

Большая тайна маленьких турбин

Статья взята с сайта www.rcdesign.ru

Автор - Виталий Дукин (Wit)

Что такое турбореактивный двигатель?
Развитие ТРД в авиамоделизме
Конструкция модельного ТРД
С чего начать?
Практика использования в авиамоделизме
Топливная система
Обслуживание и моторесурс
Первая реактивная модель
Подведём итог

Из полученного e-mail (копия оригинала):

«Уважаемый Виталий! Ни магли бы Вы нимного больше рассказать о модельных ТРД, что это вааобще такое и с чем их едят?»

Начнём с гастрономии, турбины ни с чем не едят, ими восхищаются! Или, перефразируя Гоголя на современный лад: «Ну какой же авиамоделист не мечтает построить реактивный истребитель?!».

Мечтают многие, но не решаются. Много нового, еще больше непонятного, много вопросов. Часто читаешь в различных форумах, как представители солидных ЛИИ и НИИ с умным видом нагоняют страха и пытаются доказать, как это всё сложно! Сложно? Да, может быть, но не невозможно! И доказательство тому - сотни самодельных и тысячи промышленных образцов микротурбин для моделизма! Надо только подойти к этому вопросу философски: всё гениальное - просто. Поэтому и написана эта статья, в надежде поубавить страхов, приподнять вуаль неизвестности и придать вам больше оптимизма!

➡ Что такое турбореактивный двигатель?

Турбореактивный двигатель (ТРД) или газотурбинный привод основан на работе расширения газа. В середине тридцатых годов одному умному английскому инженеру пришла в голову идея создания авиационного двигателя без пропеллера. По тем временам - просто признак сумасшествия, но по этому принципу работают все современные ТРД до сих пор.

На одном конце вращающегося вала расположен компрессор, который нагнетает и сжимает воздух. Высвобождаясь из статора компрессора, воздух расширяется, а затем, попадая в камеру сгорания, разогревается там сгорающим топливом и расширяется ещё сильнее. Так как деваться этому воздуху больше некуда, он с огромной скоростью стремится покинуть замкнутое пространство, протискиваясь при этом сквозь крыльчатку турбины, находящейся на другом конце вала и приводя её во вращение. Так как энергии этой разогретой воздушной струи намного больше, чем требуется компрессору для его работы, то ее остаток высвобождается в сопле двигателя в виде мощного импульса, направленного назад. И чем больше воздуха разогревается в камере сгорания, тем он быстрее стремится её покинуть, ещё сильнее разгоняя турбину, а значит и находящийся на другом конце вала компрессор.

На этом же принципе основаны все турбоагрегаты воздуха для бензиновых и дизельных моторов, как двух, так и четырёхтактных. Выхлопными газами разгоняется крыльчатка турбины, вращая вал, на другом конце которого расположена крыльчатка компрессора, снабжающего двигатель свежим воздухом.

Принцип работы - проще не придумаешь. Но если бы всё было так просто!

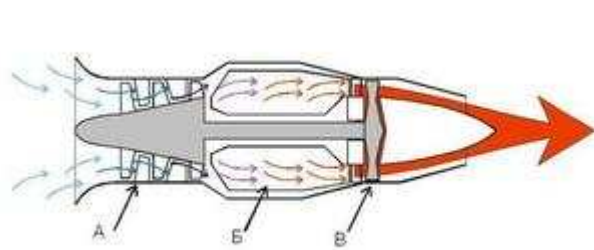


Схема работы ТРД.

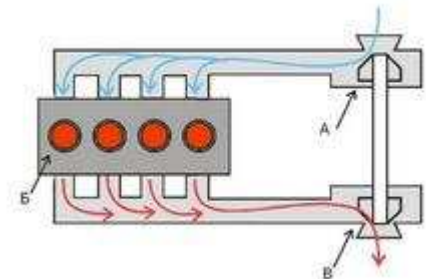


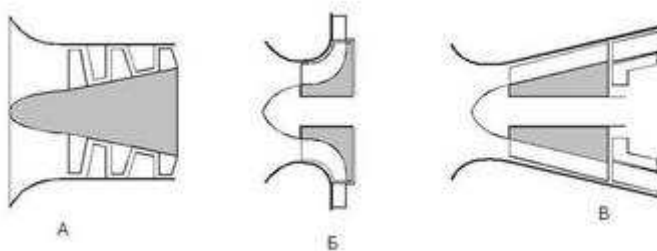
Схема работы турбоагрегата поршневого ДВС.

ТРД можно четко разделить на три части.

- А.** Ступень компрессора
- Б.** Камера сгорания
- В.** Ступень турбины

Мощность турбины во многом зависит от надёжности и работоспособности её компрессора. В принципе бывают три вида компрессоров:

- А.** Аксиальный или линейный
- Б.** Радиальный или центробежный
- В.** Диагональный



Типы компрессоров.

А. Многоступенчатые линейные компрессоры получили большое распространение только в современных авиационных и промышленных турбинах. Дело в том, что достичь приемлемых результатов линейным компрессором можно, только если поставить последовательно несколько ступеней сжатия одну за другой, а это сильно усложняет конструкцию. К тому же, должен быть выполнен ряд требований по устройству диффузора и стенок воздушного канала, чтобы избежать срыва потока и помпажа. Были попытки создания модельных турбин на этом принципе, но из-за сложности изготовления, всё так и осталось на стадии опытов и проб.

Б. Радиальные, или центробежные компрессоры. В них воздух разгоняется крыльчаткой и под действием центробежных сил компримируется - сжимается в спрямительной системе-статоре. Именно с них начиналось развитие первых действующих ТРД.

Простота конструкции, меньшая подверженность к срывам воздушного потока и сравнительно большая отдача всего одной ступени были преимуществами, которые раньше толкали инженеров начинать свои разработки именно с этим типом компрессоров. В настоящее время это основной тип компрессора в микротурбинах, но об этом позже.

В. Диагональный, или смешанный тип компрессора, обычно одноступенчатый, по принципу работы похож на радиальный, но встречается довольно редко, обычно в устройствах турбонаддувов поршневых ДВС.

➡ Развитие ТРД в авиамоделизме

Среди авиамodelистов идёт много споров, какая же турбина в авиамodelизме была первой. Для меня первая авиамodelьная турбина, это американская TJD-76. В первый раз я увидел этот аппарат в 1973 году, когда два полупьяных мичмана пытались подключить газовый баллон к круглой штуковине, примерно 150 мм в диаметре и 400 мм длинной, привязанной обыкновенной вязальной проволокой к радиоуправляемому катеру, постановщику целей для морской пехоты. На вопрос: «Что это такое?» они ответили: «Это мини мама! Американская... мать её так, не запускается...».

Намного позже я узнал, что это Мини Мамба, весом 6,5 кг и с тягой примерно 240 Н при 96000 об/мин. Разработана она была ещё в 50-х годах как вспомогательный двигатель для лёгких планеров и военных дронов. Особенность этой турбины в том, что в ней использовался диагональный компрессор. Но в авиамodelизме она широкого применения так и не нашла.

Первый «народный» летающий двигатель разработал праотец всех микротурбин Курт Шреклинг в Германии. Начав больше двадцати лет назад работать над созданием простого, технологичного и дешевого в производстве ТРД, он создал несколько образцов, которые постоянно совершенствовались. Повторяя, дополняя и улучшая его наработки, мелкосерийные производители сформировали современный вид и конструкцию модельного ТРД.

Но вернёмся к турбине Курта Шреклинга. Выдающаяся конструкция с деревянной крыльчаткой компрессора, усиленной углеволокном. Кольцевая камера сгорания с испарительной системой впрыска, где по змеевику длинной примерно в 1 м подавалось топливо. Самодельное колесо турбины из 2,5 миллиметровой жести! При длине всего в 260 мм и диаметре 110 мм, двигатель весил 700 грамм и выдавал тягу в 30 Ньютон! Это до сих пор самый тихий ТРД в мире. Потому как скорость покидания газа в сопле двигателя составляла всего 200 м/с.

На основе этого двигателя было создано несколько вариантов наборов для самостоятельной сборки. Самым известным стал FD-3 австрийской фирмы Шнайдер-Санчес.



Дерево - материал будущего?! Такой вопрос задавали себе самодельщики и профессионалы ещё 10 лет назад!



Камера сгорания со змеевиком-испарителем.



Колесо турбины.

Ещё 10 лет назад авиамоделист стоял перед серьёзным выбором - импеллер или турбина?

Тяговые и разгонные характеристики первых авиамодельных турбин оставляли желать лучшего, но имели несравненное превосходство перед импеллером - они не теряли тягу с нарастанием скорости модели. Да и звук такого привода был уже настоящим «турбинным», что сразу очень оценили копиисты, а больше всего публика, непременно присутствующая на всех полётах. Первые Шреклингские турбины спокойно поднимали в воздух 5-6 кг веса модели. Старт был самым критическим моментом, но в воздухе все остальные модели отходили на второй план!



FD-3 на He-Salamander.

Авиамодель с микротурбиной тогда можно было сравнить с автомобилем, постоянно двигающимся на четвёртой передаче: ее было тяжело разогнать, но зато потом такой модели не было уже равных ни среди импеллеров, ни среди пропеллеров.

Надо сказать, что теория и разработки Курта Шреклинга способствовали к тому, что развитие промышленных образцов, после издания его книг, пошло по пути упрощения конструкции и технологии двигателей. Что, в общем то, и привело к тому, что этот тип двигателя стал доступным для большого круга авиамоделистов со средним размером кошелька и семейного бюджета!

Первые образцы серийных авиамодельных турбин были JPX-T240 французской фирмы Vibraye и японская J-450 Sophia Precision. Они были очень похожи как по конструкции, так и по внешнему виду, имели центробежную ступень компрессора, кольцевую камеру сгорания и радиальную ступень турбины. Французская JPX-T240 работала на газе и имела встроенный регулятор подачи газа. Она развивала тягу до 50 N, при 120.000 оборотах в минуту, а вес аппарата составлял 1700 гр. Последующие образцы, T250 и T260 имели тягу до 60 N. Японская София работала в отличие от француженки на жидком топливе. В торце ее камеры сгорания стояло кольцо с распылительными форсунками, это была первая промышленная турбина, которая нашла место в моих моделях.



J-450 Sophia Precision.

Турбины эти были очень надёжными и несложными в эксплуатации. Единственным недостатком были их разгонные характеристики. Дело в том, что радиальный компрессор и радиальная турбина относительно тяжелы, то есть имеют в сравнении с аксиальными крыльчатками большую массу и, следовательно, больший момент инерции. Поэтому разгонялись они с малого газа на полный медленно, примерно 3-4 секунды. Модель реагировала на газ соответственно ещё дольше, и это надо было учитывать при полётах.

Удовольствие было не дешевым, одна София стоила в 1995 году 6.600 немецких марок или 5.800 «вечно зелёных президентов». И надо было обладать очень хорошими аргументами, что бы доказать супруге, что турбина для модели намного важнее, чем новая кухня, и что старое семейное авто может протянуть ещё пару лет, а вот с турбиной ждать ну никак нельзя.

Дальнейшим развитием этих турбин является турбина P-15, продаваемая фирмой Thunder Tiger.

Отличие её в том, что крыльчатка турбины у неё теперь вместо радиальной - аксиальная. Но тяга так и осталась в пределах 60 N, так как вся конструкция, ступень компрессора и камера сгорания, остались на уровне позавчерашнего дня. Хотя по своей цене она является настоящей альтернативой многим другим образцам.



Колесо Компрессора и Турбины Софии.

В 1991 году два голландца, Бенни ван де Гур и Хан Еннискенс, основали фирму АМТ и в 1994 г выпустили первую турбину 70N класса - Pegasus. Турбина имела радиальную ступень компрессора с крыльчаткой от турбонагнетателя фирмы Garret, 76 мм в диаметре, а также очень хорошо продуманную кольцевую камеру сгорания и аксиальную ступень турбины.

После двух лет тщательного изучения работ Курта Шреклинга и многочисленных экспериментов они добились оптимальной работы двигателя, установили пробным путём размеры и форму камеры сгорания, и оптимальную конструкцию колеса турбины. В конце 1994 года на одной из дружеских встреч, после полётов, вечером в палатке за бокалом пива, Бенни в разговоре хитро

подмигнул и доверительно сообщил, что следующий серийный образец Pegasus Mk-3 «дует» уже 10 кг, имеет максимальные обороты 105.000 и степень сжатия 3,5 при расходе воздуха 0,28 кг/с и скорости выхода газа в 360 м/с. Масса двигателя со всеми агрегатами составляла 2300 г, турбина была 120 мм в диаметре и 270 мм длиной. Тогда эти показатели казались фантастическими.

По существу, все сегодняшние образцы копируют и повторяют в той или иной степени, заложенные в этой турбине агрегаты.



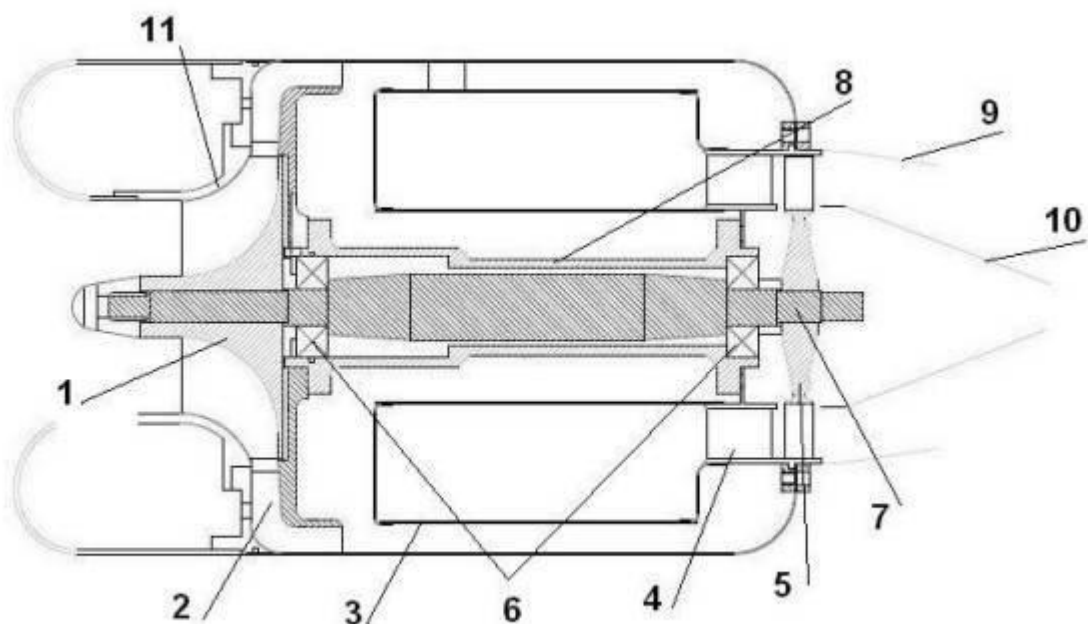
Бенни ван де Гуур (читается коротко – Гур), лето 1993 года, демонстрация прототипа Пегасуса - Mk.2.

В 1995 году, вышла в свет книга Томаса Кампса «Modellstrahltriebwerk» (Модельный реактивный двигатель), с расчётами (больше заимствованными в сокращённой форме из книг К. Шреклинга) и подробными чертежами турбины для самостоятельного изготовления. С этого момента монополия фирм-производителей на технологию изготовления модельных ТРД закончилась окончательно. Хотя многие мелкие производители просто бездумно копируют агрегаты турбины Кампса.

Томас Кампс путём экспериментов и проб, начав с турбины Шреклинга, создал микротурбину, в которой объединил все достижения в этой области на тот период времени и вольно или невольно ввёл для этих двигателей стандарт. Его турбина, больше известная как KJ-66 (KampsJetengine-66mm). 66 мм – диаметр крыльчатки компрессора. Сегодня можно увидеть различные названия турбин, в которых почти всегда указан либо размер крыльчатки компрессора 66, 76, 88, 90 и т.д., либо тяга - 70, 80, 90, 100, 120, 160 N.

Где-то я прочитал очень хорошее толкование величины одного Ньютона: 1 Ньютон – это плитка шоколада 100 грамм плюс упаковка к ней. На практике часто показатель в Ньютонах округляют до 100 грамм и условно определяют тягу двигателя в килограммах.

Конструкция модельного ТРД



Устройство турбины.

1. Крыльчатка Компрессора (радиальная)
2. Спрямительная система Компрессора (статор)
3. Камера сгорания
4. Спрямительная система турбины
5. Колесо турбины (аксиальная)
6. Подшипники
7. Вал
8. Туннель вала
9. Сопло
10. Конус сопла
11. Передняя крышка Компрессора (диффузор)



Эскиз турбины под компрессор 66мм.

С чего начать?



TJ-70 фирмы FrankTurbinen.

Естественно у моделиста сразу возникают вопросы: **С чего начать? Где взять? Сколько стоит?**

1. Начать можно с наборов (Kit-ов). Практически все производители на сегодняшний день предлагают полный ассортимент запасных частей и наборов для постройки турбин. Самыми распространёнными являются наборы повторяющие KJ-66. Цены наборов, в зависимости от комплектации и качества изготовления колеблются в пределах от 450 до 1800 Евро.

2. Можно купить готовую турбину, если по карману, и вы умудритесь убедить в важности такой покупки супругу, не доводя дело до развода. Цены на готовые двигатели начинаются от 1500 Евро для турбин без автостарта.
3. Можно сделать самому. Не скажу что это самый идеальный способ, он же не всегда самый быстрый и самый дешёвый, как на первый взгляд может показаться. Но для самодельщиков самый интересный, при условии, что есть мастерская, хорошая токарно-фрезерная база и прибор для контактной сварки также имеется в наличии. Самым трудным в кустарных условиях изготовления является центровка вала с колесом компрессора и турбиной.

Я начинал с самостоятельной постройки, но в начале 90-х просто не было такого выбора турбин и наборов для их постройки как сегодня, да и понять работу и тонкости такого агрегата удобней при его самостоятельном изготовлении.

Вот фотографии самостоятельно изготовленных частей для авиамодельной турбины:



Спрямительная система компрессора.



Спрямительная система турбины.



Камера сгорания с кольцом испарительной системы впрыска топлива.



Турбина в сборе на прототипе модели Блэк Шарк.

Кто желает поближе ознакомиться с устройством и теорией Микро-ТРД, тому я могу только посоветовать следующие книги, с чертежами и расчётами:

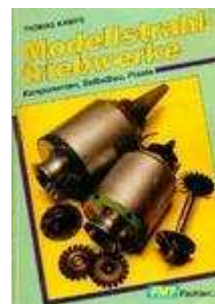
Kurt Schreckling. Strahltriebwerke für Flugmodelle im Selbstbau. ISDN 3-88180-120-0

Kurt Schreckling. Modellturbinen im Eigenbau. ISDN 3-88180-131-6

Kurt Schreckling. Turboprop-Triebwerk. ISDN 3-88180-127-8

Thomas Kamps Modellstrahltriebwerk ISDN 3-88180-071-9





Заказать книги можно напрямую здесь: <http://www.vth.de/>

На сегодняшний день мне известны следующие фирмы, выпускающие авиамодельные турбины, но их становится всё больше и больше: AMT, Artes Jet, Behotec, Digitech Turbines, Funsonic, FrankTurbinen, Jakadofsky, JetCat, Jet-Central, A.Kittelberger, K.Koch, PST- Jets, RAM, Raketeturbine, Trefz, SimJet, Simon Packham, F.Walluschnig, Wren-Turbines. Все их адреса можно найти в Интернете.

➡ Практика использования в авиамоделизме

Начнём с того, что турбина у вас уже есть, самая простая, как ей теперь управлять?

Есть несколько способов заставить работать ваш газотурбинный двигатель в модели, но лучше всего сначала построить небольшой испытательный стенд наподобие этого:



Ручной старт (Manual start) - самый простой способ управления турбиной.

1. Турбина сжатым воздухом, феном, электрическим стартером разгоняется до минимальных рабочих 3000 об/мин.
2. В камеру сгорания подаётся газ, а на свечу накаливания - напряжение, происходит воспламенение газа и турбина выходит на режим в пределах 5000-6000 об/мин. Раньше мы просто поджигали воздушно-газовую смесь у сопла и пламя «простреливало» в камеру сгорания.
3. На рабочих оборотах включается регулятор хода, управляющий оборотами топливного насоса, который в свою очередь подаёт в камеру сгорания горючее - керосин, дизельное топливо или отопительное масло.
4. При наступлении стабильной работы подача газа прекращается, и турбина работает только на жидком топливе!

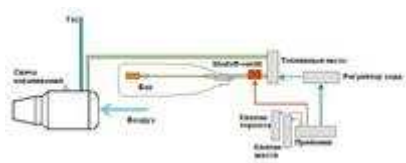
Смазка подшипников ведётся обычно с помощью топлива, в которое добавлено турбинное масло, примерно 5%. Если смазочная система подшипников отдельная (с масляным насосом), то питание насоса лучше включать перед подачей газа. Отключать его лучше в последнюю очередь, но НЕ ЗАБЫВАТЬ выключить! Если вы считаете, что женщины это слабый пол, то посмотрите, во

что они превращаются при виде струи масла, вытекающей на обивку заднего сиденья семейного автомобиля из сопла модели.

Недостаток этого самого простого способа управления - практически полное отсутствие информации о работе двигателя. Для измерения температуры и оборотов нужны отдельные приборы, как минимум электронный термометр и тахометр. Чисто визуально можно только приблизительно определить температуру, по цвету каления крыльчатки турбины. Центровку, как у всех крутящихся механизмов, проверяют по поверхности кожуха монетой или ногтем. Прикладывая ноготь к поверхности турбины, можно почувствовать даже мельчайшие вибрации.

В паспортных данных двигателей всегда даются их предельные обороты, например 120.000 об/мин. Это предельно допустимая величина при эксплуатации, пренебрегать которой не следует! После того как в 1996 году у меня разлетелся самодельный агрегат прямо на стенде и колесо турбины, разорвав обшивку двигателя, пробило насквозь 15-ти миллиметровую фанерную стенку контейнера, стоящего в трёх метрах от стенда, я сделал для себя вывод, что без приборов контроля разгонять самотальные турбины опасно для жизни! Расчёты по прочности показали потом, что частота вращения вала должна была лежать в пределах 150.000. Так что лучше было ограничить рабочие обороты на полном газу до 110.000 – 115.000 об/мин.

Ещё один важный момент. В схему управления топливом **ОБЯЗАТЕЛЬНО** должен быть включен аварийный закрывающий клапан, управляемый через отдельный канал! Делается это для того, что бы в случае вынужденной посадки, морковно-внепланового приземления и прочих неприятностей прекратить подачу топлива в двигатель во избежание пожара.



Ручной старт.

Start control (Полуавтоматический старт).

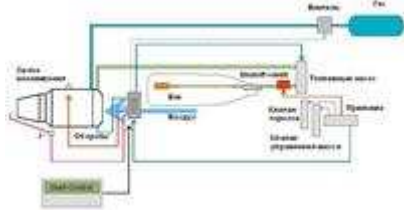
Что бы неприятностей, описанных выше, не произошло на поле, где (ни дай бог!) ещё и зрители вокруг, применяют довольно хорошо зарекомендовавший себя **Start control**. Здесь управление стартом - открытие газа и подачу керосина, слежение за температурой двигателя и оборотами ведёт электронный блок **ECU (Electronic-Unit-Control)**. Ёмкость для газа, для удобства, уже можно расположить внутри модели.

К ECU для этого подключены температурный датчик и датчик оборотов, обычно оптический или магнитный. Кроме этого ECU может давать показания о расходе топлива, сохранять параметры последнего старта, показания напряжения питания топливного насоса, напряжение аккумуляторов и т.д. Всё это можно потом просмотреть на компьютере. Для программирования ECU и снятия накопленных данных служит Manual Terminal (терминал управления).

На сегодняшний день самое большое распространение получили два конкурирующих продукта в этой области Jet-tronics и ProJet. Какому из них отдать предпочтение - решает каждый сам, так как тяжело спорить на тему что лучше: Мерседес или БМВ?

Работает все это следующим образом:

1. При раскручивании вала турбины (сжатый воздух/фен/электростартер) до рабочих оборотов ECU автоматически управляет подачей газа в камеру сгорания, зажиганием и подачей керосина.
2. При движении ручки газа на вашем пульте сначала происходит автоматический вывод турбины на рабочий режим с последующим слежением за самыми важными параметрами работы всей системы, начиная от напряжения аккумуляторов до температуры двигателя и величины оборотов.

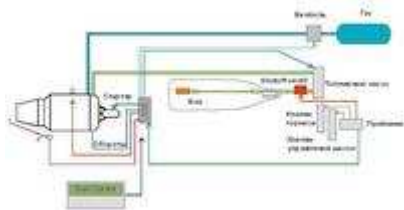


Start control.

Автоматический старт (Automatic start)

Для особо ленивых процедура запуска упрощена до предела. Запуск турбины происходит с пульта управления тоже через **ECU** одним переключателем. Здесь уже не нужен ни сжатый воздух, ни стартер, ни фен!

1. Вы щёлкаете тумблером на вашем пульте радиоуправления.
2. Электростартер раскручивает вал турбины до рабочих оборотов.
3. **ECU** контролирует старт, зажигание и вывод турбины на рабочий режим с последующим контролем всех показателей.
4. После выключения турбины **ECU** ещё несколько раз автоматически прокручивает вал турбины электростартером для снижения температуры двигателя!



Автоматический старт.

Самым последним достижением в области автоматического запуска стал Керостарт. Старт на керосине, без предварительного прогрева на газе. Поставив свечу накаливания другого типа (более крупную и мощную) и минимально изменив подачу топлива в системе, удалось полностью отказаться от газа! Работает такая система по принципу автомобильного обогревателя, как на «Запорожцах». В Европе пока только одна фирма переделывает турбины с газового на керосиновый старт, не зависимо от фирмы производителя.

Как вы уже заметили, на моих рисунках в схему включены ещё два агрегата, это клапан управления тормозами и клапан управления уборкой шасси. Это не обязательные опции, но очень полезные. Дело в том, что у «обычных» моделей при посадке, пропеллер на маленьких оборотах является своего рода тормозом, а у реактивных моделей такого тормоза нет. К тому же, у турбины всегда есть остаточная тяга даже на «холостых» оборотах и скорость посадки у реактивных моделей может быть намного выше, чем у «пропеллерных». Поэтому сократить пробегку модели, особенно на коротких площадках, очень помогают тормоза основных колёс.

➡Топливная система

Второй странный атрибут на рисунках, это топливный бак. Напоминает бутылку кока-колы, не правда ли? Так оно и есть!



Это самый дешевый и надёжный бак, при условии, что используются многоразовые, толстые бутылки, а не мнущиеся одноразовые. Второй важный пункт, это фильтр на конце всасывающего патрубка. Обязательный элемент! Фильтр служит не для того, чтобы фильтровать топливо, а для того, чтобы избежать попадания воздуха в топливную систему! Не одна модель была уже потеряна из-за самопроизвольного выключения турбины в воздухе! Лучше всего зарекомендовали себя здесь фильтры от мотопил марки Stihl или им подобные из пористой бронзы. Но подойдут и обычные войлочные.



Раз уж заговорили о топливе, можно сразу добавить, что жажда у турбин большая, и потребление топлива находится в среднем на уровне 150-250 грамм в минуту. Самый большой расход конечно же приходится на старт, зато потом рычаг газа редко уходит за 1/3 своего положения вперёд. Из опыта можно сказать, что при умеренном стиле полёта трёх литров топлива вполне хватает на 15 мин. полётного времени, при этом в баках остаётся ещё запас для пары заходов на посадку.

Само топливо - обычно авиационный керосин, на западе известный под названием Jet A-1.

Можно, конечно, использовать дизельное топливо или ламповое масло, но некоторые турбины, такие как из семейства JetCat, переносят его плохо. Также ТРД не любят плохо очищенное топливо. Недостатком заменителей керосина является большое образование копоти. Двигатели приходится чаще разбирать для чистки и контроля. Есть случаи эксплуатации турбин на метаноле, но таких энтузиастов я знаю только двоих, они выпускают метанол сами, поэтому могут позволить себе такую роскошь. От применения бензина, в любой форме, следует категорически отказаться, какими бы привлекательными ни казались цена и доступность этого топлива! Это в прямом смысле игра с огнём!

➡Обслуживание и моторесурс

Вот и следующий вопрос назрел сам собой - обслуживание и ресурс.

Обслуживание в большей степени заключается в содержании двигателя в чистоте, визуальном контроле и проверке на вибрацию при старте. Большинство авиамоделистов оснащают турбины своего рода воздушным фильтром. Обыкновенное металлическое сито перед всасывающим диффузором. На мой взгляд - неотъемлемая часть турбины.

Двигатели, содержащиеся в чистоте, с исправной системой смазки подшипников служат безотказно по 100 и более рабочих часов. Хотя многие производители советуют после 50 рабочих часов присылать турбины на контрольное техническое обслуживание, но это больше для очистки совести.

Первая реактивная модель

Ещё коротко о первой модели. Лучше всего, чтобы это был «тренер»! Сегодня на рынке множество турбинных тренеров, большинство из них это модели с дельтовидным крылом.

Почему именно дельта? Потому, что это очень устойчивые модели сами по себе, а если в крыле использован так называемый S-образный профиль, то и посадочная скорость и скорость сваливания минимальные. Тренер должен, так сказать, летать сам. А вы должны концентрировать внимание на новом для вас типе двигателя и особенностях управления.

Тренер должен иметь приличные габариты. Так как скорости на реактивных моделях в 180-200 км/ч - само собой разумеющиеся, то ваша модель будет очень быстро удаляться на приличные расстояния. Поэтому за моделью должен быть обеспечен хороший визуальный контроль. Лучше, если турбина на тренере крепится открыто и сидит не очень высоко по отношению к крылу.

Хорошим примером, какой тренер НЕ ДОЛЖЕН быть, является самый распространённый тренер – «Kangaroo». Когда Фирма FiberClassics (сегодня Composite-ARF) заказывала эту модель, то в основе концепта была заложена в первую очередь продажа турбин "София", и как важный аргумент для моделистов, что сняв крылья с модели, её можно использовать в качестве испытательного стенда. Так, в общем, оно и есть, но производителю хотелось показать турбину, как на витрине, поэтому и крепится турбина на своеобразном «подиуме». Но так как вектор тяги оказался приложен намного выше ЦТ модели, то и сопло турбины пришлось задрать вверх. Несущие качества фюзеляжа были этим почти полностью съедены, плюс малый размах крыльев, что дало большую нагрузку на крыло. От других предложенных тогда решений компоновки заказчик отказался. Только использование Профиля ЦАГИ-8, ужато до 5% дало более-менее приемлемые результаты. Кто уже летал на Кенгуру, тот знает, что эта модель для очень опытных пилотов.

Учитывая недостатки Кенгуру, был создан спортивный тренер для более динамичных полётов «HotSpot». Эту модель отличает более продуманная аэродинамика, и летает «Огонёк» намного лучше.

Дальнейшим развитием этих моделей стал «BlackShark». Он рассчитывался на спокойные полёты, с большим радиусом разворотов. С возможностью широкого спектра пилотажа, и в то же время, с хорошими парительными качествами. При выходе из строя турбины, эту модель можно посадить как планер, без нервов.



Как видите, развитие тренеров пошло по пути увеличения размеров (в разумных пределах) и уменьшении нагрузки на крыло!

Так же отличным тренером может служить австрийский набор из бальзы и пенопласта, Super Rearer. Стоит он 398 Евро. В воздухе модель выглядит очень хорошо. Вот мой самый любимый видеоролик из серии Супер Рипер: <http://www.paf-flugmodelle.de/spunki.wmv>

Но чемпионом по низкой цене на сегодняшний день является «Spunkaroo». 249 Евро! Очень простая конструкция из бальзы, покрытой стеклотканью. Для управления моделью в воздухе достаточно всего двух сервомашинок!



Раз уж зашла речь о сервомашинках, надо сразу сказать, что стандартным трехкилограммовым сервам в таких моделях делать нечего! Нагрузки на рули у них огромные, поэтому ставить надо машинки с усилием не меньше 8 кг!

➡ Подведём итог

Естественно у каждого свои приоритеты, для кого-то это цена, для кого-то готовый продукт и экономия времени.

Самым быстрым способом завладеть турбиной, это просто её купить! Цены на сегодняшний день для готовых турбин класса 8 кг тяги с электроникой начинаются от 1525 Евро. Если учесть, что такой двигатель можно сразу без проблем брать в эксплуатацию, то это совсем не плохой результат.

Наборы, Kit-ы. В зависимости от комплектации, обычно набор из спрямляющей системы компрессора, крыльчатки компрессора, не просверленного колеса турбины и спрямляющей ступени турбины, в среднем стоит 400-450 Евро. К этому надо добавить, что всё остальное надо либо покупать, либо изготовить самому. Плюс электроника. Конечная цена может быть даже выше, чем готовая турбина!

На что надо обратить внимание при покупке турбины или kit-ов – лучше, если это будет разновидность KJ-66. Такие турбины зарекомендовали себя как очень надёжные, да и возможности поднятия мощности у них ещё не исчерпаны. Так, часто заменив камеру сгорания на более современную, или поменяв подшипники и установив спрямляющие системы другого типа, можно добиться прироста мощности от нескольких сот грамм до 2 кг, да и разгонные характеристики часто намного улучшаются. К тому же, этот тип турбин очень прост в эксплуатации и ремонте.

Подведём итог, какого размера нужен карман для постройки современной реактивной модели по самым низким европейским ценам:

Турбина в сборе с электроникой и мелочами - 1525 Евро

Тренер с хорошими полётными качествами - 222 Евро

2 сервомашинки 8/12 кг - 80 Евро

Приёмник 6 каналов - 80 Евро

Итого, Ваша мечта: около 1900 Евро или примерно 2500 зелёных президентов!

Удачи!