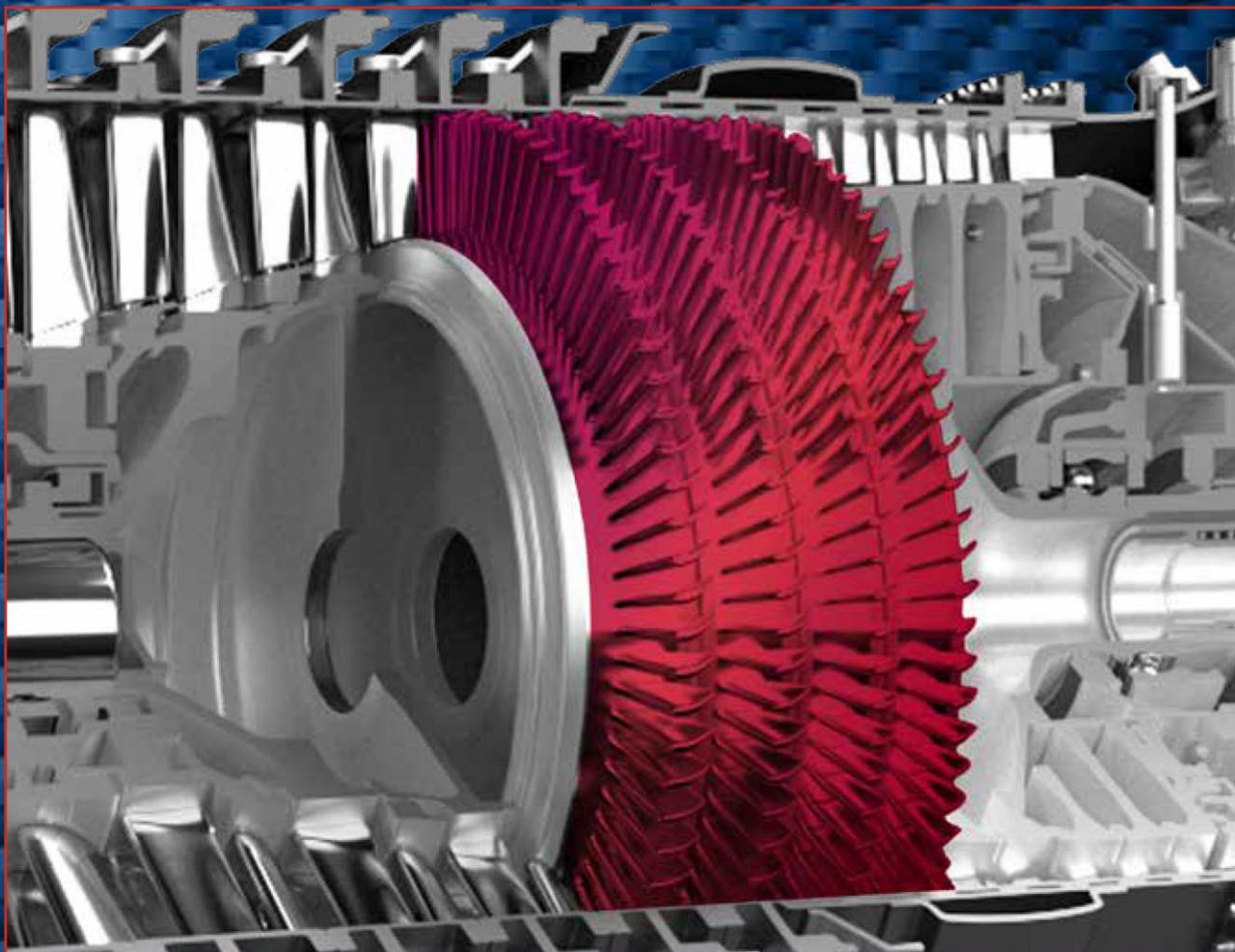


КОТЕЛЬНИКОВ В. Р., ИЗОТОВ Д. П., ЗРЕЛОВ В. А.



# ДВИГАТЕЛИ ВЕРТОЛЁТОВ РОССИИ

УДК 621.431.75  
ББК 39.5г



**Зрелов В. А., Изотов Д. П., Котельников В. Р.**  
**Двигатели вертолётов России** / Под общ. ред. В. В. Горшеникова. – Рыбинск : Медиарост, 2020. – 332 с. : илл.  
ISBN 978-5-906071-37-8

Научные редакторы: д. т. н. В. А. Зрелов, Н. В. Якубович

В заключительной книге трилогии, посвящённой развитию отечественного авиационного двигателестроения, в обобщенном виде представлена информация о двигателях вертолётов. Описаны пути становления отечественного вертолётостроения, приведены сведения о параметрах, конструктивных схемах и конструкции основных элементов поршневых и газотурбинных вертолётных двигателей, а также вертолётах, на которых они применялись.

Как в предыдущих книгах этой серии, здесь приведены наиболее интересные факты и воспоминания участников проектирования, производства, испытания и эксплуатации этой сложной наукоемкой техники.

Книга хорошо иллюстрирована. Сведения об основных параметрах двигателей представлены в табличном виде, удобном для их анализа.

В её заключительной части приведены линии трендов некоторых параметров, позволяющие оценить уровень технического совершенства двигателей на каждом этапе их развития.

Издание предназначено для широкого круга читателей.

# ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Несмотря на интенсивное развитие и расширение области применения вертолётов, среди публикаций, посвящённых авиационной технике, лишь малая часть касается рассмотрения вопросов, относящихся к вертолётным двигателям. Для восполнения этого пробела создана книга «Двигатели вертолётов России», являющаяся заключительной частью трилогии, посвящённой развитию отечественной авиации. Авторы стремились сохранить единым стиль изложения, структуру и оформление этих книг.

Так же как в предыдущих частях, здесь представлены два основных типа двигателей, используемых в авиации: поршневые и газотурбинные. Описаны особенности вертолётных двигателей, принципы их работы, конструктивные схемы и элементы конструкции.

Расширение области применения авиационных двигателей как по высоте

и скорости полёта, так и по их эксплуатационным особенностям, связанным с климатическими условиями, наличием пыли, турбулентности атмосферы, порывам ветра, взаимодействию с летательным аппаратом и др., потребовало постоянного совершенствования конструкции двигателей, поиска новых материалов, разработки новых технологических процессов.

Решение подобных проблем применительно к отечественным самолётным двигателям описано в наших первых двух книгах.

Область применения и способы эксплуатации вертолётов и самолётов имеют различия, что налагает специфические требования к их двигателям.

Требования к вертолётным двигателям, особенности их компоновки в составе силовых установок вертолётов, отражены в предлагаемом издании.

Основное внимание в книге уделено серийным вертолётным двигателям,

производившимся в России, в тоже время, здесь упоминаются и некоторые опытные образцы, проходившие испытания, а также ряд нереализованных проектов.

Помимо описания двигателей, в книге представлены сведения о вертолётах, для которых они были созданы, описаны достижения отечественного вертолётостроения, отмечены проблемы, возникавшие при создании новых образцов этой сложной техники, и показаны пути и способы решения этих проблем.

Как в первых двух книгах, здесь приведены сведения о выдающихся отечественных конструкторах и их конструкторских школах. Значительное место в издании уделено воспоминаниям людей, чьим трудом разрабатывалась, производилась, испытывалась и эксплуатировалась одна из лучших в мире отечественная вертолётная техника.

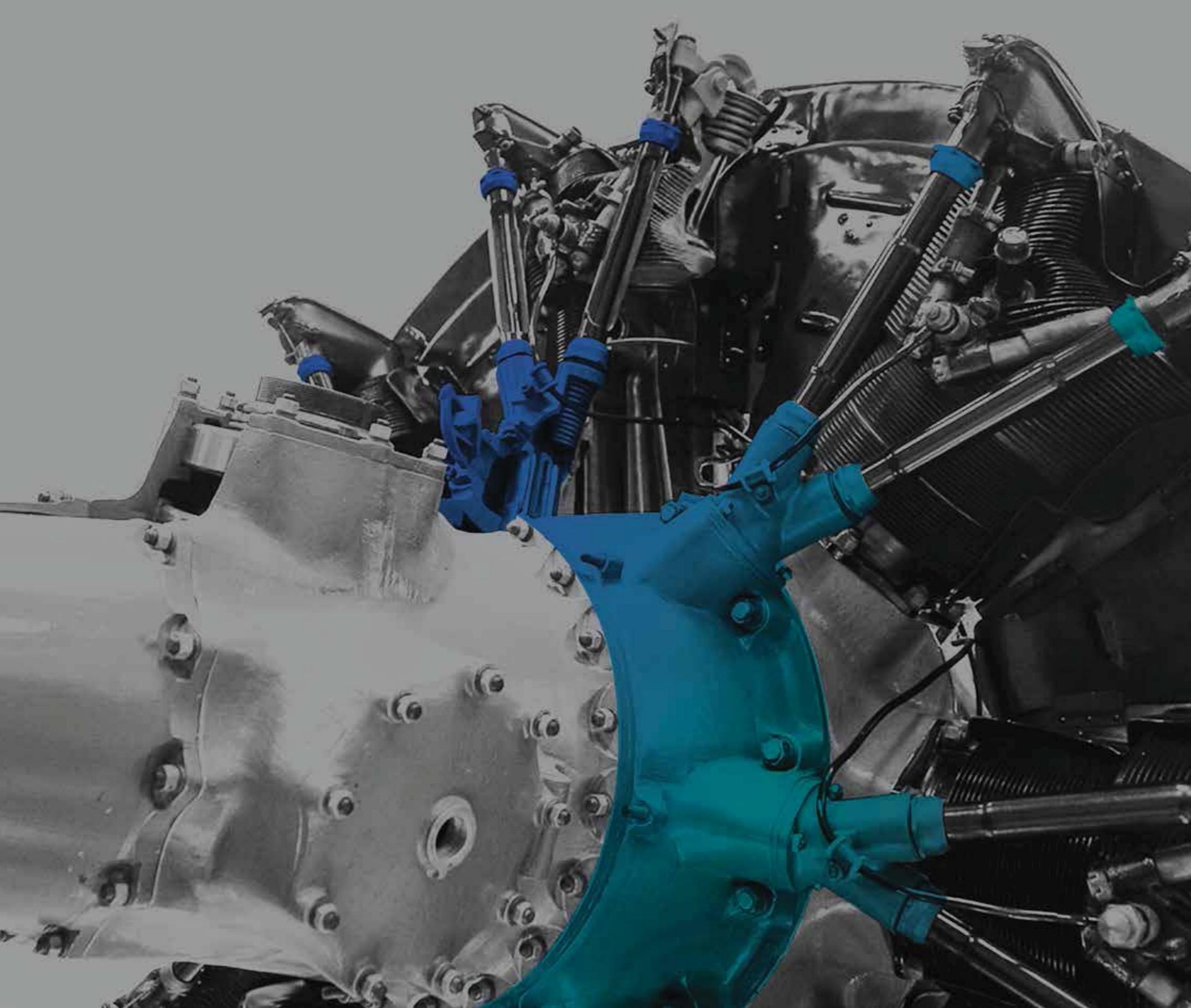
При описании вертолётных двигателей в книге представлены сведения об ос-

новных параметрах двигателей и датах их создания, испытания и производства. Эта информация позволит пытливому читателю самостоятельно построить графики изменения параметров по времени (линии трендов), попытаться спрогнозировать их возможные значения в будущем и побудить к творчеству, предложить, например, своё видение перспективных конструкций, материалов и технологий и, возможно, привлечёт молодёжь в эту сферу деятельности.

Так же как предыдущие книги трилогии, данное издание не является энциклопедией или справочником. Это - популярная публикация, рассчитанная на широкий круг читателей: школьников, студентов, научных работников, сотрудников и преподавателей ВУЗов, а также всех, интересующихся вертолётным двигателестроением. Книга может быть полезна работникам проектных, производственных и эксплуатирующих вертолётную технику

предприятий и организаций. Её цель - дать по возможности исчерпывающую и понятную картину результатов труда учёных, инженеров, рабочих, лётчиков и техников, благодаря которым отечественные вертолётные двигатели заняли достойное место в мировом вертолётостроении.

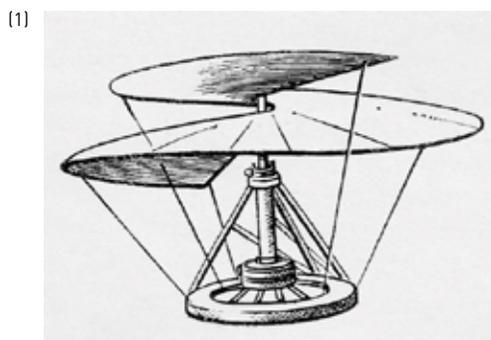
В. А. Зрелов,  
д. т. н., профессор кафедры конструкции  
и проектирования двигателей  
летательных аппаратов  
Самарского национального  
исследовательского университета  
им. академика С.П. Королёва,  
почётный работник  
высшего профессионального  
образования РФ



# ЧАСТЬ 1

ПОРШНЕВЫЕ  
МОТОРЫ

# ВЗЛЕТАЮЩИЕ ВЕРТИКАЛЬНО



**Идея подняться в небо при помощи вращающегося винта возникла давно, более пятисот лет назад. Но решение задачи оказалось непростым и заняло много лет. В результате работоспособный вертолет (вертолет) появился намного позже, чем аэроплан.**

Саму идею вертолета впервые высказал еще Леонардо да Винчи в XV веке. Только винт у него был архимедов, вроде шнека у мясорубки, имевший деревянный каркас и обтянутый полотном. Приводила его во вращение мускульная сила человека. Полететь такой вертолет, конечно, не мог. Великий Леонардо об этом не узнал, поскольку ограничился эскизом и словесным описанием изобретения.

Через три века М. В. Ломоносов построил «аэродромическую машинку», называвшуюся также «воздухобежной» с приводом от часовой пружины. Она действительно летала. Но это была лишь маленькая модель, демонстрировавшая возможность полета аппарата тяжелее воздуха. Более того, ни в одном документе не приводится точное ее описание. Есть даже версия, что это был не вертолет, а орнитоптер (махо-лет – аппарат с машущим крылом).

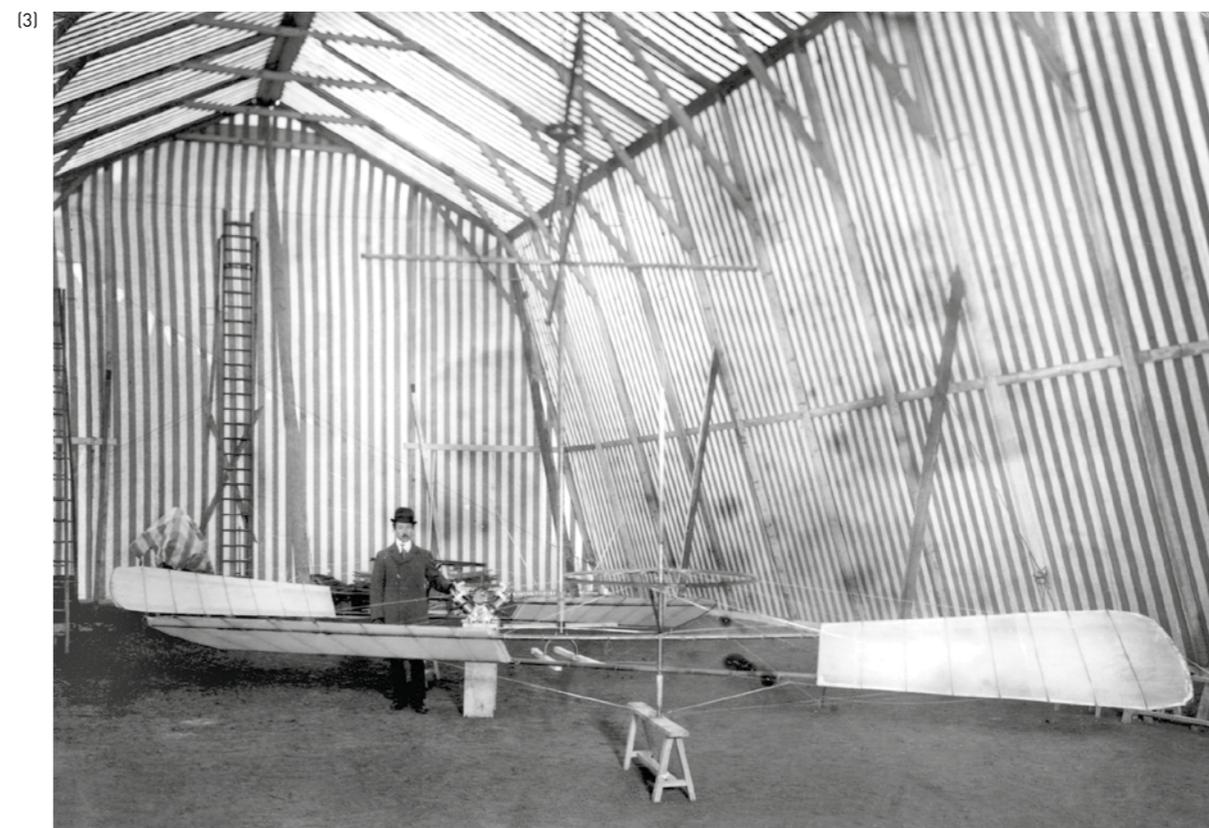
(1)  
Рисунок вертолета  
Леонардо да Винчи

(2)  
Предполагаемая  
модель  
аэродинамической  
машинки Ломоносова

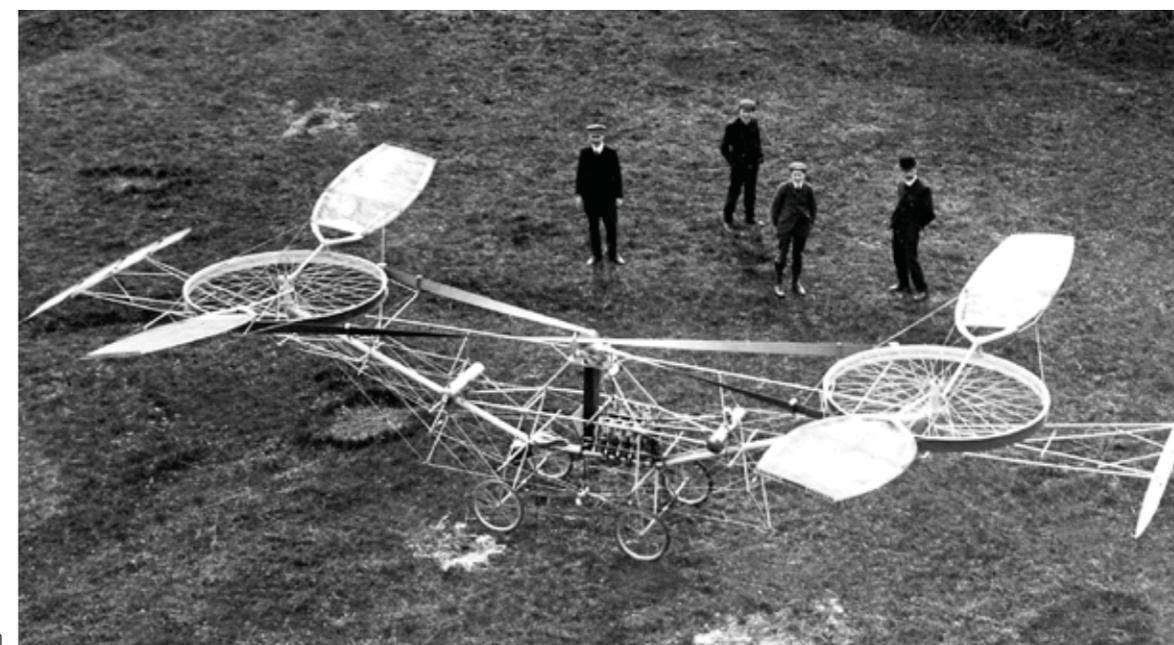
В XIX веке возникло много проектов вертолетов (геликоптеров) с паровыми двигателями, ни один из которых не реализовали. Даже если бы эти летательные аппараты построили, мощности не хватило бы для подъема в воздух – слишком тяжелы были паровые машины. В 1905 г. М. Леже в Монако экспериментировал с электроприводом на вертолете соосной схемы. Электромотор стоял на аппарате, но питался энергией через кабель. В начале 1906 г. машина Леже упала и разбилась.

Ситуацию изменило применение двигателей внутреннего сгорания. В том же 1906 г. живший во Франции бразилец А. Сантос-Дюмон построил вертолет с мотором «Антуанетт» мощностью 24 л. с. (по тем временам – много!). По схеме он являлся не совсем вертолетом, а скорее винтокрылом, имея два несущих и один тянущий винт. Но первые же попытки поднять его в воздух показали его крайнюю неустойчивость.

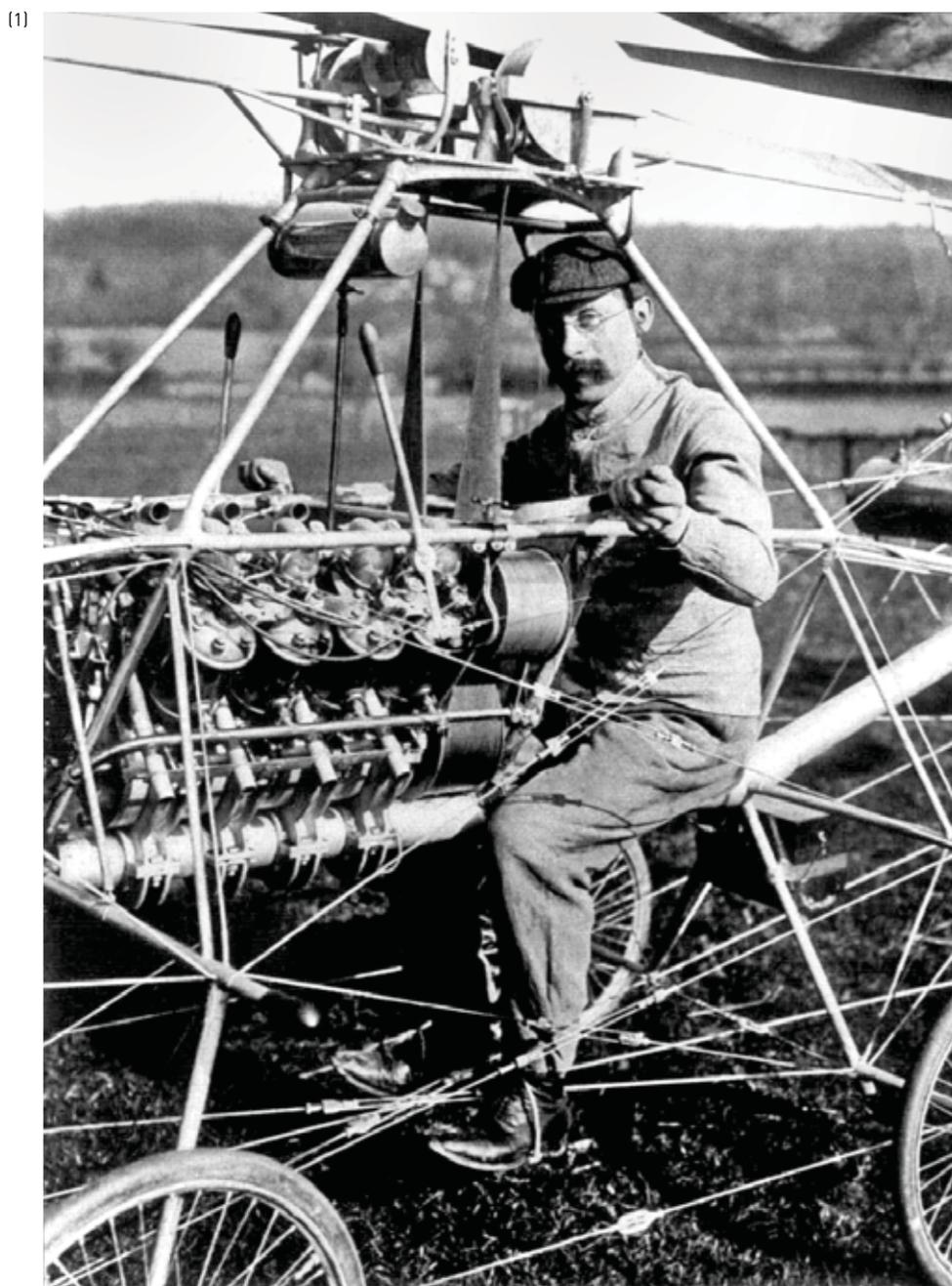
Гораздо удачнее оказался вертолет Корню, построенный в 1907 г. На нем стоял такой же «Антуанетт», вращавший два несущих винта, размещенных по продольной



(3)  
Геликоптер  
А. Сантоса-Дюмона.  
1906

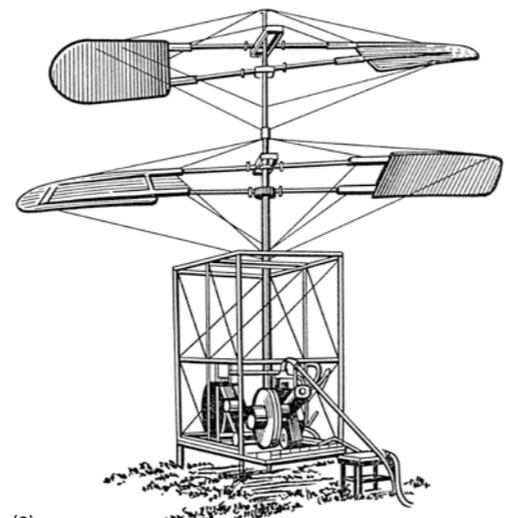


(4)  
Вертолет П. Корню.  
1907



(1) Поль Корню на своем вертолете

(2) Вертолет И. Сикорского  
(3) И. И. Сикорский возле своего вертолета



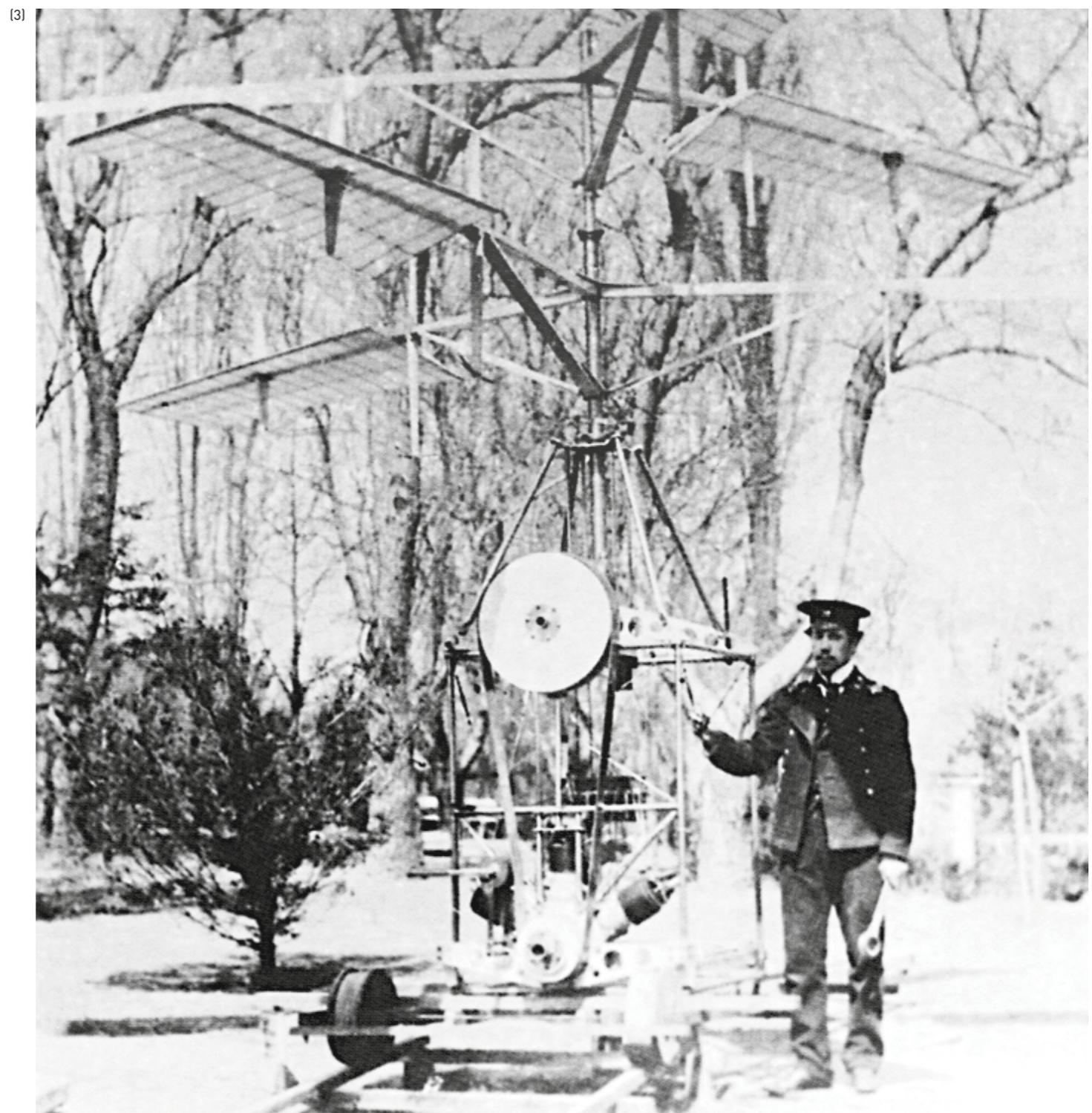
(2)

чудной вид. Например, на летательной машине Кимбальса (США, 1908 г.) стояли сразу два десятка маленьких винтов, вращавшихся одним мотором мощностью 50 л. с. Но смогла ли она оторваться от земли – неизвестно.

В России дань вертолетостроению тогда отдал знаменитый позднее авиаконструктор И. И. Сикорский. В 1909 г. он построил одноместный вертолет соосной схемы с мотором «Анзани» мощностью 35 л. с. Лопасте винтов имели стальной каркас и полотняную обтяжку. Летать на своем аппарате конструктор не рискнул, ограничившись замером подъемной силы на весах. В следующем году Сикорский сделал второй вертолет, отличавшийся усовершенствованной трансмиссией и увеличенным диаметром винтов. Но он тоже не летал, хотя эксперименты показали, что этот аппарат мог оторваться от земли.

схеме. Привод осуществлялся от вертикального вала ремнями, шедшими к большим шкивам под винтами. На этой штуковине удалось подняться на полтора метра пилоту и одному пассажиру.

После этого в разных странах принялись строить аппараты с несущими винтами и двигателями внутреннего сгорания, постоянно наращивая мощность последних. Иногда они имели очень



(3)



**Борис Николаевич Юрьев у вертолета своей конструкции**

В 1912 г. Б. Н. Юрьев с группой студентов Императорского высшего технического училища построил вертолет с одним несущим и одним рулевым винтом. Позднее эта схема стала классической, по ней и по сей день строят большинство винтокрылых машин. Использовали мотор «Анзани» в 25 л. с. Аппарат показали на выставке в Москве, приуроченной ко Второму всероссийскому воздухоплавательному съезду. Когда экспозиция закрылась, вертолет опробовали на привязи во дворе училища. Первая попытка закончилась поломкой главного вала.

Конструкцию доработали, но далее работа остановилась. Сочли, что одной из причин неудачи являлись недостаточные мощность и надежность двигателя.

Надо сказать, что во всех случаях тип мотора выбирался практически случайно – то, что удавалось раздобыть конструктору или на что хватало денег. Чаще это были авиационные двигатели, но встречались и автомобильные. Впрочем, и формально авиационные не всегда являлись полностью таковыми: «Анзани» исходно создавались для мотоциклов, а «Антуанетт» – для скоростных катеров. Все они были довольно тяжелыми. Например, у «Анзани» приходилось примерно два килограмма сухого веса на одну лошадиную силу. Мощность же обычно не превышала 50 л. с. При этом необ-

ходимо указать, что для вертикального подъема требуется больше энергии, чем для взлета крылатого аппарата с разбегом. С двигателем братьев Райт в 12 л. с. вертолету, рассчитанному на экипаж хотя бы из одного человека, вообще ничего бы «не светило».

В период Первой мировой войны основные силы конструкторов были направлены на совершенствование бурно развивавшихся боевых аэропланов. Лишь немногие продолжали заниматься винтокрылыми аппаратами. В 1918 г. в Австро-Венгрии построили вертолет Петроцци, Кармана и Цуровца, который на привязи поднялся на высоту 50 м и висел там около получаса. Но пилота на борту не было, как и каких-либо органов управления. При этом тяговооруженность



**Вертолет Петроцци, Кармана и Цуровца**

аппарата по тем временам выглядела выдающейся – он оснащался тремя ротативными моторами Рон Jb по 120 л. с.

В то же время стали доступны мощные авиационные двигатели, развивавшие 80 – 100 л. с. и более. Наибольшую удельную мощность (отношение мощности к весу) имели моторы ротативного типа, у которых коленчатый вал был неподвижен, а вращались картер и цилиндры. Они также меньше перегревались при малых скоростях полета или вообще без движения. Впрочем, о перегреве тогда еще можно было не беспокоиться, ведь летали (если вообще поднимались в воздух) очень недолго. Еще одним плюсом можно было считать произвольность ориентации такого двигателя, его можно поставить выходным валом вертикально. Так, это предусматривал проект Б. Н. Юрьева с мотором «Гном-50» в 50 л. с.

У ротативного мотора, по сути, нет масляной системы, он смазывается взвесью внутри картера. Это приводит к большому

расходу масла, которое выбрасывается наружу с выхлопными газами. У двигателя стационарного типа, с вращающимся коленчатым валом, масло отбирается либо

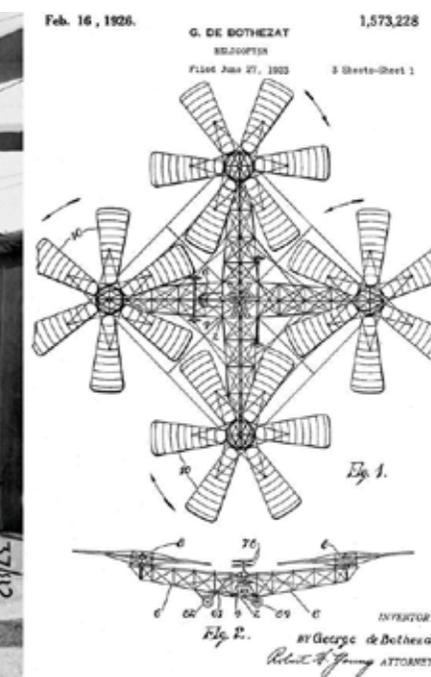


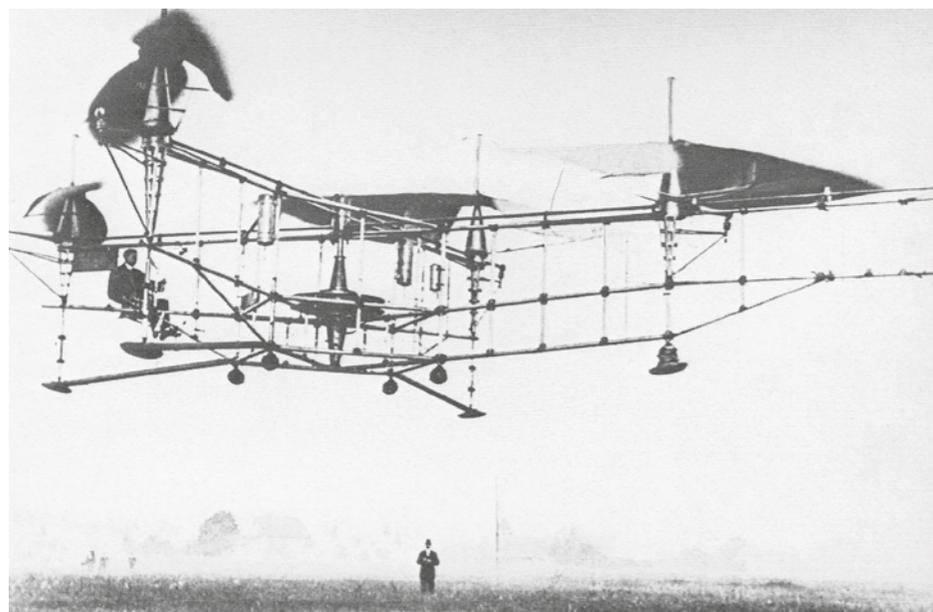
из нижней части картера, либо из специального кармана, затем прогоняется через фильтр и после охлаждения возвращается назад. Размещение такого мотора вертикально приведет к масляному голоданию и быстрому заклиниванию движущихся частей.

После окончания войны работы в области вертолетостроения продолжались. В декабре 1922 г. русский эмигрант Г. А. Ботезат в США оторвался от земли на вертолете своей конструкции. Аппарат весом около двух тонн имел четыре несущих винта и управлялся примерно как современный квадрокоптер. Но мощность мотора для такого веса была явно недостаточна. Ботезат использовал английский ротативный двигатель Бентли BR.2. Существовало два его варианта: один развивал максимально 200 л. с., другой – 245 л. с. Какой из них стоял на вертолете Ботезата – неизвестно. Но в обоих случаях для двух тонн этого явно маловато.

**Г. А. Ботезат возле своего вертолета**

**Квадрокоптер Ботезата. Конструктивная схема**





Вертолет Эмишена преодолевает дистанцию в километр. 1924

Постепенно вертолеты стали летать выше и дальше. Например, француз Эмишен в мае 1924 г. в Арбонане смог пролететь на своем аппарате целый километр, что тогда регистрировали как рекорд. Этот вертолет имел четыре винта, приводившиеся во вращение двигателем Рон Jb, а в придачу еще гироскоп, обеспечивавший устойчивость. Выше трех метров это чудо техники не поднималось. Так что до практического применения тогда было еще очень далеко.

В начале 20-х годов возникло другое направление развития винтокрылых аппаратов. Его предложил испанский инженер Хуан де ля Сиерва. Обычное крыло заменялось несущим ротором, который раскручивался не мотором, а набегающим потоком воздуха. Тянул же машину обычный воздушный винт, как у самолета. В полете подъемную силу могло увеличивать небольшое неподвижное крыло (предусматривались крылатый и бескрылый

скости. Управлять машиной оказалось практически невозможно. Неудачными оказались и два последующих аппарата, С.2 и С.3. На четвертом экземпляре, С.4, Сиерва ввел шарниры в креплениях лопастей. Этот автожир использовал фюзеляж от учебного биплана Анрио 14, его же шасси и ротативный мотор Рон Ja (110 л. с.). Он уже довольно прилично летел по прямой, но маневрирование по-прежнему давалось с трудом.

На типе С.5 (с фюзеляжем от самолета Авро 504) появились элероны, что впервые позволило выполнить круг над



Хуан де ля Сиерва

варианты). Такой аппарат называли автожиром. В принципе, он был ближе к самолету, нежели вертолет.

В 1920 г. Сиерва построил свой первый автожир С.1. Он имел два соосных несущих винта. Однако при взлете конструктор не справился с опрокидывающим моментом в поперечной пло-

Один из ранних вариантов автожира С.19 до введения «хвоста скорпиона». 1932



летным полем. Он уже мог перевозить двух человек. Затем Сиерва перебрался в Англию, где стал одну за другой создавать новые, все более совершенные конструкции.

Вообще у автожира путь к практически применимым образцам оказался гораздо короче, чем у вертолета. Можно было без переделки использовать двигатели для самолетов. Но некоторые доработки иногда все-таки требовались. Дело в том, что лопасти несущего винта перед взлетом приходилось раскручивать вручную. Это увеличивало подъемную силу и сокращало взлетную дистанцию. Но занятие это было трудоемкой и довольно длительной операцией. На автожире С.19 ввели поворотное оперение. Перед взлетом эту громоздкую коробчатую конструкцию разворачивали примерно на 90 градусов, и она отклоняла воздушный поток от тянущего винта на лопасти ротора, вызывая его самораскручивание – авторотацию. Потом, правда, требовалось вернуть хвост назад. Эту штуку называли «хвостом скорпиона».

В 1932 г. инженеры моторостроительной компании «Армстронг-Сиддли» предложили осуществлять предварительную раскрутку от двигателя. Момент отбирали от задней части коленчатого вала звездообразного мотора «Дженет Мэйджор» I (105 л. с.) через понижающую зубчатую передачу и систему валов. Автожир ставили против ветра и зажимали тормоза на колесах. Затем на малом газу летчик раскручивал несущий винт. Дойдя до 180 – 200 об/мин, он отпускал тормоза, отключал привод ротора и давал полный газ – аппарат резко взмывал вверх. Такую схему называли «прыгающим автожиром». С.19 уже строился серийно на заводе компании «Авро».

В том же 1932 г. Сиерва создал свой самый удачный автожир – двухместный С.30. На нем внедрили управление направлением полета перекосом ротора и более мощный двигатель «Дженет Мэйджор» IA (145 л. с.). Серийная модель именовалась С.30А. Их выпускали в довольно больших количествах, причем не только в Англии, но и в Германии, Франции и Дании. Ма-

шины собирали в гражданском и военном (но тоже без вооружения) исполнении. В ВВС их намеревались использовать для связи и корректировки артиллерийского огня. Особенно подкупали хорошие взлетно-посадочные качества: автожиру требовалась площадка гораздо меньших размеров, чем самолету. Он мог базироваться близко от линии фронта где-нибудь на лесной поляне.

В августе 1934 г. С.30А демонстрировался на авиационной выставке в Копенгагене. Побывавшая там советская делегация написала в своем отчете: «Весьма интересно по своему конструктивному оформлению выставленная машина С-30...»

Авро «Рота» – военный вариант автожира С.30А, принятый на вооружение британских ВВС, 1935 г. Эта машина использовалась в эксперименте с посадкой на авианосец «Корейджес»





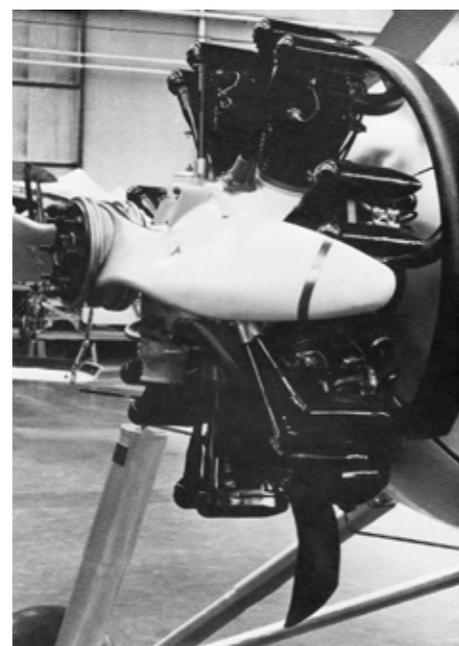
(1) В результате один С.30А с мотором «Дженет Мэйджор» приобрел Советский Союз. В начале 1935 г. он поступил на испытания в ОЭЛИД ЦАГИ, а затем в сентябре – октябре побывал в НИИ ВВС. В одном

из документов НИИ ВВС присутствует интересная фраза: «Летные данные ниже, чем у самолета с таким же мотором, но может садиться на небольших площадках».

(1) Автожир С.30А во время испытаний в НИИ ВВС

(2) Мотор «Дженет Мэйджор» на автожире «Рота»

(3) Осмотр автожира «Рота» в ангаре



(2)

(3)



(4)



(5)



(6)

(4) Американский автожир Питкэрн PCA-2 в Музее Генри Форда в Дирборне

(5) Французские автожиры LeO 301 с моторами Сальмсон 9Ne, эксплуатировавшиеся морской авиацией. Эта машина тоже была сделана на базе лицензии на С.30А

(6) Японский автожир Каяба Ка.1

В США автожирами занимались Г. Питкэрн и У. Келлет, использовавшие лицензии Сиервы. Келлету удалось в 1943 г. продать семь машин YO-60 с моторами Джейкобс R-915-3 командованию ВВС армии США. В Германии подобные аппараты строили Г. Фокке (тоже по лицензии Сиервы) и А. Флеттнер.

Автожиры тогда летали быстрее, выше и дальше, чем вертолеты, могли перевозить реальный груз. Они не могли только одного: взлетать и приземляться вертикально.

К началу Второй мировой войны автожиры состояли на вооружении в Великобритании, Франции и Дании. Позднее к ним добавились США, Советский Союз и Япония. Японцы даже разместили свои Ка.1 на небольшом авианосце и летали на них на противолодочное патрулирование. Но практика показала невысокую боевую ценность этих машин и увлечение автожирами быстро угасло.

Тем временем вертолеты постепенно совершенствовались. Правда, довольно медленно... В 1930 г. итальянец Асканио совершил на своем аппарате несколько полетов на аэродроме близ Рима. Он достиг высоты 19 м и продержался в воздухе чуть меньше девяти минут. И это были рекордные показатели для вертолета с пилотом!

Пожалуй, самый успешный вертолет межвоенного периода создал немецкий профессор Г. Фокке. Назывался он Фокке-Вульф FW 61. Это тоже была чисто экспериментальная одноместная машина,



(1)  
Первый экземпляр  
немецкого вертолета  
FW 61

(2)  
Взлетает вертолет  
VS-300

Приблизительно в это же время к созданию вертолетов вернулся И. И. Сикорский. В сентябре 1939 г. построили экспериментальный VS-300 с мотором «Лайкоминг» в 65 л. с. Он имел классическую одновинтовую схему. 14 сентября конструктор лично поднял машину в воздух. Поначалу она страдала вибрациями и плохой устойчивостью. Вертолет многократно переделывали. На одном из этапов вдобавок к рулевому винту, вращавшемуся в вертикальной плоскости, появились два горизонтальных. «Лайкоминг» сменили на более мощный «Франклин» в 90 л. с. Проблемы возникали самые разные. Например, VS-300 упорно отказывался двигаться вперед. Сикорский потом написал: «Мы даже рассматривали возможность развернуть кресло пилота и позволить ему летать задом наперед». 10 октября 1940 г. один из рулевых винтов разрушился и вертолет упал. Однако Сикорский выбрался из-под обломков, совсем не пострадал.

К середине 1941 г. конструктор уже был готов взяться за вертолет для военных. В декабре построили первый образец XR-4. Эта двухместная машина по своей компоновке надолго стала образцом для себе подобных. Один несущий винт и один рулевой, простой по конструкции фюзеляж прямоугольного сечения. Но самое главное – мотоустановка. На XR-4 за кабиной стоял специально доработанный двигатель фирмы «Уорнер». Он имел многие основные черты последующих вертолетных моторов. Интенсивное охлаждение обеспечивал вентилятор. В трансмиссию включили фрикционную муфту включения и муфту свободного хода. XR-4 впервые поднялся в небо 14 января 1942 г. Его пилотировал испытатель Ч. Моррис. Новый аппарат взлетал и садился вертикально, а также мог зависнуть над землей.

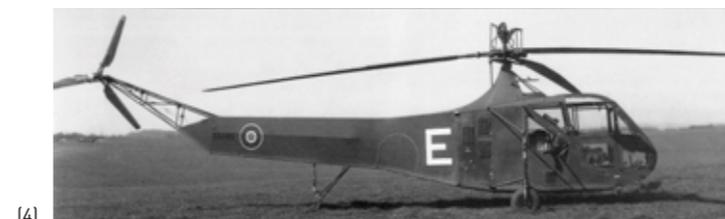


построенная всего в двух экземплярах, но ее данные демонстрировали уже серьезное продвижение вперед.

Фюзеляж напоминал самолетный, к его задней части крепился киль с рулем направления и небольшой стабилизатор. Вбок и вверх отходили две фермы, на вершинах которых крепились несущие винты. Таким образом, FW 61 выполнялся по поперечной схеме. Винты вращались в разные стороны, что упрощало пилотирование. А вот двигатель был один –

звездообразный мотор Сименс Sh 14A максимальной мощностью 160 л. с. стоял в передней части без капота. Машину сначала испытывали под куполом цирка!

Немецкий вертолет продемонстрировал достаточную устойчивость и хорошую управляемость. В 1937 – 39 годах он поставил целый ряд мировых рекордов. Так, его скорость достигала 122 км/ч, он мог подняться почти на 3500 м, пролететь 230 км. Максимальная продолжительность полета составляла час и 20 минут.



(4)

С 1943 г. вертолет под обозначением R-4 строился серийно и поставлялся ВВС армии США. Первую партию обозначили YR-4B, ее сдали в ноябре и отправили на войсковые испытания. Весной 1944 г. четыре машины из нее отправили на фронт на границу Индии и Бирмы. Вертолетчики доставляли раненых, перевозили мелкие грузы в окруженные гарнизоны, корректировали огонь артиллерии. Осенью на передовую уже начали поступать серийные R-4. В январе 1945 г. их приняли на вооружение и англичане, давшие им имя «ХOVERFLAY».

Немцы запустили в серию первый вертолет раньше, чем американцы – в начале 1942 г. Это был Фокке-Ангелис

FA 223 «Драхе», выполненный по поперечной схеме. Два винта располагались на вершинах ферм, как у FW 61. Мотор опять был один – Брамo 323Q-3 взлетной мощностью 1000 л. с., однако стоял



(6)  
Немецкий вертолет FA 223 имел поперечную двухвинтовую схему, но с приводом от одного двигателя



(3)  
R-4 – первый вертолет, принятый на вооружение ВВС армии США

(4)  
В Великобритании R-4 приняли на вооружение в 1945 г. как «ХOVERFLAY»

(5)  
Вертолет R-4B в музее; обтяжка с части фюзеляжа снята

он в средней части фюзеляжа. Охлаждение – принудительное, но вентилятор монтировался не на двигателе, а на главном редукторе. В Германии построили всего 14 таких вертолетов, которые ограниченно применялись в тылу.

(6)



Вертолет Флеттнер FI 282 в полете

Более успешным можно считать меньший по размерам одноместный Флеттнер FI 282 «Колибри». Он имел редкую схему с соосными перекрещивающимися винтами. Пилот сидел в открытой кабине. Использовался мотор Сименс Sh 14A в 160 л. с. Эту машину тоже пустили в серию в 1942 г. и сделали немного больше – 24 экземпляра. Их использовали как спасательные на Балтике, в Средиземном и Эгейском морях. Вертолет использовался также как связной. На одной из таких машин сбежал из Минска местный гауляйтер, улетевший с городского стадиона.

В США за R-4 последовали более совершенные, но схожие по компоновке R-5 и R-6. Для «пятерки» конструкторы фирмы «Пратт-Уитни» впервые разработали специальный вертолетный мотор. К этому времени уже четко уяснили, что требования к двигателям для самолетов и вертолетов существенно различаются.

Во-первых, режимы эксплуатации для этих типов летательных аппаратов не похожи друг на друга. Для самолета самый тяжелый режим – взлет. При этом используют максимальную мощность, которую разрешается развивать у земли в течение примерно пяти минут. Далее убирают обороты и переходят на номинальный режим, чаще всего не ограниченный по времени. В горизонтальном полете мотор работает в крейсерском режиме, обычно выбираемом из условия минимального расхода топлива – это примерно 40 – 50% от номинальной мощности.

Затраты энергии на вертикальный подъем намного больше, чем на взлет по-самолетному. Мощность, близкая к максимальной, требуется и на режиме висения. Позже, набрав статистику, установили, что на взлетном режиме вертолетный двигатель находится примерно 10% полетного времени, на номинальном – 18–20%, на крейсерском (0,85 от номинала и ниже) – 65%, на малом газу – около 5%. Получается, взлетный и номинальный режимы в сумме дают около 30%. У самолета они занимают 10–15%.

Кроме того, у силовой установки вертолета есть дополнительные потери. У самолета пропеллер обычно закреплен непосредственно на выходном валу мотора. У вертолета – трансмиссия из валов и редукторов. Она «съедает» где-то 3–5% мощности. Если аппарат выполнен по одновинтовой схеме, то он имеет рулевой винт; это еще 7–8%. Около 5% уходит на вентилятор (мы еще об этом поговорим). Стало быть, суммарная мощность должна увеличиваться, компенсируя эти потери. А еще считается, что нужно дополнительно 10–15% в запас сверх потребного на разные обстоятельства. Мощность, развиваемая мотором, уменьшается при подъеме на высоту и при повышении температуры окружающего воздуха. Оба обстоятельства могут действовать и совместно – в летнюю жару в горах. Поэтому при равном взлетном весе двигатель на вертолете всегда мощнее. Он чаще работает на высоких оборотах и быстрее изнашивается.

Если сравнить самолетные и вертолетные модификации одного и того же мотора (например, отечественные АШ-82Т и АШ-82В), то у последних и межремонтный, и общий ресурс меньше. Большие нагрузки вызывают необходимость усиления различных деталей. Это поднимает вес двигателя и повышает его цену.

Это происходит также от наличия у вертолетного двигателя дополнительных узлов. Это муфта включения и обгонная муфта (свободного хода). Первая всегда ставится именно на моторе, чтобы не нужно было при прогреве крутить трансмиссию и винты. Она состоит из двух частей: фрикционной, похожей на сцепление автомобиля, и кулачковой. Раскрутить несущий винт намного труднее, чем пропеллер самолета. После запуска мотор вертолета прогревается на холостом ходу, отсоединенный от трансмиссии. Затем включается фрикционная муфта, дающая возможность медленно начать крутить несущий винт. Например, у широко известного вертолета Ми-4 раскрутка занимает



от 17 до 60 секунд. Когда достигают определенных оборотов, выпускаются кулачки, создающие жесткое соединение.

Обгонная муфта нужна, чтобы не допустить перераскрутки двигателя или избавиться от его ненужного сопротивления. Это может произойти при авторотации (спуске со свободно вращающимся несущим винтом при неработающем моторе) или отказе одного двигателя из двух. Такая муфта может стоять в редукторе

мотора или отдельным агрегатом в трансмиссии. Часто все функции объединяются в одной комбинированной муфте.

Еще одна важная черта вертолетной силовой установки – охлаждение. Вертолет летает существенно медленнее самолета, охлаждение его мотора набегающим потоком менее эффективно. На режиме висения его вообще может обдувать только от несущего винта. Не случайно на вертолетах роторные двигатели использо-

(1) Американский вертолет R-5

(2) Американский вертолет R-6

вались даже тогда, когда на самолетах их применять перестали. Вертолетный мотор всегда снабжают вентилятором. Он может просто присоединяться к выходному валу и вращаться с теми же оборотами. Но иногда редуктор имеет отдельный привод для колеса вентилятора. Это усложняет редуктор и увеличивает его вес, однако может сделать охлаждение более эффективным. Необходимо также позаботиться об интенсивном охлаждении масла, например, организовав принудительную продувку воздушно-масляного радиатора.

На вертолетах обычно используют моторы воздушного охлаждения: звездообразные, рядные инвертные (перевернутые, головками клапанов вниз) и оппозитные. Можно ставить и двигатели жидкостного охлаждения, но комплект с радиаторами и насосами в этом случае получается тяжелее, а без вентилятора все равно не обойтись.

Все ранние вертолеты оснащались поршневыми моторами. Даже когда авиация стала переходить на реактивную технику, вертолеты продолжали строить именно с ними. Поршневой двигатель был намного дешевле газотурбинного, проще в эксплуатации и экономичнее, демонстрируя меньший расход топлива.

**Большой толчок мировому вертолетостроению придало успешное применение американцами винтокрылых аппаратов в ходе войны в Корее. Во всех развитых странах мира стали строить новые и новые машины этого класса. В Советский Союз не стал исключением.**

# Первые советские вертолёты и автожиры

**В Советском Союзе, как во всем мире, активно занимались строительством вертолетов и автожиров. Именно у нас первыми пришли к выводу, что вертолету нужен свой, особенный, двигатель. Но до конца 40-х годов на наших винтокрылых аппаратах применяли лишь немного переделанные моторы для самолетов.**

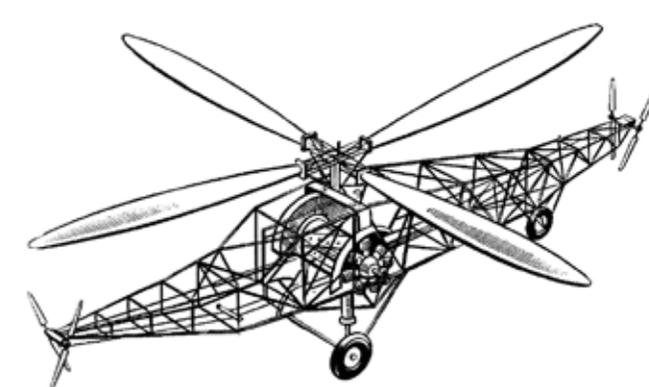
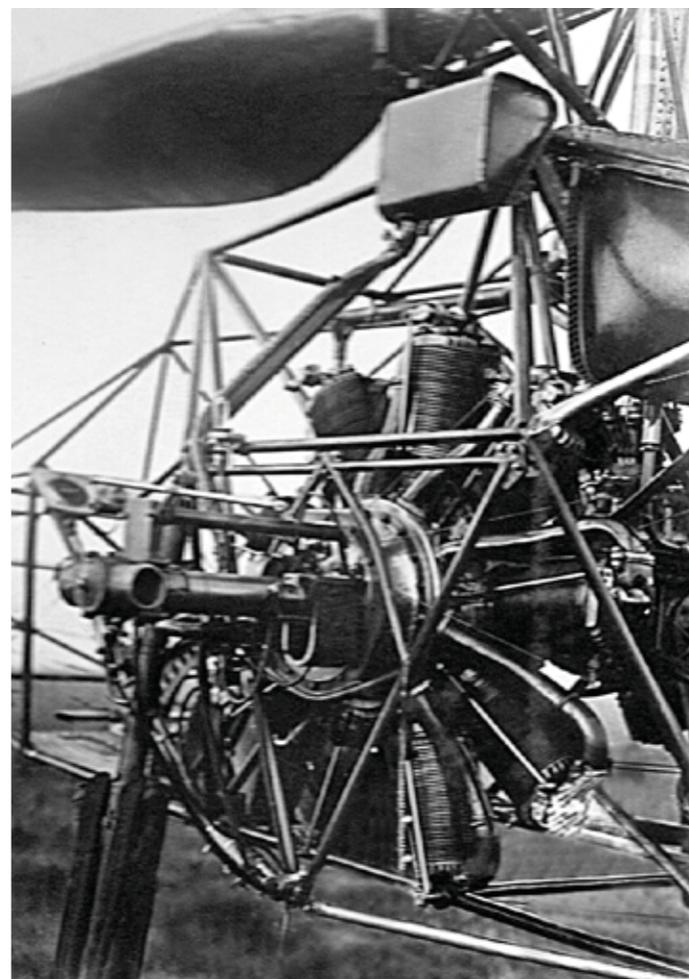
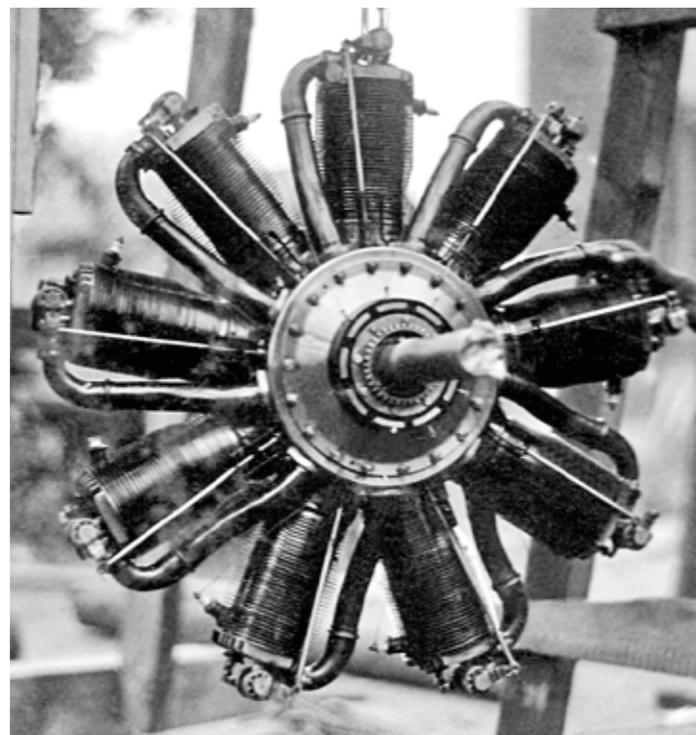
В нашей стране к проектированию первых вертолетов приступили в середине 20-х годов. Впрочем, они именовались не вертолетами, а геликоптерами. Именно этот термин, как и в большинстве стран мира, использовался в СССР до конца 40-х годов. Лишь после кампаний по борьбе с «безродными космополитами» и «низкопоклонством перед Западом» у нас укоренилось слово «вертолет».

Работы первоначально вели в вертолетной группе экспериментально-аэро-

динамического отдела ЦАГИ под общим руководством Б. Н. Юрьева. Позже группа превратилась в секцию особых конструкций, которую возглавил А. М. Черемухин, а с конца 1931 г. – А. М. Изаксон. Перебрав несколько проектов вертолетов разных схем, там остановились на варианте одновинтовой схемы. Эта машина получила обозначение 1-ВГ, а потом 1-ЭА. Она имела фюзеляж в виде фермы, сваренной из стальных труб. На его передней и задней оконечностях размещались по два рулевых винта. Силовая установка складывалась из двух ротативных моторов М-2 по 120 л. с. (это был советский вариант французского Рон Jb). Их выбор определялся условиями охлаждения. Двигатели стояли по бортам, носками к главному редуктору, смонтированному в центре масс аппарата.

Один мотор и редуктор предварительно весной 1929 г. испытали на стенде. Постройку вертолета завершили в июле 1930 г. Его перевезли на аэродром у станции Ухтомская, где Черемухин сам совершил на нем несколько полетов на привязи. Во время них пилот попутно учился управлять необычным аппаратом. Далее последовали уже свободные полеты по все усложнявшейся программе. Интересно, что первый такой полет провели ночью. Как сообщили: «...геликоптер надежно и безотказно летал...» Но в декабре аппарат разбился и его пришлось восстанавливать. В августе 1932 г. на 1-ЭА Черемухин поднялся на высоту 605 м. Вспомните, что итальянец Асканио тогда и до 20 м не добрался!

Ротативный мотор М-2, являвшийся лицензионной копией французского двигателя Рон Jb, применялся на всех ранних советских вертолетах и автожирах



(1) Механики запускают двигатель М-2 на стенде, на котором отлаживалась мотоустановка вертолета 1-ЭА. 1929

(2) Компонировочная схема вертолета 1-ЭА

(3) Левый мотор М-2 вертолета 1-ЭА. 1930

(4) Авария вертолета 1-ЭА, декабрь. 1931

Но продолжительность полетов 1-ЭА была небольшой, не доходя до 15 минут. Лимитировала ее именно мотоустановка.

В 1933 г. на испытания вышел немного усовершенствованный вертолет 3-ЭА (с такими же моторами М-2), а первую машину доработали в модель 5-ЭА с новым несущим винтом. Ее облетывали вплоть до 1936 г., но времени в воздухе аппарат проводил мало. Ресурс двигателей был почти исчерпан, производство М-2, как и других ротативных типов, давно уже прекратили. Это и завело в тупик семейство, начатое 1-ЭА.

В нашей стране необходимость создания специального двигателя для вертолета поняли раньше, чем за рубежом. Первое упоминание в документах о подобной идее относится к октябрю 1932 г. Тогда предложили скомбинировать узлы от моторов водяного и воздушного охлаждения.



Вертолет 1-ЭА  
в Ухтомской,  
июль, 1932



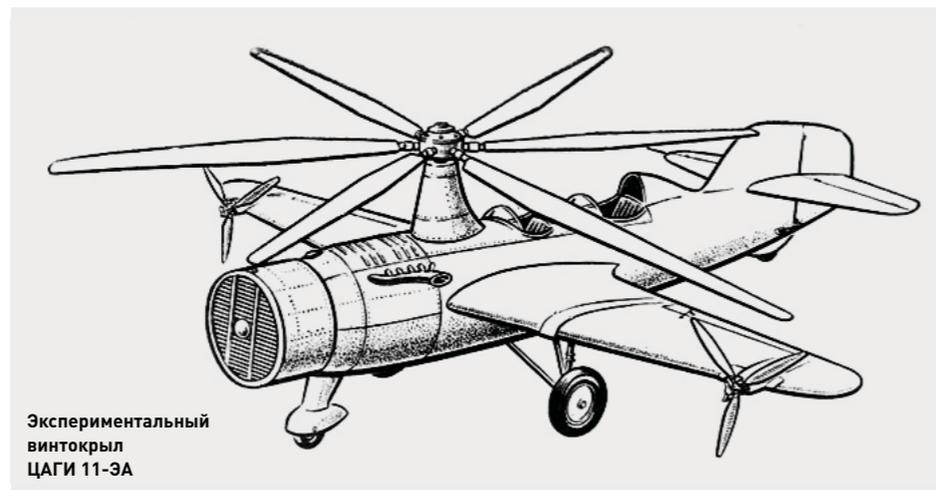
Первый советский  
вертолет 1-ЭА в полете

Двигатель «Т» должен был иметь звездообразную компоновку, но с цилиндрами, охлаждаемыми водой (как у известного семейства фирмы «Сальмсон»). Поршни, шатуны и коленчатый вал намеревались заимствовать у какого-нибудь мотора воздушного охлаждения. Двигатель «Т» предполагался высокооборотным, но упоминание о наличии у него редуктора отсутствует.

В 1934 г. в секции АВИАВНИТО в ЦИАМ под руководством инженера Рудина был спроектирован некий «геликоптерный мотор». Какие-либо подробности о его конструкции неизвестны. Видимо, опытный образец этого двигателя так и не был изготовлен.

На смену 1-ЭА выпустили спроектированный под руководством И. П. Братухина вертолет 11-ЭА, имевший много отличительных черт. Если все его предшествен-

ники были чисто экспериментальными, то новой машине хотели придать практическое значение. Кроме пилота в ней располагался пассажир.



Экспериментальный  
винтокрыл  
ЦАГИ 11-ЭА

Шестилопастной несущий винт включал три лопасти управления. К фюзеляжу самолетного типа с вертикальным и горизонтальным оперением приделали небольшие крылья, на концах которых смонтировали рулевые (они же тянущие) винты. Это отражало концепцию «геликожира» (винтокрыла). Предполагалось, что аппарат взлетит как вертолет, а в горизонтальном полете перейдет в режим автожира.

На 11-ЭА использовали мотор водяного охлаждения – американский Кертис V-1650 «Конкверор», 12-цилиндровый V-образный, мощностью 630 л. с. Его специально доработали. На машине он стоял в передней части фюзеляжа «задом наперед», носком назад. Штатный редуктор демонтировали, соединив носок коленчатого вала с центральным редуктором. Сзади установили вентилятор с приводом от коробки агрегатов мотора. Он обеспечивал продувку водяного радиатора перед ним. Муфта включения монтировалась не на двигателе, а между центральным и главным редукторами.

Испытания в середине 1936 г. сразу показали, что конструкция перетяжелена, а рулевые винты отнимают слишком большую мощность. В то же время, запас тяги несущего винта был велик, полный газ мотору не давали. Вертолет 11-ЭА летал

У автожира КАСКР-1 «Красный инженер» стоят Н. И. Камов, Н. К. Скржинский, летчик И. В. Михеев и механики З. А. Крейдлин и М. Ф. Дранович



только на привязи, в свободный полет его отправить не рискнули. Машину долго дорабатывали, заменив крылья фермами и используя рулевые винты от 1-ЭА. На аэродром в Ухтомской аппарат вернули только в декабре 1939 г., а первый полет летчик Д. И. Савельев совершил лишь в октябре 1940 г. Мотор был старый, купленный в США еще в начале 30-х годов. Ресурс его быстро исчерпали, а замена отсутствовала. В масле появилась металлическая стружка – верный признак износа вкладышей подшипников. Пришлось двигатель снять и заняться его переборкой. Затем началась война, машину разобрали и более не восстанавливали. Это был последний советский довоенный вертолет.

В 1935 г. нашей стране был построен еще один «геликожир», куда более экзотический. Речь идет о конструкции итальянского инженера В. Изакко, рабо-

тавшего в СССР в НИИ ГВФ как иностранный специалист. Огромный несущий винт раскручивали четыре английских мотора «Джипси» III по 120 л. с. Эти четырехцилиндровые рядные перевернутые двигатели закрепили прямо на концах лопастей; каждый из них вращал собственный тянущий винт. Впридачу в носовой части фюзеляжа, как у автожира, стоял американский звездообразный Райт J6 в 300 л. с., тоже с тянущим винтом. Но уже при первых запусках моторов на земле выявили деформацию крепления их на лопастях и сильную тряску. На этом и закончили. «Геликожир» списали, договор с Изакко расторгли и выслали его из Советского Союза.

Практически параллельно с работами по вертолетам в нашей стране занимались и автожирами. Первый из них спроектировали на средства Осоавиахима под ру-

ководством Н. И. Камова и Н. К. Скржинского. Маленький коллектив в соглашении с Центральным советом Осоавиахима, подписанным 22 мая 1929 г., именовался «группой КАСКР». Соответственно и называлась машина КАСКР-1 «Красный инженер» (иногда ее также именуют просто КАСКР или КАСКР I). На постройку щедро выделили... 8500 рублей.

Интересно, что Камов классифицировал аппарат как «вертолет» (так и на борту написали «ВЕРТОЛЕТ КАСКР»), хотя за прототипы взяли автожиры С.6 и С.8 испанца Сиервы (от второго заимствовали больше). По компоновке, размерам и весу советский аппарат примерно соответствовал модели С.8R. Машина имела фюзеляж и хвостовое оперение от учебного биплана У-1; мотоустановку тоже брали от него – то ли это был М-2, то ли «родной» Рон Jb, залежавшийся на складе с Гражданской войны.

Первый полет КАСКР-1 совершил 25 сентября 1929 г. на ныне несуществующем Центральном аэродроме в Москве. Им управлял летчик И. В. Михеев, в задней кабине сидел пассажиром Камов. Быстро выяснилось, что для У-1 мощности М-2 хватало, а для автожира ее маловато. Решили двигатель поменять. Удалось раздобыть французский пятицилиндровый звездообразный Гном-Рон 5А «Титан» в 230 л. с. Партию таких моторов приобрели для пассажирского самолета АНТ-9. Они уже относились к привычному для нас стационарному типу – коленчатый вал вращается, картер остается неподвижным. Тянувший винт тоже позаимствовали от АНТ-9.

Доработанный аппарат с «Титаном» уже стали называть КАСКР-2. Он в ходе испытаний до 1931 г. совершил 79 полетов, но все они были кратковременными – общий налет составил всего два часа.

21 мая 1931 г. на Центральном аэродроме в Москве проводилась демонстрация новой авиационной техники высшему руководству страны. Присутствовали И. В. Сталин, К. Е. Ворошилов, В. М. Молотов и другие. В конце ряда стоял КАСКР-2, который тоже осмотрели. Камов потом написал: «Тов. Сталин похвалил нас за инициативу, сказал, что это дело нужное для государства и его следует продолжать».

В секции особых конструкций ЦАГИ во второй половине 1930 г. взялись за проектирование двухместного крылатого автожира по типу С.19. Именно «по типу»: при сохранении общей концепции советский 2-ЭА был больше и тяжелее. Этому способствовало использование двигателя «Титан». Двухкилевое оперение («хвост скорпиона») могло устанавливаться во взлетное положение для раскрутки ротора потоком от тянущего винта. Испытания 2-ЭА начались в ноябре 1931 г. Два года спустя его передали в агитэскадрилью им. М. Горького, где совершили несколько демонстрационных полетов. В начале 1934 г. ресурс мотора оказался полностью исчерпан. Запасного не нашли, выпуск старых «Титанов» во Франции уже прекратили. Автожир сдали в музей.



(1) Авария автожира КАСКР-1 на Центральном аэродроме в Москве. 1929

(2) Автожир КАСКР-2

(3) Автожир 2-ЭА с мотором Гном-Рон 5А «Титан»

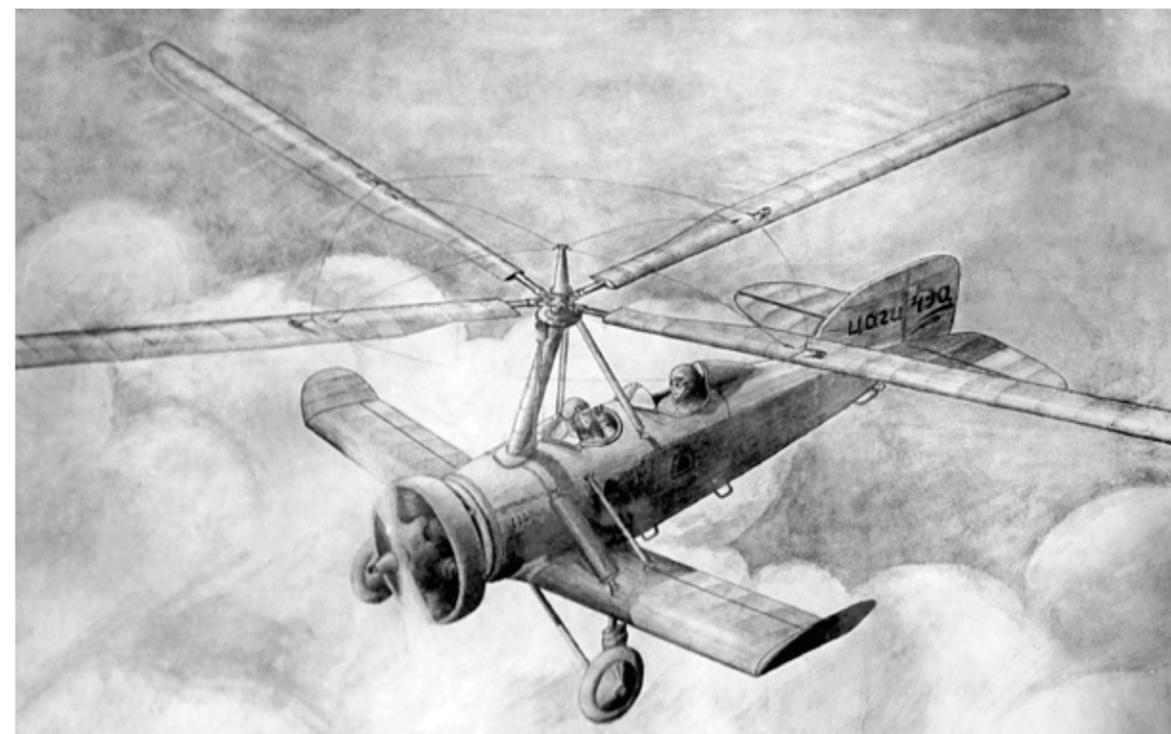


(2)



(3)

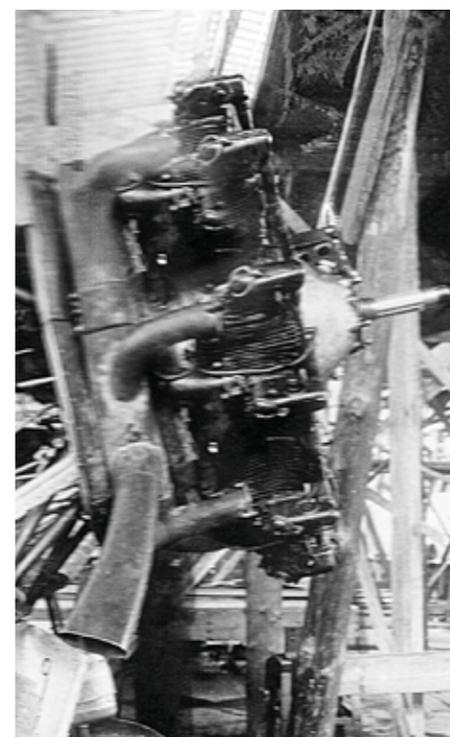
(4)



(4) Рисунок автожира А-4 с мотором М-26

(5) Мотор М-26 на автожире А-4

(6) Автожир А-4 на аэродроме



(5)

Следующий автожир, А-4 (он же 4-ЭА), оснастили уже отечественным двигателем М-26 в 300 л. с. Последний доработали для отбора мощности 15 л. с. на раскрутку несущего винта. В остальном конструкция была подобна 2-ЭА. В октябре 1932 г. построили опытный образец, но в это время на заводе в Киеве уже заложили небольшую серию. Однако в воздухе

А-4 страдали сильными вибрациями. Их устранили, используя лопасти ротора новой конструкции. Около десятка А-4 передали в ВВС, еще пару – в гражданскую авиацию. Они проходили испытания, но практического значения не имели. Выбор М-26 оказался явной ошибкой, этот двигатель считался весьма ненадежным и неэкономичным.



(6)

(1)  
Автожир А-6 с мотором М-11; лопасти несущего винта и крыло сложены на стоянке для уменьшения габаритов



(2)  
Автожир А-15. Капот мотора снят

(3)  
На испытаниях автожира А-8 с мотором М-11

Следующий автожир, А-6, в ЦАГИ стали делать под проверенный М-11. У этого пятицилиндрового звездообразного мотора максимальная мощность не превышала 110 л. с., но он был хорошо освоен в производстве, имелся в достаточном количестве и мог работать на дешевом бензине и масле. Двигатель опять доработали для передачи мощности 15 л. с. на раскрутку несущего винта. Испытания показали, что взлетные характеристики А-6 оказались хуже, чем у А-4. Это явилось следствием недостаточной тяговооруженности. На государственных испытаниях в НИИ ВВС в начале 1934 г. произошла катастрофа. В серию А-6 запускать не стали.

Недостроенные второй и третий экземпляры А-6 завершили как А-8 с рядом отличий, не касавшихся мотоустановки. Они были чисто экспериментальными. А-13 являлся облегченным вариантом А-8, выпущенным в 1936 г. Но существенно

снизить вес не удалось, и затея провалилась. Второй А-8 в 1935 г. переделали в экспериментальный бескрылый А-14.

Использование М-11 существенно ограничивало возможности конструкторов, и они пошли на применение намного более мощного двигателя. В мае 1936 г. поднялся в воздух новый бескрылый автожир А-12, оснащенный американским мотором Райт R-1820 «Циклон» в 650 л. с. Испытания проводил сначала А. П. Чернавский, а затем С. Козырев. Удалось достичь скорости 245 км/ч и практического потолка 5570 м. В мае 1937 г. с А-12 произошла катастрофа из-за разрушения одной из лопастей несущего винта. Более этот аппарат не восстанавливался. Но на его основе разработали проект военного автожира А-15 – ближнего разведчика и корректировщика с оборонительным вооружением. Он оснащался двигателем М-25А – усовершенствованным вариан-

том того же «Циклона», выпускавшегося в Перми по лицензии. Этот аппарат построили и с апреля 1937 г. опробовали на земле, но он никогда не летал.

Проект «прыгающего» автожира А-10 так и не реализовали. Он должен был комплектоваться мотором МВ-4 (рядным перевернутым, воздушного охлаждения) в 140 л. с. Для «прыжка» от него на несущий винт хотели отбирать от 28 до 35 л. с.

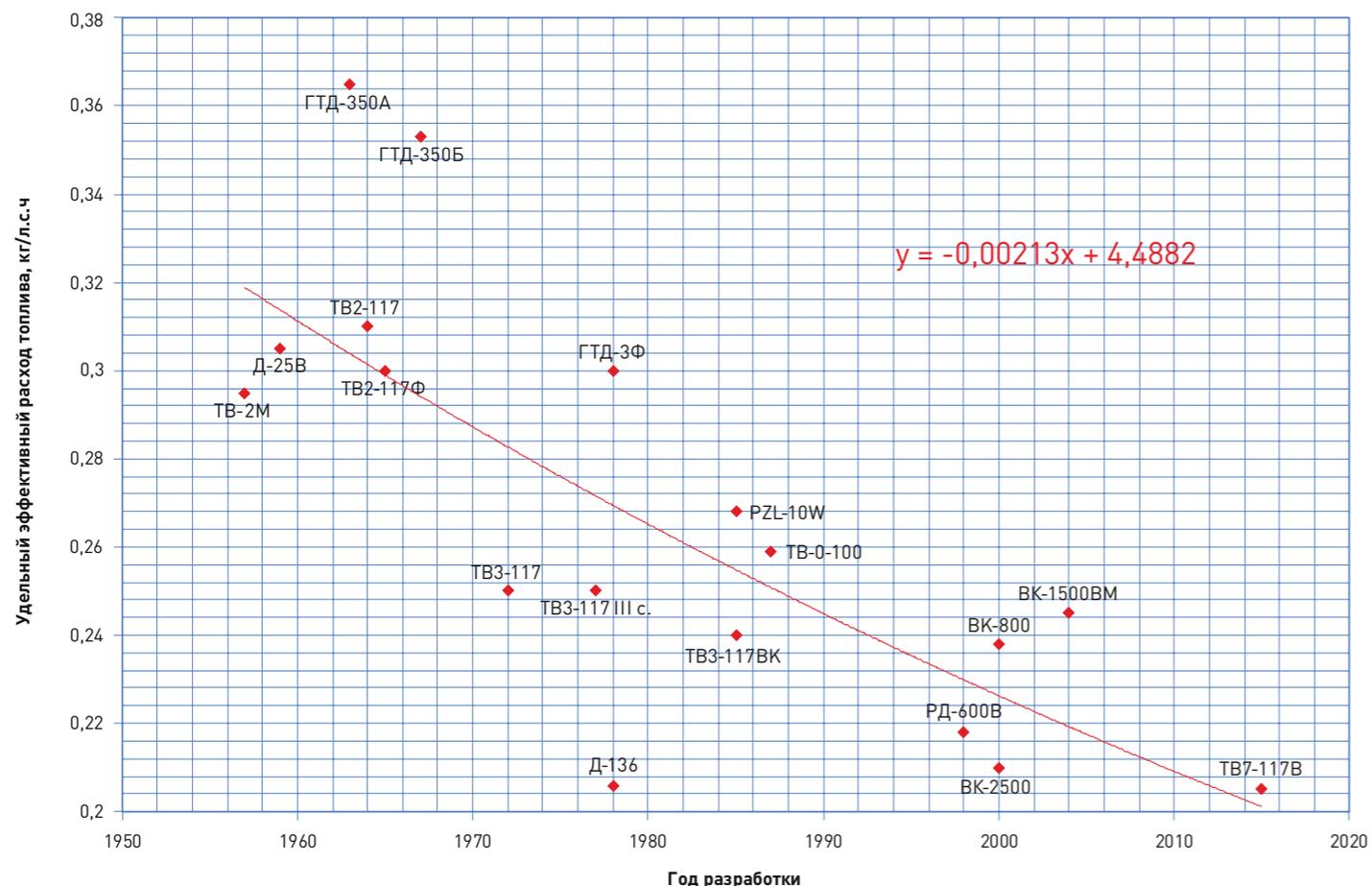


(1)

(2)



(3)



Удельный расход топлива на взлетном режиме, эффективный, отечественных турбовинтовых двигателей N=0, M=0, кг/ (э.л.с.\*ч)

из композиционных материалов на основе органической, металлической и интерметаллидной матрицы, применение керамических сегментов и многое другое. Более подробно мы писали об этом в первом томе трилогии.

Дальнейшее развитие авиационных двигателей может идти путем применения новых конструкций и схем. Причем для двигателей разного назначения и размерности, в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями, актуальны будут разные конструкторские решения. Например, для региональных самолетов перспективным может быть двигатель с винтовентилятором открытой схемы, а для дальнема-

гистральных, вероятно, более подходящей будет распределенная силовая установка. Будущее вертолетов соотносят с применением «неметаллического», «электрического» и «сухого» двигателя. Многие разработки находятся пока под грифом «секретно».

Большинство специалистов сходятся во мнении, что шестое поколение двигателей может стать пределом развития газотурбинной схемы, за которым нас ожидает переход к принципиально новым концепциям авиационных двигателей, к другим конструктивным схемам, видам топлива, материалам и технологиям.

Тщательный анализ и использование

огромного опыта отечественной аэрокосмической науки и техники, а также создание опережающего научно-технического задела позволит разрабатывать двигатели, соответствующие потребностям России и базирующиеся на собственных ресурсах, научных разработках и технологической оснащённости.

Редколлегия надеется, что читатели смогли получить целостное представление об этой чрезвычайно сложной отрасли техники – авиационном двигателестроении, его истории и современном положении в нашей стране, а также составить мнение о возможных вариантах развития в будущем.

# Содержание

Предисловие научного редактора..... 6

## ЧАСТЬ 1 ПОРШНЕВЫЕ МОТОРЫ

Взлетающие вертикально .....8  
 Первые советские вертолёты и автожиры .....22  
**АИ-26В.** Первый отечественный вертолетный мотор.....36  
**АШ-82В.** Самый мощный советский поршневой мотор для вертолета.....52  
**АИ-14В и М-14В26.** С самолёта на вертолет .....66

## ЧАСТЬ 2 ТУРБОВАЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Как устроен и работает турбовальный двигатель .....88  
 Основные режимы работы ТВад .....98  
**ТВ-2ВМ и ТВ-2ВК.** Первые шаги ГТД на вертолетах ..... 100  
**Д-25В.** Двигатель для «русских гигантов» ..... 110  
**ГТД-3.** Долгий путь в серию ..... 136  
**ГТД-350.** Первым делом вертолёты ..... 152

**ТВ2-117.** Двигатель для самого массового вертолета..... 170  
**ТВ3-117.** Надежность, экономичность, многофункциональность..... 188  
**ВК-2500.** Поколение «3+» или новые возможности вертолетов .... 228  
**Д-136.** Самый мощный ..... 244  
**P2L-10W.** Чужой среди своих ..... 254  
**ТВ-0-100.** «Гадкий утенок» ..... 260  
**ТВ7-117В.** Надежда российской авиации ..... 266  
 Нереализованные проекты ..... 278  
 Перспективные вертолетные двигатели ..... 304

## ВЫДАЮЩИЕСЯ КОНСТРУКТОРЫ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

**Павел Александрович Соловьёв** ..... 308  
**Сергей Петрович Изотов**..... 310  
**Сергей Васильевич Люневич**..... 312  
**Пётр Сергеевич Изотов**..... 314  
**Александр Александрович Саркисов**..... 316  
**Валентин Андреевич Глушенков**..... 318

Пояснения к таблицам ..... 606  
 Библиографический список ..... 607  
 Заключение редколлегии ..... 324