

СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ ПЕРВЫХ САМОЛЁТОВ

© 2023

А. С. Дрыгин кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник;
Центральный институт авиационного моторостроения
имени П.И. Баранова, г. Москва;
drygin300@yandex.ru

Статья посвящается 140-летию юбилею постройки первого русского самолёта, разработанного Александром Фёдоровичем Можайским. Основное внимание уделено сравнительной оценке параметров силовых установок самолёта Можайского и некоторых наиболее известных из первых пилотируемых летательных аппаратов тяжелее воздуха, приводимых в движение воздушным винтом. Для анализа использованы опубликованные в разных источниках данные, прежде всего по параметрам элементов силовых установок. Выполнена оценка достаточности мощности двигателей первых самолётов для совершения ими полёта. В качестве основы для экспертной качественной оценки аэродинамических характеристик сравниваемых летательных аппаратов использованы опубликованные материалы подробных исследований аэродинамики самолётов А.Ф. Можайского и братьев Райт. Анализ известных статистических данных и результатов выполненных расчётных оценок позволил показать влияние развития двигателестроения на прогресс в авиации.

История авиации; первый самолёт; авиационная силовая установка

Цитирование: Дрыгин А.С. Силовые установки первых самолётов // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2023. Т. 22, № 4. С. 158-169. DOI: 10.18287/2541-7533-2023-22-4-158-169

Введение

140 лет назад, в 1883 году, Александром Фёдоровичем Можайским (рис. 1) был построен первый русский самолёт. В нашей стране некоторые исследователи считали, что при испытаниях этого самолёта в 1885 г. впервые в истории удалось при помощи создаваемой двигателями тяги оторвать от земли пилотируемый летательный аппарат (ЛА) тяжелее воздуха. Однако большинство историков полагает, что первые устойчивые полёты на самолёте выполнили 17 декабря 1903 года братья Орвилл и Уилбур Райт. Хотя единого мнения и о первенстве братьев Райт нет. Во Франции многие называют создателями первых самолётов Феликса дю Тампля или Клемана Адера. В Бразилии принято считать, что первый полёт на самолёте совершил Альберто Сантос-Дюмон. Да и в самих США приоритет братьев Райт оспаривали сторонники профессора Сэмюэла Ленгли.

В любом случае у истоков авиации стояло много выдающихся исследователей, при этом работы одних базировались на достижениях других. Постепенно улучшалась аэродинамика крыла, повышалась прочность планера, отрабатывались методы управления ЛА, совершенствовались воздушные винты (пропеллеры) и силовые установки (СУ). В данной работе выполнена сравнительная оценка СУ первых пилотируемых ЛА тяжелее воздуха.



*Рис. 1. Первый русский авиаконструктор
А. Ф. Можайский*

Первые пилотируемые летательные аппараты тяжелее воздуха

В начале XIX в. английский ученый Дж. Кейли разработал теорию полёта на аппарате тяжелее воздуха с использованием воздушного винта, вращаемого тепловым двигателем. Результаты своих исследований он изложил в статьях «О воздушной навигации», опубликованных в *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts* в 1809, 1810 годах.

С 1830 по 1890 годы в разных странах мира было предпринято несколько попыток разработки полноразмерного самолёта – ЛА тяжелее воздуха, приводимого в движение двигателем. Наибольшую известность получили проекты Ф. Маттиса (Германия, 1835 г.), Уильяма Хенсона и Джона Стрингфеллоу (Великобритания, 1841 г.), Феликса дю Тампля (Франция 1858 г.), Александра Федоровича Можайского (Россия 1883 г.), Клемана Адера (Франция 1890 г.).

Французский морской офицер Феликс дю Тампль был первым, кто в 1857 – 1858 гг. перешёл от разработки проекта к испытаниям полноразмерного образца. В ходе доводки самолёта Феликс дю Тампль рассматривал возможность применения парового или калорического (рабочее тело – нагретый воздух) двигателя, а также газового двигателя внутреннего сгорания системы Лемуара. Наиболее совершенной на тот момент оказалась паровая машина. Циркуляционная паровая машина, установленная на самолёте Феликса дю Тампля, включала в себя двухцилиндровый двигатель, развивающий мощность 6 л.с., и паровой котёл водотрубного типа, конструкцию которого дю Тампль запатентовал в 1876 году. В качестве конденсатора пара использовались полые стальные трубки каркаса фюзеляжа. Масса двигателя составляла 59 кг, масса котла ~106 кг. Удельная масса СУ равнялась $\mu_{уд} = m_{cy} / N_{дв} = 27,5$ кг/л.с. Планер самолёта благодаря использованию каркаса из алюминиевых и стальных трубок был достаточно лёгким и имел массу 80 кг. Взлётная масса самолёта с учётом винта (~15 кг), СУ (~165 кг), пилота (~70 кг) составляла ~330 кг. Отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв} / m_{ла} = 0,018$ л.с./кг. Феликс дю Тампль испытывал свой самолёт на земле и совершенствовал его конструкцию более 10 лет, но не сделал попытки полёта [1]. Самолёт демонстрировался на Всемирной выставке 1878 года.

А.Ф. Можайский был, по-видимому, первым кто предпринял попытку совершить полёт на пилотируемом самолёте. На его ЛА, построенном в 1883 г., были установлены два паровых двигателя, развивающие мощность 10 и 20 л.с. Суммарная масса паровых двигателей вместе с котлом и паровоздушным конденсатором составляла 165 кг [1], взлётная масса самолёта 1266 кг. Соответственно удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 5,5$ кг/л.с., а отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв} / m_{ла} = 0,024$ л.с./кг.

Первым, кому удалось построить пилотируемый ЛА тяжелее воздуха, о котором достоверно известно, что он был способен оторваться от земли с помощью установленного на нём двигателя, был французский инженер Клеман Адер. В 1886 – 1897 гг. он построил и испытал серию аппаратов с паровым двигателем для «воздушного судоходства». 9 октября 1890 г. ЛА «Авион-1» (другое название «Eole») с находившимся на его борту К. Адером, разогнался под действием тяги винта, оторвался от земли на высоту около метра и пролетел ~50 м. Взлётная масса ЛА составляла ~300 кг. Двигатель развивал мощность 20 л.с., масса СУ, включающей двухцилиндровый двигатель, паровой котёл и паровоздушный конденсатор, составляла 64 кг. Соответственно удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 3,2$ кг/л.с., а отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв} / m_{ла} = 0,067$ л.с./кг. Следует отметить, что аэродинамика ЛА Адера была далека от совершенства, т.к. изобретатель в конструкции своих аппаратов подражал устройству

крыльев птиц и летучих мышей. Это не позволило К. Адеру добиться длительного полёта своих ЛА. Тем не менее Клеман Адер сделал первый успешный шаг в практической реализации идеи самолёта. Само слово авиация произошло от названия его ЛА – «Авион».

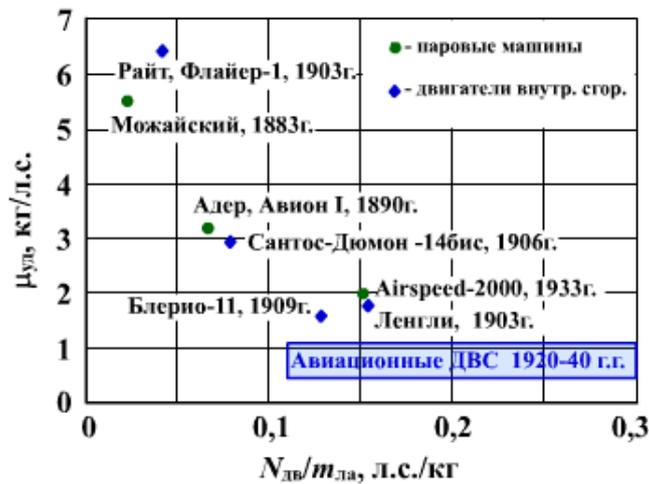


Рис. 2. Мощностные и весовые параметры двигателей и летательных аппаратов

Результаты К. Адера были повторены английским инженером Х. Максимом (конструктором знаменитого пулемёта «Максим») в 1894 г. на ЛА с паровым двигателем и в 1903 г. немецким изобретателем К. Ято на ЛА с 12-сильным бензиновым двигателем внутреннего сгорания (ДВС) фирмы «Буше».

В период с 1898 по 1903 год правительство США финансировало программу создания самолёта – проект профессора С. Ленгли. Было проведено несколько испытаний опытного образца, названного «Аэродром-А». Взлёт осуществлялся без разбега с помощью катапульты, которая была размещена на крыше баржи. Посадка должна была производиться на водную поверхность. Для самолёта С. Ленгли в 1900 году конструктором автомобилей С. Бальзером был разработан эффективный звездообразный ДВС, впоследствии доработанный Ч. Менли. Двигатель Бальзера – Менли развивал мощность 52 л.с. при массе конструкции 94 кг. Удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 1,81$ кг/л.с. и была существенно ниже, чем у всех построенных ранее двигателей. При взлётной массе самолёта 340 кг отношение развиваемой мощности к массе ЛА составляла $N_{дв}/m_{ла} = 0,153$ л.с./кг, что потенциально позволяло совершать полёты. Однако обе попытки полёта самолёта «Аэродром-А» закончились авариями на старте. Летом 1903 г. программа была закрыта.

Более значимого практического результата удалось добиться братьям Орвиллу и Уилбуру Райт. С 1899 по 1902 гг. они построили и испытали несколько планеров, на которых отработали свой оригинальный способ аэродинамического управления ЛА по крену за счёт перекоса крыла (аналог элеронов), обеспечивающий устойчивость ЛА при случайных порывах ветра, а также разработали механизм поворота ЛА в нужном направлении за счёт одновременного перекоса крыла и отклонения вертикального руля направления. До этого планеристы (О. Лилиенталь, Ф. Фербер, О. Шанют, А. Херринг и др.) в основном использовали балансирный способ управления, изменяя положение лётчика относительно аэродинамического фокуса ЛА.

В 1902 г. изобретатели решили оснастить свой очередной планер, получивший название «Флайер-1», двигателем. В велосипедной мастерской братьев был изготовлен

облегченный вариант четырёхцилиндрового автомобильного ДВС водяного охлаждения, развивающий мощность 12 л.с. и весящий 77 кг. При взлётной массе ЛА 340 кг (с учётом пилота), удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 6,42$ кг/л.с., а отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв}/m_{ла} = 0,0353$ л.с./кг. Недостаток мощности двигателя компенсировался высоким для того времени значением КПД винтов, достигавшим 0,66 [1]. Тем не менее собственной тяги двигателя было недостаточно для короткого разбега и отрыва от земли, поэтому ЛА мог взлетать только при встречном ветре. С 1904 г. для взлёта использовали специальную катапульту.

17 декабря 1903 г. «Флайер-1» совершил четыре кратковременных полёта, стартовав при сильном встречном ветре. Во время первого успешного полёта ЛА братьев Райт поднялся в воздух на высоту примерно 3 метра и пролетел 36,5 метра за 12 секунд. Полёты проводились в уединённом месте на побережье Атлантического океана и очевидцами их были 5 человек, помогавших при подготовке к полётам.

Первый успешный публичный полёт самолёта без использования внешних приспособлений и погодных факторов выполнил 23 октября 1906 г. в окрестностях Парижа знаменитый воздухоплаватель и авиатор бразильского происхождения Альберто Сантос-Дюмон. Биплан Сантос-Дюмона с коробчатым крылом, получивший обозначение «14 бис», самостоятельно взлетел с ровной площадки, пролетел 60 метров с поворотом по дуге и успешно сел на собственное шасси.

Самолёт «14 бис» был оснащён восьмицилиндровым ДВС водяного охлаждения «Антуанетта 8V», развивающим мощность 32 л.с. и весящим 95 кг. Взлётная масса ЛА составляла 400 кг, удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 2,97$ кг/л.с., а отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв}/m_{ла} = 0,08$ л.с./кг. Аэродинамически самолёт «14 бис» был менее совершенным, чем ЛА братьев Райт, и успех Сантос-Дюмона связан в основном с использованием более мощного двигателя.

В дальнейшем, в первых десятилетиях XX века, авиация бурно развивалась во всём мире. К 1909 году было начато серийное производство наиболее успешных типов самолётов, например таких как «Блерио-11», на котором Луи Блерио 25 июля 1909 г. перелетел пролив Ламанш. «Блерио-11» оснащался трехцилиндровым полурадiallyм ДВС воздушного охлаждения «Анзани W3», развивающим мощность ~40 л.с. и весящим 65 кг. Взлётная масса ЛА составляла 300 кг, удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 1,63$ кг/л.с., а отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв}/m_{ла} = 0,13$ л.с./кг.

Прогресс авиации того времени сопровождался совершенствованием ДВС. В 1920 – 1940 гг. удельная масса авиационных ДВС составляла $\mu_{уд} = 0,45...1,1$ кг/л.с. [2], обеспечивая отношение развиваемой мощности к массе ЛА на уровне $N_{дв}/m_{ла} = 0,11...0,3$ л.с./кг (рис. 2).

Имелся также успешный опыт применения в авиации паровых машин. В апреле 1933 года американские изобретатели братья Джордж и Уильям Бесслер совместно с инженером Натаном Прайсом продемонстрировали вариант серийного биплана Travel Air 2000, на котором вместо штатного ДВС была установлена паровая машина. Этот самолёт получил название Airspeed 2000. Для работы паровой машины на самолёте размещался 40-литровый бак воды (10 галлонов), которой хватало на 600 км полёта. Двухцилиндровый V-образный паровой двигатель развивал мощность 150 л.с. и весил 80 кг. Суммарная масса силовой установки с учётом бака и топки составляла примерно 300 кг, взлётная масса самолёта – 987 кг. Удельная масса СУ (рис. 2) равнялась $\mu_{уд} = 2,0$ кг/л.с., а отношение развиваемой мощности к массе ЛА $N_{дв}/m_{ла} = 0,152$ л.с./кг. Таким образом, СУ с паровым двигателем была в среднем в 2,5 раза тяжелее эксплуа-

тируемых в то время ДВС. Поэтому, несмотря на то, что Airspeed 2000 успешно эксплуатировался до 1936 г., в дальнейшем паровые двигатели в авиации не использовались.

Первый русский самолёт

В 1877 г. А.Ф. Можайский продемонстрировал действующую модель своего самолёта Комиссии по воздухоплаванию Главного инженерного управления Военного министерства Российской Империи (ГИУ) и обратился с просьбой о предоставлении ему денежных средств для продолжения исследований по определению рационального облика ЛА и основных его частей. «Программа опытов над моделями летального аппарата», представленная А.Ф. Можайским в ГИУ, предусматривала [3]:

- определение конструктивных параметров воздушных винтов, экспериментальные исследования полноразмерных винтов с приводом от паровой машины;
- исследование возможности использования небольших площадей задней части крыла для управления ЛА путём их отклонения;
- изготовление двигателей для моделей ЛА;
- экспериментальные исследования моделей ЛА с целью определения необходимой площади крыла, площади хвостового оперения, веса ЛА, приходящегося на единицу площади крыла, скорости полёта, при которой возникает подъёмная сила равная весу ЛА.

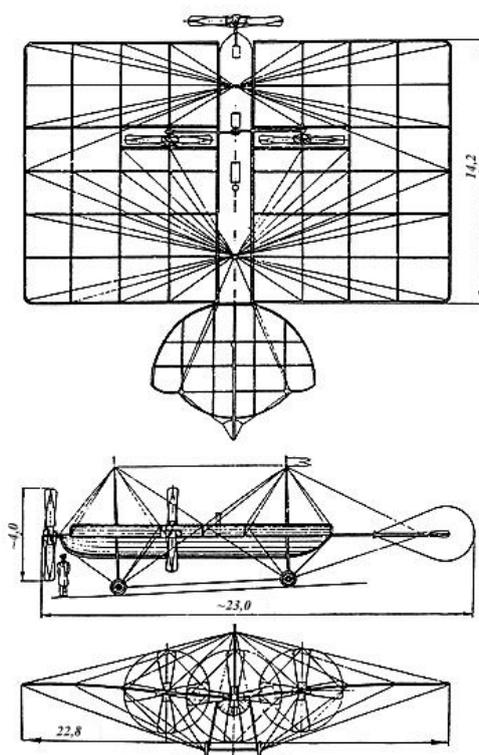


Рис. 3. Схема самолёта Можайского [4]

Через год исследований А.Ф. Можайский пришёл к выводу о необходимости перехода к опытам на полноразмерном ЛА (рис. 3) и обратился в ГИУ с просьбой выделения средств на постройку ЛА, состоящего:

- из лодки, служащей для размещения паровой машины и людей;
- двух неподвижных крыльев;
- регулируемого хвостового оперения, служащего для изменения направления полёта;
- переднего и двух боковых винтов, служащих, в том числе, для поворота вправо-влево;
- колёсной тележки, на которой устанавливается ЛА;
- двух мачт, необходимых для увязки ЛА в единую конструкцию и управления хвостовым оперением.

Предполагалось использовать двигатели системы Брайтона с запасом керосина на 2 часа работы. Суммарная мощность двигателей была принята равной 30 л. с. Двигатель Брайтона являлся одним из первых поршневых двигателей внутреннего сгорания. Он был запатентован в 1872 г., а в варианте с улучшенной системой смесеобразования – в 1874 г. С 1876 г. двигатель Брайтона выпускался серийно.

Двигатель Брайтона (рис. 4) состоял из кривошипно-шатунного механизма с маховиком, имеющим кинематическую связь с поршнем, цилиндра с верхней и нижней камерами, резервуара сжатого воздуха, испарительного карбюратора и системы зажигания. Атмосферный воздух сжимался в камере над поршнем и поступал в резервуар. Из резервуара сжатый воздух, смешиваясь в карбюраторе с парами жидкого топлива, подавался в камеру под поршнем, на входе в которую воспламенялся. Сгорая при постоянном давлении, газ расширялся, двигая поршень вверх, сжимая при этом новую порцию воздуха и вращая маховик.

Рассмотрев проект самолёта, комиссия ГИУ отметила: на основании результатов опытов, проведённых А.Ф. Можайским на моделях, можно принять, что для полноразмерного ЛА с расчётной взлётной массой 820 кг (50 пудов) потребуется суммарная мощность двигателей не менее 60 л. с. Комиссия пришла к выводу, что мощность двигателей следует увеличить, но проект, если и будет успешно реализован, то только с «подвижными крыльями». В выделении средств было отказано.

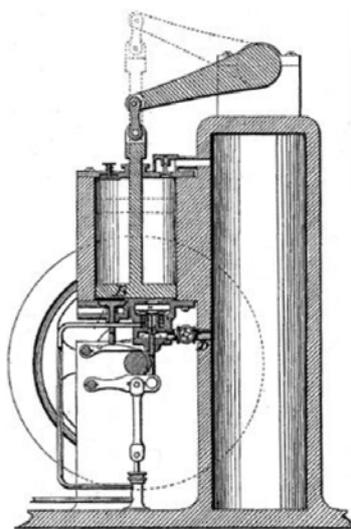


Рис. 4. Схема двигателя Брайтона образца 1874 г.
(патент US151,468 – 2.06.1874)

Однако А.Ф. Можайский не прекратил работу над своим ЛА. В 1880 году он отправился в Америку для закупки двигателей Брайтона. Поездка оказалась неудачной. Двигатель Брайтона не мог обеспечить требуемую мощность. Полная мощность, развиваемая им на прямом ходе поршня при сгорании топлива, достигала 8,62 л.с., часть из которых тратилась на сжатие воздуха и терялась на трение в механизме. Полезная мощность двигателя составляла около 4 л.с. Выяснив это, А.Ф. Можайский принял решение об установке на ЛА паровой машины. Водотрубный котёл, паровоздушный конденсатор и два паровых двигателя мощностью 10 и 20 л.с. были закуплены в Англии и привезены в Россию в 1881 г.

Краткое описание паровой машины «разработанной и изготовленной Абрбекером и Хэмкенсом для капитана Российского Императорского флота Можайского» приводится в журнале Engineering [5]. Отмечается, что для снижения массы двигателей в их конструкции были использованы облегчённые детали. Однако для того, чтобы обеспечить надёжную работу, пришлось снизить скорость движения поршней, что привело к уменьшению вырабатываемой мощности. Как результат удельная масса СУ $\mu_{уд}$ получилась заметно выше, чем например у СУ ЛА К. Адера, разработанной примерно на 5 лет позднее (рис. 2).

В 1881 г. А.Ф. Можайский получил от Департамента торговли и мануфактур Привилегию (патент) на пятилетнее исключительное право на своё изобретение в Российской Империи. В этом же году на выделенном ему участке военного поля в Красном селе под Петербургом он приступил к постройке самолёта.

В 1883 году самолёт был изготовлен и собран. В том же году по просьбе А.Ф. Можайского проект его самолёта был подробно изучен комиссией Воздухоплавательного отдела Императорского Российского технического общества под председательством М.А. Рыкачёва. Комиссия отметила, что А.Ф. Можайским в расчётах было принято аэродинамическое качество ЛА $k_a = 9,6$, что существенно выше уровня, определённого им при испытании моделей. Было рекомендовано принять полученное на моделях аэродинамическое качество $k_a = 3,7$ и уточнить потребную мощность силовой установки, которая, по мнению комиссии, должна быть не менее 75 л.с. Однако, несмотря на это заключение, А.Ф. Можайский оставил СУ без изменений.

В 1883 – 1884 годах проводились наземные испытания и доводка ЛА. Попытка провести лётные испытания была предпринята, по-видимому, летом 1885 года. Самолёт Можайского разбежался по рельсам, уложенным горизонтально, либо, по некоторым данным, с уклоном вниз [4; 6; 8]. При разгоне самолёт накренился на бок и сломал консоль крыла. Возможно, если рельсы действительно были уложены с уклоном, самолёт кратковременно оторвался от земли, но в исторических документах прямых упоминаний об этом нет.

После неудачных испытаний самолёт требовал ремонта и доработки. В 1885 г. с него были сняты и отправлены на хранение двигатели. С целью повышения суммарной мощности СУ до 60 л. с. в 1886 г. на Обуховском заводе были заказаны два дубликата 20-сильной паровой машины. Однако после смерти А.Ф. Можайского в 1890 г. работы по модернизации его самолёта были прекращены.

Во времена А.Ф. Можайского подавляющее большинство научной общественности полагало, что практическую ценность имеет разработка аэростатов. Исследования ЛА тяжелее воздуха считались малоперспективными. Поэтому работа А.Ф. Можайского в то время не была оценена по достоинству и не получила дальнейшего продолжения. Авиация пришла в Россию через 20 лет из Франции.

Оценка достаточности мощности двигателей первых самолётов

Статистические данные по мощностным и весовым параметрам первых пилотируемых самолётов (рис. 2) дают общее представление о совершенстве их двигателей, но не позволяют однозначно судить о достаточности вырабатываемой мощности для совершения полёта. Для этого потребуется выполнить некоторые дополнительные вычисления.

В первом приближении мощность двигателя $N_{\text{дв.потр}}$, минимально необходимую для взлёта, можно определить из условия баланса сил в установившемся горизонтальном полёте ЛА:

$$N_{\text{дв.потр}} = \frac{gm_{\text{ла}} v_{\text{отр}}}{k_a \eta_b},$$

где $gm_{\text{ла}}$ – вес ЛА; $v_{\text{отр}}$ – скорость, при которой ЛА отрывается от земли; k_a – аэродинамическое качество ЛА; η_b – КПД винта (с учётом трансмиссии).

Скорость отрыва можно рассчитать по формуле:

$$v_{\text{отр}} = \sqrt{\frac{2gm_{\text{ла}}}{\rho c_y S}},$$

где ρ – плотность атмосферного воздуха; c_y – коэффициент подъёмной силы; S – площадь крыла.

Значения параметров, необходимых для выполнения вычислений, в настоящей работе выбраны по следующим соображениям. При испытаниях модели самолёта Можайского, проведённых ЦАГИ в 1979 – 1981 гг. [7], было получено, с учётом экранного эффекта, максимальное аэродинамическое качество $k_a = 4,6$ при $c_y = 0,34$ (в свободном пространстве $k_a = 4,05$). Сам Можайский принимал аэродинамическое качество $k_a = 9,6$, а авторы работы [8], исследовавшие газодинамическую модель самолёта Можайского, получили $k_a = 9,7$. В настоящей работе для самолёта Можайского принято $k_a = 4,6$, так как это наиболее обоснованное значение. Для полноты картины выполнены также расчёты с $k_a = 9,7$. Результаты этих расчётов приводятся в табл. 1 в скобках.

Из дневников братьев Райт известно, что при первом полёте «Флайера-1» 17 декабря 1903 г. скорость отрыва составляла 27...28 миль/ч (с учётом скорости встречного ветра ~20 миль/ч), или ~12 м/с [1]. При $m_{\text{ла}} = 340$ кг и $S = 47,4$ м², это соответствует $c_y = 0,78$, что хорошо согласуется с полярной планера [9], испытанного братьями Райт в 1902 г., на базе которого и был разработан «Флайер-1». По полярке планера братьев Райт 1902 г. [9] для $c_y = 0,78$ получается $k_a = 7$. Аэродинамическое качество других рассмотренных здесь ЛА принималось экспертно, с учётом статистических данных [1]. Полученные результаты приводятся в табл. 1.

Таблица 1. Располагаемая и потребная мощность силовой установки

Летательный аппарат	$S, \text{ м}^2$ [1]	k_a	η_v	$N_{\text{дв.потр}}, \text{ л.с.}$	$\frac{N_{\text{дв.расп}}}{N_{\text{дв.потр}}}$
ЛА Феликса дю Тампля, 1858 г.	130	4,6	0,45	23,63	0,25
ЛА А.Ф. Можайского, 1883 г.	372	4,6 (9,7)	0,52	88,11 (41,8)	0,34 (0,72)
«Авион-1», К. Адер, 1890 г.	28	5	0,55	19,97	1,0
«Флаер-1», Братья Райт, 1903 г.	47,4	7	0,66	11,95	1,0
«14 бис», Сантос-Дюмон, 1906 г.	52	5,5	0,6	19,78	1,62
«Блерио-11», 1909 г.	14	5	0,7	22,01	1,82

Одной из наиболее сложных задач, которые приходилось решать создателям первых самолётов, была разработка воздушных винтов. Известно, что А.Ф.Можайскому пришлось много экспериментировать на моделях и натуральных образцах винтов, прежде чем они были доведены до приемлемой формы и размеров [4]. На его самолёте были установлены три 4-лопастных винта, представлявших собой деревянные рамки, обшитые с помощью проволоки тонкими дощечками. Для фиксации положения лопастей применялась система расчалок. По оценкам ЦАГИ диаметр винтов составлял 4,75 м, расчётная частота вращения 160 об/мин [10]. Для привода переднего винта от меньшего двигателя, по-видимому, использовалась зубчатая передача с понижением частоты вращения в 2,81 раза. От большего двигателя к боковым винтам шли приводные ремни, понижающие частоту вращения в 1,875 раза. По оценкам ЦАГИ КПД винтов самолёта Можайского на взлёте находился на уровне $\eta_e = 0,52$ [7].

На самолёте Феликса дю Тампля был установлен 6-лопастной винт из стальных труб и шёлка. КПД такого винта невысок, его значение можно принять равным $\eta_e = 0,45$.

Бипланы братьев Райт приводились в движение двумя двухлопастными пропеллерами диаметром 2,6 метра, расположенными между крыльями позади пилота. Винты изготавливались из склеенных слоёв древесины. Чтобы гасить гироскопический момент, использовалось противовращение. Пропеллеры соединялись с двигателем цепной передачей, уменьшавшей частоту их вращения втрое. Винты были специально спрофилированы и имели высокий, для того времени КПД, который по оценкам братьев Райт был равен $\eta_e = 0,66$ [1].

Принятые с учётом вышесказанного значения КПД винтов ЛА, рассмотренных в настоящей работе, приводятся в табл. 1. Результаты расчёта отношения располагаемой суммарной мощности двигателей к минимально потребной для полёта ЛА также представлены в табл. 1.

Заключение

Анализ известных статистических данных и результатов выполненных расчётных оценок первых самолётов и их СУ позволяет показать роль двигателей в становлении авиации.

Мощность, развиваемая паровой СУ самолёта Феликса дю Тампля, была в четыре раза ниже требуемой для совершения горизонтального полёта. Возможно, это было основной причиной, по которой он не предпринял попыток взлететь на своём ЛА.

Выполненные оценки подтверждают, что располагаемая мощность двигателей самолёта А.Ф. Можайского также была недостаточной, что привело к неудаче его испытаний в 1885 г. Однако эти испытания, по-видимому, были первой попыткой совер-

шить полёт пилотируемого ЛА тяжелее воздуха при помощи тяги, развиваемой его воздушными винтами.

Мощности паровой машины, установленной на разработанный К. Адером самолёт «Авион-1», хватало для отрыва от земли. Это позволило ему в 1900 г. совершить первый в истории кратковременный пилотируемый полёт. Однако сам ЛА при этом был неуправляемым.

Аэродинамика и система управления ЛА братьев Райт были более совершенны, чем у предыдущих самолётов. Двигатель развивал достаточную мощность для выполнения горизонтального полёта, однако её не хватало для уверенного старта. Взлёт всех модификаций самолёта братьев Райт осуществлялся с использованием дополнительных внешних устройств.

Двигатель «Антуанетта 8V», устанавливаемый на самолёт А. Сантос-Дюмона «14 бис», развивал достаточную мощность для самостоятельного старта ЛА, горизонтального полёта и посадки с использованием самолётного шасси. Это позволило ему в 1906 г. совершить первый в истории успешный публичный полёт самолёта без использования внешних приспособлений и погодных факторов. При этом самолёт «14 бис», в отличие от ЛА братьев Райт, не имел управления по крену, поэтому он не мог энергично менять курс и терял устойчивость при боковом ветре.

Самолёт «Блерио-11» был одним из наиболее совершенных ЛА периода становления авиации. Его двигатель «Анзани W3» развивал высокую мощность, что позволяло самолёту автономно взлетать и совершать длительные полёты. В 1909 г. на этом самолёте Луи Блерио перелетел пролив Ламанш, что продемонстрировало достаточную зрелость авиационных технологий и прослужило толчком к распространению авиации во всём мире.

Библиографический список

1. Соболев Д.А. История самолётов. Начальный период. М.: РОССПЭН, 1995. 343 с.
2. Авиационные моторы военных воздушных сил иностранных государств: Англии, США, Германии, Франции, Италии. М.: Воениздат, 1939. 167 с.
3. Бычков В.Н. К истории создания самолёта А.Ф. Можайского // В сб.: «Авиация в России (к 100-летию отечественного самолётостроения)». М.: Машиностроение, 1983. С. 11-40.
4. Шавров В.Б. История конструкций самолётов в СССР до 1938 г. М.: Машиностроение, 1986. 751 с.
5. Engineering: An Illustrated Weekly Journal. 1881. V. XXXI, May 6. 458 p.
6. Вейгелин К.Е. Очерки по истории лётного дела. М.: Оборонгиз, 1940. 458 с.
7. Мартынов А.К., Баршевский В.Б., Владимиров А.Н., Коновалов С.Ф., Остроухов С.П. Аэродинамические характеристики, характеристики воздушных винтов, аэродинамический расчёт самолёта А.Ф. Можайского // В сб.: «Авиация в России (к 100-летию отечественного самолётостроения)». М.: Машиностроение, 1983. С. 67-83.
8. Пухов А.А., Куприков М.Ю., Зайков К.С., Куприков Н.М. Роль А.Ф. Можайского в истории авиастроения // Вопросы истории. 2023. № 3, ч. 2. С. 94-107. DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202303Statyi53
9. Padfield G.D., Lawrence B. The birth of flight control: An engineering analysis of the Wright brothers' 1902 glider // The Aeronautical Journal. 2003. V. 107, Iss. 1078. P. 697-718. DOI: 10.1017/s0001924000013464

10. Баршевский В.Б., Тепеницын М.П., Фролов В.М. Установление облика самолёта А.Ф. Можайского на основе архивных данных и расчётов // В сб.: «Авиация в России (к 100-летию отечественного самолётостроения)». М.: Машиностроение, 1983. С. 41-66.

POWER PLANTS OF THE FIRST AIRCRAFT

© 2023

A. S. Drygin Candidate of Science (Engineering), Leading Researcher;
Central Institute of Aviation Motors, Moscow, Russian Federation;
drygin300@yandex.ru

The article is dedicated to the 140th anniversary of the construction of the first Russian aircraft designed by Alexander Fedorovich Mozhaisky. The main attention is paid to a comparative assessment of the parameters of the power plants of the Mozhaisky aircraft and some of the best known of the first heavier-than-air manned aircraft driven by a propeller. For the analysis, data published in various sources were used, primarily on the parameters of the elements of power plants (engines and propellers). An assessment was made of the sufficiency of the engine power of the first aircraft needed for their flight. The published materials of detailed studies of the aerodynamics of aircraft by A.F. Mozhaisky and the Wright brothers were used as the basis for an expert qualitative assessment of the aerodynamic characteristics of the compared aircraft. An analysis of the known statistical data and the results of the calculated estimates made it possible to show the impact of engine improvement on the progress in aviation.

History of aviation; first aircraft; aircraft power plant

Citation: Drygin A.S. Power plants of the first aircraft. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2023. V. 22, no. 4. P. 158-169. DOI: 10.18287/2541-7533-2023-22-4-158-169

References

1. Sobolev D.A. *Istoriya samoletov. Nachal'nyy period* [Aircraft history. Initial period]. Moscow: ROSSPEN Publ., 1995. 343 p.
2. *Aviatsionnye motory voennykh vozdushnykh sil inostrannykh gosudarstv: Anglii, SShA, Germanii, Frantsii, Italii* [Aviation engines of air forces of foreign countries]. Moscow: Voenizdat Publ., 1939. 167 p.
3. Bychkov V.N. K istorii sozdaniya samoleta A.F. Mozhayskogo. *V sb.: «Aviatsiya v Rossii (k 100-letiyu otechestvennogo samoletostroeniya)»*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983. P. 11-40. (In Russ.)
4. Shavrov V.B. *Istoriya konstruktsiy samoletov v SSSR do 1938 g.* [The history of aircraft designs in the USSR until 1938]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1986. 751 p.
5. *Engineering: An Illustrated Weekly Journal*. 1881. V. XXXI, May 6. 458 p.
6. Veygelin K.E. *Ocherki po istorii letnogo dela* [Essays on the history of flying]. Moscow: Oborongiz Publ., 1940. 458 p.
7. Martynov A.K., Barshevskiy V.B., Vladimirov A.N., Konvalov S.F., Ostroukhov S.P. Aerodinamicheskie kharakteristiki, kharakteristiki vozdushnykh vintov, aerodinamicheskiy raschet samoleta A.F. Mozhayskogo. *V sb.: «Aviatsiya v Rossii (k 100-letiyu otechestvennogo samoletostroeniya)»*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983. P. 67-83. (In Russ.)
8. Pukhov A.A., Kuprikov M.Yu., Zaikov K.S., Kuprikov N.M. The significance of A.F. Mozhaiskiy in the history of aircraft construction. *Voprosy Istorii*. 2023. No. 3, part 2. P. 94-107. (In Russ.). DOI: 10.31166/VoprosyIstorii202303Statyi53

9. Padfield G.D., Lawrence B. The birth of flight control: An engineering analysis of the Wright brothers' 1902 glider. *The Aeronautical Journal*. 2003. V. 107, Iss. 1078. P. 697-718. DOI: 10.1017/s0001924000013464

10. Barshevskiy V.B., Tepenitsyn M.P., Frolov V.M. Ustanovlenie oblika samoleta A.F. Mozhayskogo na osnove arkhivnykh dannykh i raschetov. *V sb.: «Aviatsiya v Rossii (k 100-letiyu otechestvennogo samoletostroeniya)»*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1983. P. 41-66. (In Russ.)