвигатель» (генеральный конструктор – академик А.А. Иноземцев).



Рисунок 137. Александр Александрович Иноземцев – академик РАН, российский учёный, специалист в области авиационных двухконтурных двигателей, энергетических газотурбинных установок и газотурбинных электростанций

Полет продолжался 1 час 25 минут на высотах до 3500 м и скоростях до 450 км/ч; экипаж проверил работу силовой установки во всех основных режимах, устойчивость и управляемость самолета, функционирование бортовых систем. Двигатель ПД-14 тягой около 14 тс с степенью двухконтурности 8,5 и одобренной ресурсной программой стал первым за постсоветский период серийным российским ТРДД для гражданской авиации.

2021 год

Роскосмос сообщил об успешных огневых испытаниях двигателя РД-0146Д-1

В 2021 году российское энергетическое машиностроение достигло уникального технологического превосходства, освоив производство турбин обоих типов вращения для АЭС нового поколения. На Ленинградском металлическом заводе («Силовые машины») успешно прошли заводские испытания первого образца тихоходной



Рисунок 138. Курская АЭС-2 в ходе строительства

паровой турбины К-1255 мощностью 1255 МВт для энергоблоков Курской АЭС-2 по проекту «ВВЭР-ТОИ» (реакторы ВВЭР-1200+). Турбина с частотой 1500 об/мин, расходом пара 6700 т/ч и КПД 43% подтвердила точность сборки вращением от валоповоротного устройства, став единственной в мире серийной тихоходной разработкой на площадке, выпускающей также быстроходные турбины (3000 об/мин).



В этом же году УТЗ отгрузил паровую двухцилиндровую теплофикационную турбину ПТ-150/160-12,8 с подводом свежего пара и пара промперегрева в одну горячую зону ЦВД для новых ТЭЦ.



Роскосмос сообщил об успешном испытании двигателя РД0146Д-1.

2022 год

Красноярская ТЭЦ-3 успешно провела стендовые испытания паровой турбины

В 2022 году Уральский турбинный завод (УТЗ) укрепил лидерство в производстве высокомоощных теплофикационных турбин нового поколения для модернизации сибирской энергетики. Завод успешно провел стендовые испытания и отгрузил заказчику паровую турбину Т-185/220-12,8-NG мощностью

185 МВт электрической (220 МВт в

конденсационном режиме) для нового энергоблока №2 Красноярской ТЭЦ-3 (ПАО «ЕВРАЗ энергетические компании»). Трехцилиндровая конструкция (ЦВД, ЦСД, ЦНД) с параметрами пара 12,8 МПа, 560 °С, расходом свежего пара 650 т/ч оснащена цифровой ЭСУ и системой прогностического мониторинга.



Компания «Турбосервис» успешно осваивает уникальную концепцию долгосрочного технического обслуживания ГТУ западных производителей.



Рисунок 139. Красноярская ТЭЦ-3. Тепловая электростанция в Красноярске, одна из крупнейших и старейших ТЭЦ Сибири

2023 год

Создание отечественных газовых турбин большой мощности ГТД-110М и ГТЭ-170

В 2023 году российское энергетическое машиностроение достигло ключевого этапа импортозамещения в сегменте высокомошных газовых турбин для современных парогазовых установок.

Объединенная двигателестроительная корпорация (ОДК) изготовила первую серийную газовую турбину ГТД-110М мощностью 110 МВт, которая успешно прошла стендовые и наладочные испытания на Ивановских ПГУ (г. Иваново). Турбина обеспечила электрический КПД 39,3% и ресурс между ремонтами 25 000 ч, работая на природном газе с низкими выбросами NO_x .



Рисунок 140. Ивановские ПГУ. Парогазовая электростанция в городе Комсомольск



В этом же году «Силовые машины» завершили сборку головного образца газовой турбины ГТЭ-170 – первого отечественного рабочего прототипа мощностью 170 МВт. Турбина с одновальным компрессором, 4-ступенчатой турбиной и цифровой ЭСУ предназначена для дубль-блока ПГУ-450 и подтвердила готовность к серийному производству.



Журнал «Турбины и Дизели» включается в перечень ВАК и становится коммуникационной площадкой для ученых, инженеров и изобретателей в сфере энергетического машиностроения.

2024 год

Первые контрольно-технологические испытания двигателя РД-191М для ракеты-носителя «Ангара-А5М»

В 2024 году российское энергетическое и ракетостроение достигло важных этапов в освоении отечественных силовых установок высокой надежности. Первая серийная газовая турбина ГТД-110М производства ОДК успешно завершила комплексные испытания на

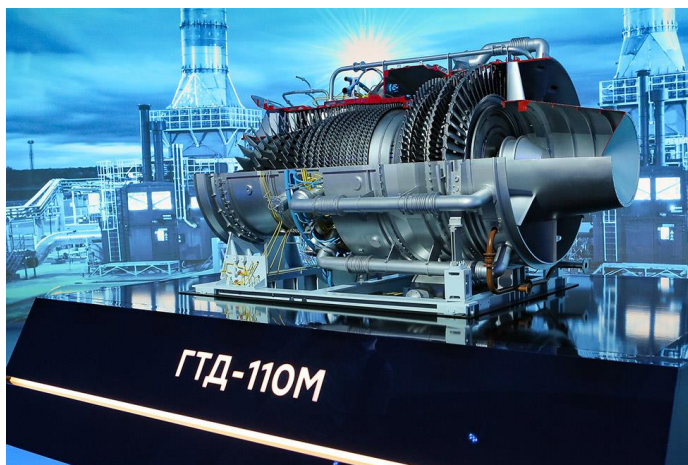


Рисунок 141. Макет газовой турбины ГТД-110М производства ПАО «ОДК-Сатурн»

третьем энергоблоке ТЭС «Ударная» (Краснодарский край, «Технопромэкспорт», Ростех). Турбина мощностью 110 МВт отработала 72 часа на максимальной нагрузке, подтвердив электрический КПД 39,3%, ресурс 25 000 ч и низкие выбросы NO_x при работе на природном газе.



В этом же году НПО «Энергомаш» (Роскосмос) провело первые контрольно-технологические испытания однокамерного ЖРД типа РД-191М (керосин+ЖО, тяга ~200 тс) для ракеты-носителя тяжелого класса «Ангара-А5М». Двигатель с вертикальным ТНА и дожиганием окислительного газа подтвердил соответствие ТЗ после доводочных стендовых работ.

2025 год

**Российское энергетическое и авиационное машиностроение
отметило значительные успехи в создании
высокопроизводительных отечественных ГТУ**

Группа «Силовые машины» успешно завершила программу заводских контрольных испытаний первой инновационной газовой турбины ГТЭ-170.1 мощностью 170 МВт. Турбина с одновальной компоновкой, 17-ступенчатым компрессором (степень сжатия 22:1), кольцевой КС и трехступенчатой турбиной подтвердила электрический КПД, ресурс и низкие NO_x -выбросы ($\leq 25 \text{ ppm}$). Это обеспечило готовность к серийному выпуску для ПГУ-450С.



Рисунок 142. Газовая турбина ГТЭ-170.1 производства «Силовые машины»



В этом же году турбовинтовые двигатели ТВ7-117СТ-01 (ОДК-Климов) наработали свыше 2000 часов на самолётах Ил-114-300 в рамках сертификационных лётных испытаний. Силовая установка (2×ТВ7-117СТ-01, мощность 3100 л.с., 1750 °С) превосходит Pratt & Whitney PW127 по удельному расходу топлива (230 г/кВт·ч) и ресурсу (6000 ц/п). Ил-114-300 стал первым региональным самолётом на полностью отечественных турбовинтовых двигателях.



Высокотехнологичная компания «РОТЕК Компоненты и Материалы» освоила уникальную технологию производства щётчных уплотнений для энергетики и авиации.

2026 год

Ил-114-300 и двигатель ПД-8 получили сертификаты для серийного производства

Росавиация вручила сертификаты типа на региональный турбовинтовой самолет Ил-114-300 и новый двигатель ПД-8 для самолета «Суперджет». Выдача сертификата типа на Ил-114-300 – «входной билет» на отечественный рынок гражданской авиации.



Рисунок 143. Новый региональный турбовинтовой самолет Ил-114-300

Предприятия Ростеха провели глубокую модернизацию практически всех систем воздушного судна. Ил-114-300 полностью адаптирован к низким температурам, что позволяет эксплуатировать его в самых разных климатических условиях, включая Арктику и труднодоступные территории. В ходе сертификации опытные Ил-114-300 выполнили порядка 350 полетов, подтвердив надежность и безопасность. В том числе самолет испытывали экстремальными холодами – в Якутске длительная стоянка проходила при температурах до –45 градусов.



Двигатель ПД-8 – полностью отечественная разработка. Его головным разработчиком и производителем является предприятие «ОДК-Сатурн» (входит в ОДК госкорпорации Ростех). ПД-8 успешно прошел комплекс испытаний на стендах, летающей лаборатории и самолетах «Суперджет». Общая наработка опытных двигателей этой серии превысила 6,5 тыс. часов.

При создании ПД-8 были применены 25 новейших отечественных материалов и передовых технологии, 17 из которых не имеют аналогов

Серия научно-технических изданий «Формула турбин»

Култышев Алексей Юрьевич
Шевченко Олег Викторович
Иващенко Александр Михайлович

ФОРМУЛА РОССИЙСКОЙ ТУРБИНЫ

Монография

Под общей редакцией д. т. н. А. Ю. Култышева



Подписано в печать 17.07.2026. Формат 70×100/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 12,10. Тираж 732. Заказ 3725.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.