



### **Павел Булат. 42 год.**

Закончил в 88 году БГТУ "ВОЕНМЕХ",  
(Ленинградский механический институт)  
Кандидат наук.  
Механика жидкости, газа и плазмы.  
Динамика полета и управления

## **О сравнении истребителей четвертого и пятого поколения.** вер. от 28 сен.

### **Часть I. Усы, лапы и хвосты.**

*И тогда я взглянул ему прямо в лицо,  
Как тебя мне понять? "Ничего или все?"  
Он сказал улыбувшись: "Ты сам дал ответ!:  
"Ничего или все!";- середины здесь нет!"*

*Руми*

Состоялась долгожданная презентация нового Су-35, который позиционируется, как истребитель поколения 4++. Выступая в эфире программы "Время", его главный конструктор сказал, что Су-35 превосходит "Еврофайтер", "Рафаль", "Гриппен" и все "Миражи", примерно соответствуя F-18E. Вот так. А мы то, на основании публикаций в наших популярных изданиях, привыкли считать, что

"Супер Хорнет" это самолет с умеренными характеристиками, единственной целью создания которого было улучшение транспортной эффективности. Во всяком случае, по всеобщему убеждению этот истребитель-бомбардировщик в ближнем бою ни "Еврофайтеру", ни "Рэптору" не соперник.

### **Введение**

В последнее время, в сети появилось масса форумов, на которых обсуждаются сравнительные характеристики



Рис.1. Таким мог бы быть F-15. Прототип фирмы North-American

различных самолетов. Они пестрят темами типа “F-16 vs Grippen” или “Су-27 против МиГа-29”. Потратив на изучение всех этих материалов несколько месяцев, приходишь к выводу, что объективную и непротиворечивую информацию извлечь из них практически невозможно. Более того, ошибками и неполнотой информации грешат даже весьма серьезные периодические издания и монографии. Читая их невозможно понять, почему, например, не были приняты в производство те или иные варианты самолетов, скажем, прототип FX фирмы “Нортроп” с интегральной компоновкой, упомянутый в книге Самойловича “Рядом с Сухим” или другие, на первый взгляд более перспективные с точки зрения аэродинамической компоновки предложения (рис.1, 2). В результате на страницах печати нередко появляются аналитические статьи, в которых делаются выводы прямо противоположные реальной действительности.

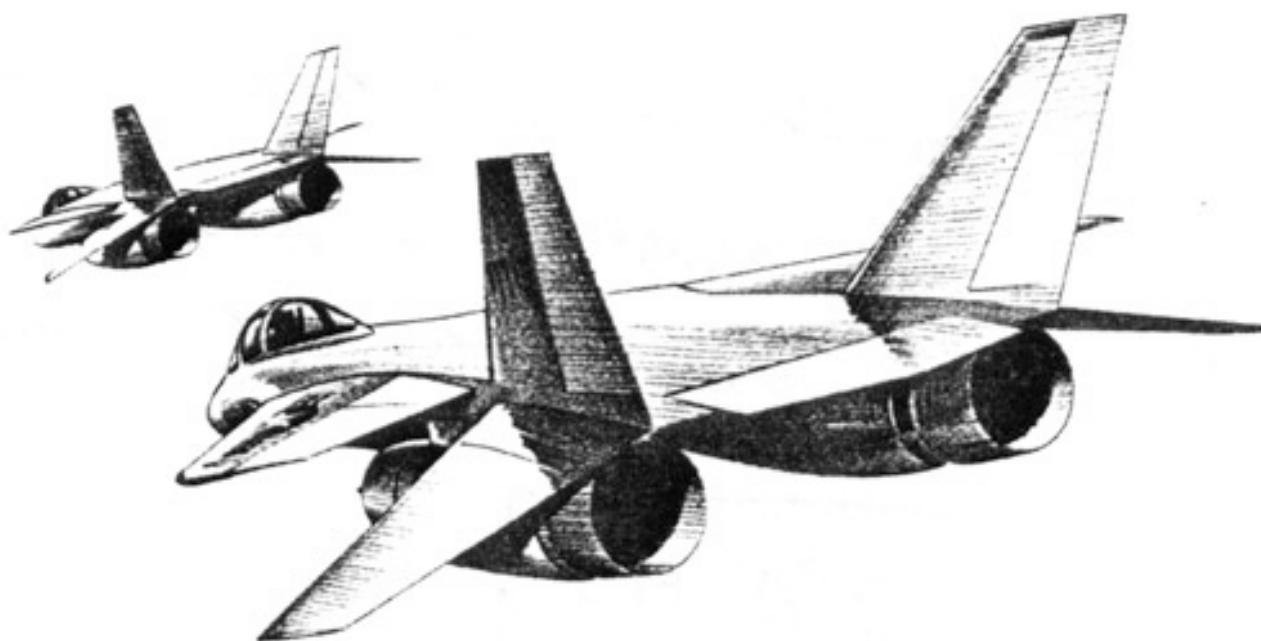


Рис. 2. Предложение фирмы “General Dynamics” по программе FX.

Так в статьях д.т.н. С. Левицкого, опубликованных в Авиапанораме [1,2], написанных на хорошем научно-техническом уровне, наряду с рациональными выводами (о необходимости разрабатывать специальное ракетное вооружение для сверхманевренных самолетов, повышать энергетические характеристики ракет и т.п.) делается парадоксальное, на первый взгляд, заключение, что истребители 5-ого поколения будут иметь подавляющее превосходство в ближнем бою, а вот в дальнем бою у самолетов 4-ого поколения появляется шанс. Видимо, имеется ввиду то, что УР семейства Р-27 имеют преимущество в дальности перед УР AMRAAM.

В статье [2] приводятся результаты моделирования воздушного боя многофункционального истребителя (МФИ) (видимо, Су-30МК), против F-22 (рис. 3). Видно, что, выполнив на 9 с маневр “Хук” (“Кобра Пугачева” в горизонтальной плоскости на вираже), МФИ теряет скорость и, в случае срыва наведения УР, может быть в течение 70-80 с сбит четыре раза.

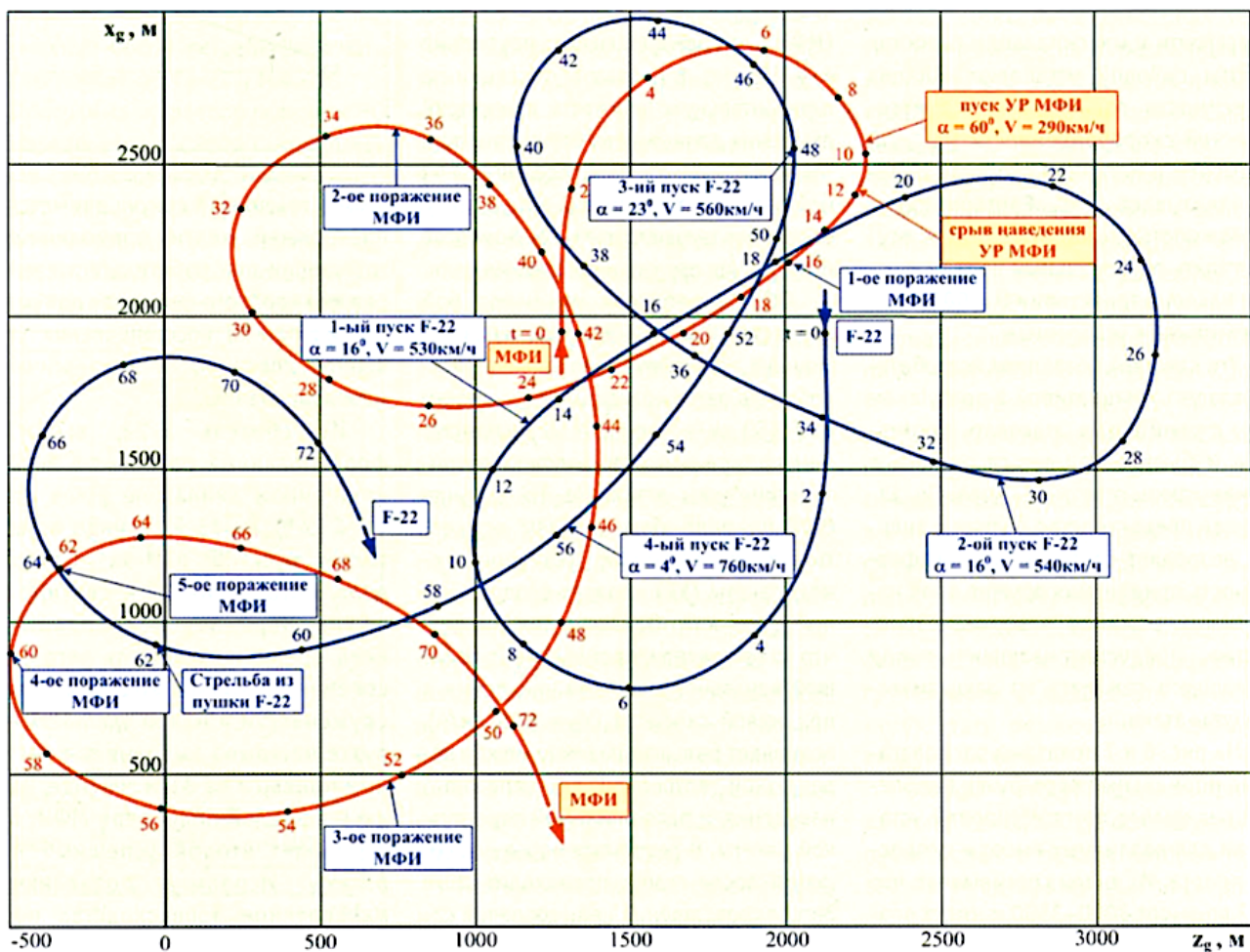


Рис. 3. Моделирование воздушного боя МФИ против F-22.

Но, почему тогда при моделировании на полунатурном стенде в США получены прямо противоположные результаты (сверхманевренный истребитель выигрывает 5 боев из 6). Почему на учениях в США Рэптор “в сухую” громит самолеты условного противника, изображающие Су-27 и МиГ-29, именно на дальних дистанциях. На какой вопрос может дать ответ график рис. 3. Только на такой: “Что произойдет, если МФИ выполнит “Хук” в самый неподходящий для пуска ракет момент, причем не с углом атаки в  $120^\circ$ , а только  $60^\circ$ , и в результате произойдет срыв захвата цели”.

Увлечение разного рода экспертов сравнением боевой техники с помощью обобщенных функционалов, в которые проектные параметры входят с некоторыми весовыми коэффициентами, приводят к парадоксальным результатам. Так в 90-е годы все авиационные журналы мира обошли данные разработчиков “Еврофайтера”, что в воздушном бою F-22 эквивалентен 10 Су-35, а EF-2000 - 7-8. На что в КБ Сухого заметили, что Су-35 (первый с этим названием) превосходит “Еврофайтер” в том виде, как он существовал на тот момент, по всем показателям. Кто же прав? Как правильно сравнивать авиационную технику? Как это делают профессионалы? Этому посвящена настоящая статья.

### О методике сравнения авиационной техники.

Оговоримся сразу, что мы будем изучать только летные данные самолетов истребителей 4-ого, 4+ и 5-ого поколения. Оставим пока в стороне РЛС, вооружение и тактику ведения воздушного боя. Сделаем только две важные оговорки относительно использования сверхманевренности в ближнем бою, а также о характере дальнего ракетного боя за пределами видимости.

На рис. 3 наглядно показано, что может случиться, если сверхманевренный истребитель выйдет на закритические режимы не вовремя. Однако, сверхманевренность - это, прежде всего, средство расширения зоны атаки противника. На рис. 4 видно, что, оказавшись в критической ситуации, сверхманевренный истребитель (СМИ) имеет возможность атаковать противника, а обычный истребитель может использовать только маневр уклонения (рис. 5).

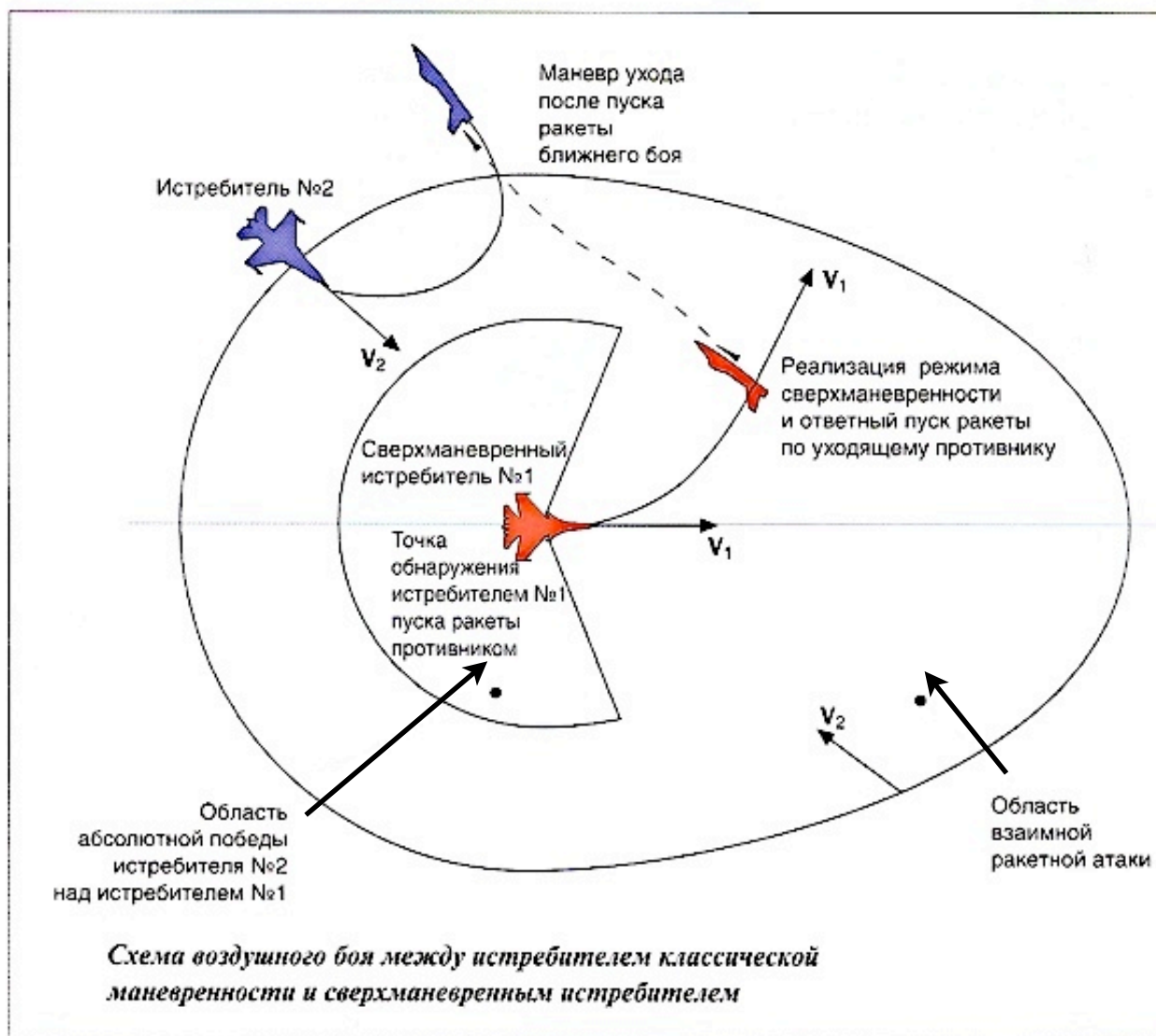


Рис. 4. Контратака сверхманевренного истребителя.

В результате по данным моделирования в 90-е годы в ЦАГИ воздушных боев, один Су-35/37, оснащенный двигателем с управлением вектором тяги (УВТ), в ближнем воздушном бою (БВБ) эквивалентен 5-7 Су-27.

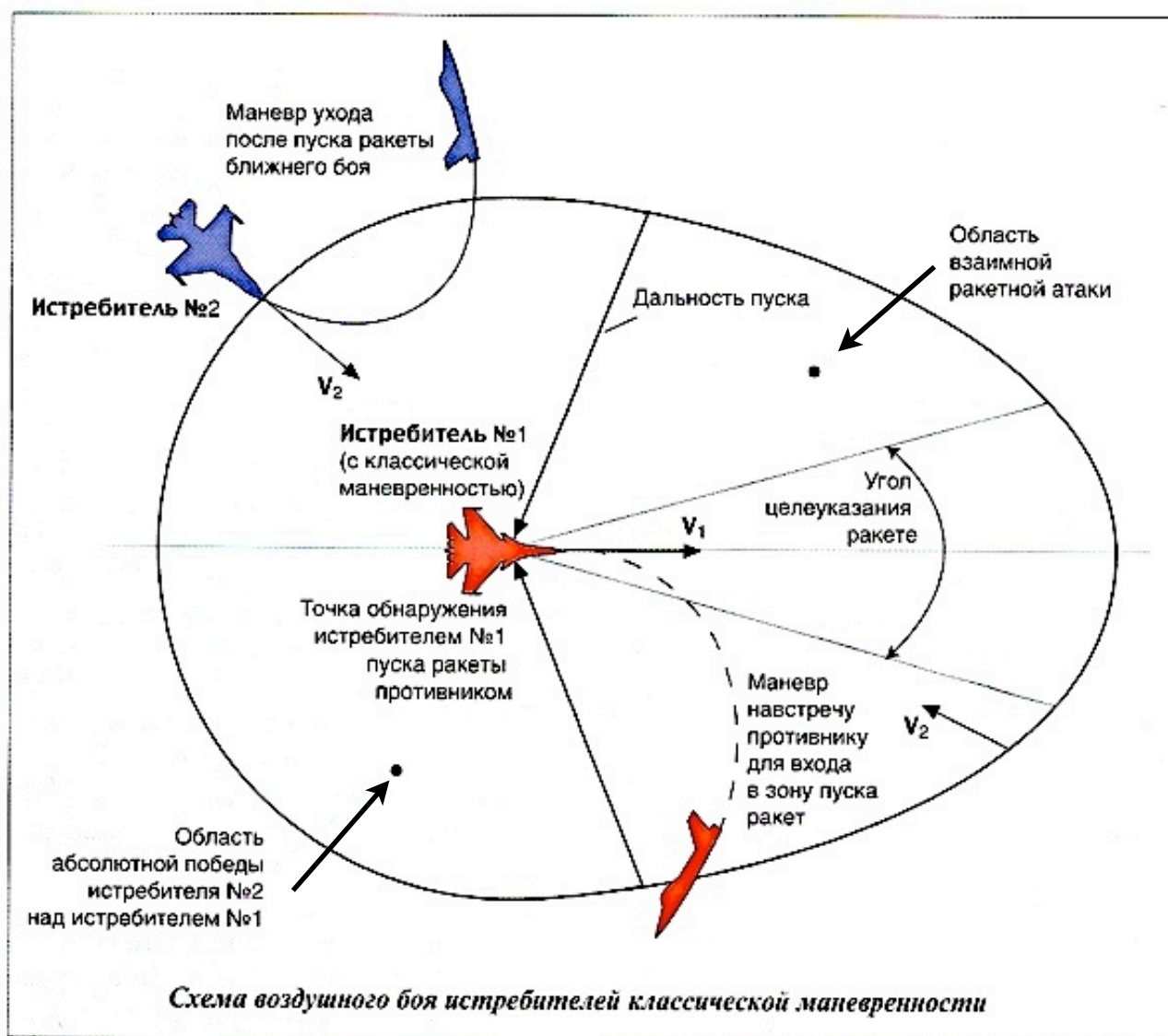


Рис. 5. Маневр уклонения обычного истребителя.

Ситуация еще более обостряется в случае оснащения СМИ ракетами обратного старта. В начале 90-х годов были опубликованы кадры такого пуска УР Р-73 (рис. 6). Следует отметить, что при существующей схеме отсеков вооружения F-22 реализовать на нем обратный пуск невозможно.

Как мы уже писали в работе [3], по представлениям специалистов, маневры с выходом на закритические режимы могут и должны выполняться без существенной потери кинетической энергии. Тогда, как показало моделирование боев F-18 с X-31, у обычного истребителя при равенстве ТТХ (тяговооруженности и нагрузки на крыло) нет шансов в БББ.

Рассмотрим теперь дальний ракетный бой (BVR). Судя по тому, что можно прочитать в сети, по представлению многих, идеальный перехватчик - это АВАКС с сотней ракет большой дальности на борту. Лучше, если он еще и сверхзвуковой. Между тем современный BVR высоко маневренный. На рис.7 показаны типичные ситуации, возникающие, при атаке противника за пределами визуальной видимости. Видно, что пренебрежение маневренными качествами возможно только при упреждающем поражении противника.

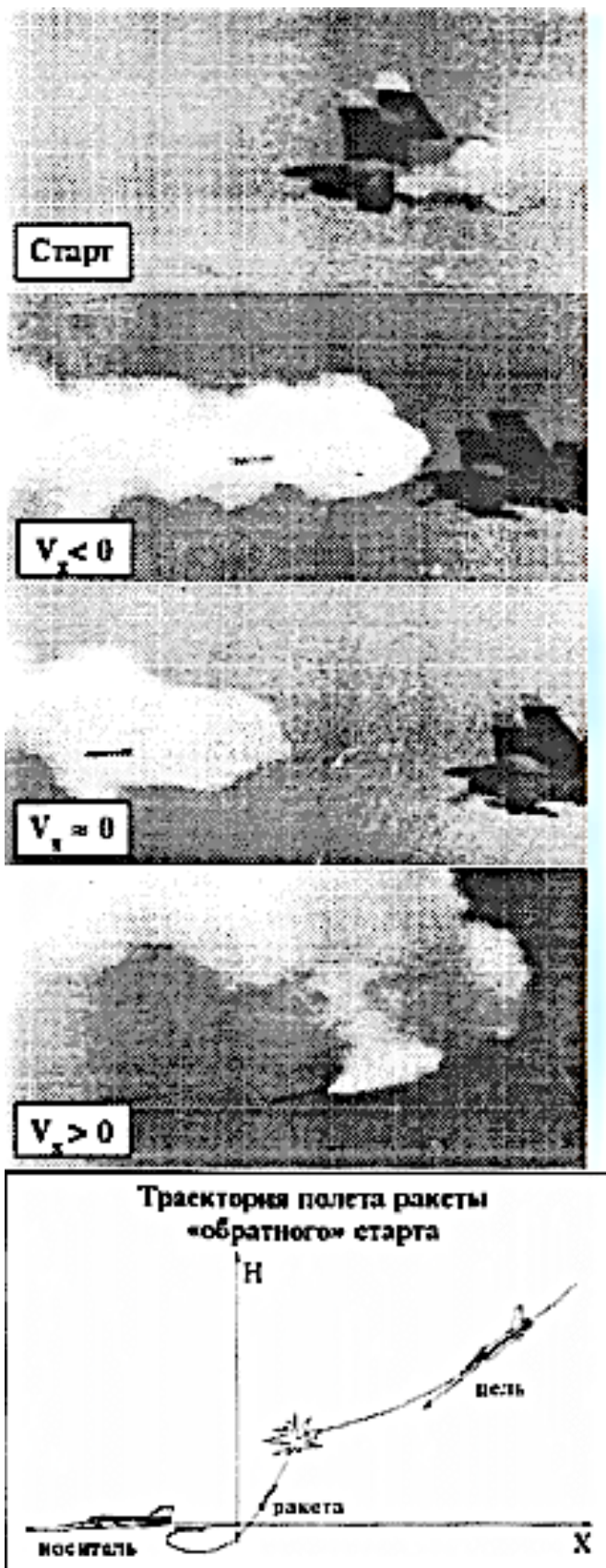


Рис.6. Обратный старт

Для этого ракета должна поразить цель в момент, когда РЛС цели ЕЩЕ не может осуществлять наведение своей УР. В современных условиях это возможно, только, если противник подавлен "помехами" или свой истребитель - самолет "стелс". Таким образом, маневренность нужна и в BVR, но используется она для срыва наведения и уклонения от ракет, а не для захода в хвост противнику.

Как же сравнивают истребители профессионалы? Если имеются графики зависимостей нормальных и продольных перегрузок в зависимости от высоты и скорости полета (см. рис. 5, 6 в статье автора [4]), то с их помощью можно численно проинтегрировать уравнения движения с любыми начальными условиями и рассчитать таким образом любой маневр, например, боевой разворот или петлю Нестерова. Иными словами эти кривые являются портретом летательного аппарата. Имея данные зависимости для двух выбранных истребителей, можно производить моделирование их поведения в воздушном бою. Именно так и поступают разработчики полунатурных моделирующих стендов, а также всевозможных компьютерных игрушек - симуляторов.

Рассмотрим каким образом получают эти самые зависимости.

Во-первых экспериментальным путем. Известные теоретические обводы летательного аппарата (ЛА) позволяют изготовить его масштабную модель, продув которую при различных условиях, можно получить основные аэродинамические коэффициенты и их производные. Затем с помощью известных в аэродинамике критериев

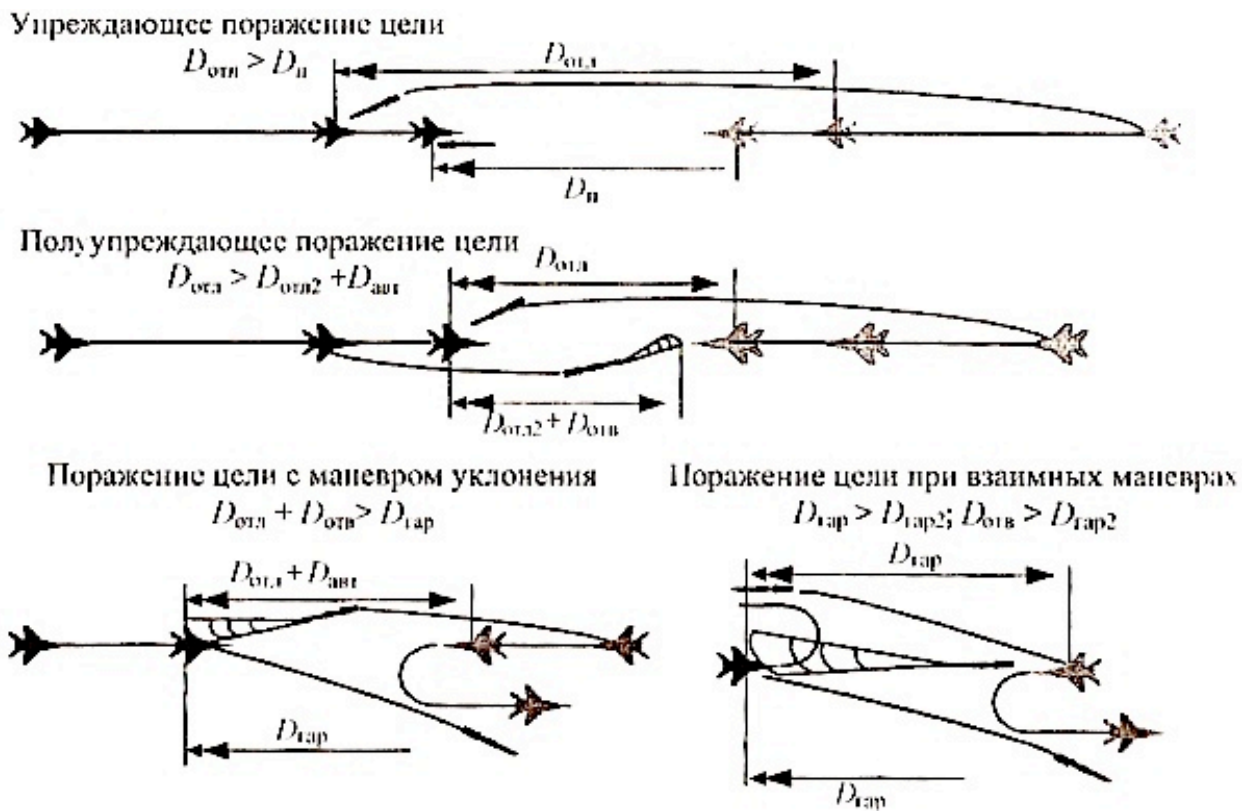


Рис. 7. Бой за пределами визуальной видимости (BVR).

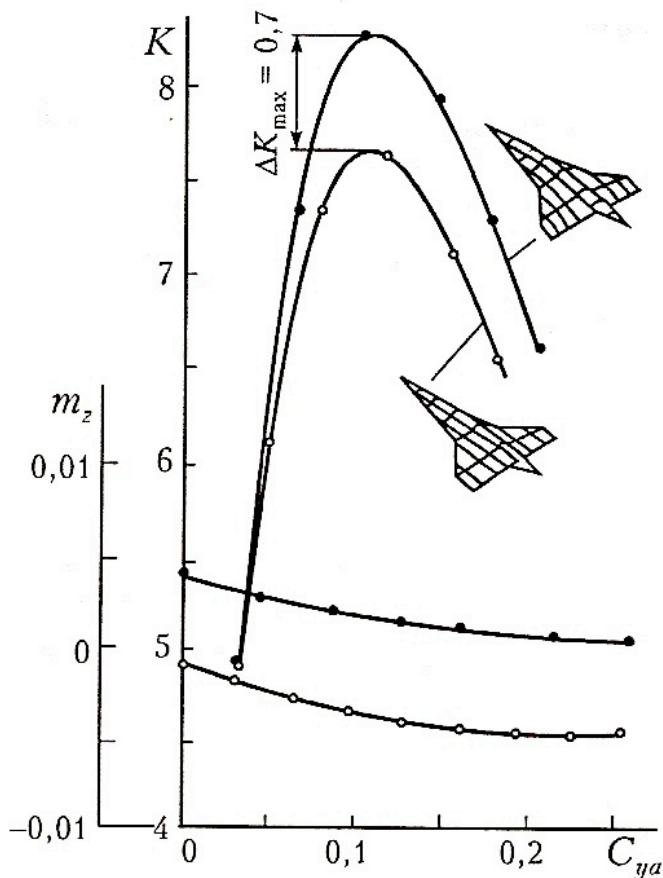


Рис. 8. Зависимость аэродинамического качества и коэффициента продольного момента от угла атаки, вычисленная с помощью панельного метода

подобия их можно пересчитать в натурные условия. При этом, конечно, будут определенные погрешности. Так в реальности часть воздуха окружающей среды проходит через воздухозаборники и двигатели. На моделях же изготавливают только начальные участки трактов воздухозаборников (ВУ). Для учета подобных и других погрешностей эксперимента разработаны специальные методики.

Широкое распространение получил и вычислительный эксперимент. В 90-е годы в США и в СССР самыми популярными были два метода. "Панельный" метод использовался для расчета аэродинамических коэффициентов в пределах их линейной зависимости от угла атаки. Для исследования нелинейных областей применялся "метод присоединенных вихрей". Панельный метод в СССР был

разработан в ЦАГИ под руководством С.М. Белоцерковского. Он заключался в том, что поверхность ЛА разбивалась на маленькие прямоугольные участки - "панели". В окрестности панели уравнения газовой динамики заменялись на уравнения потенциала скорости невязкого газа. Ставя на поверхности панели условия непротекания газа, можно получить среднее значение давления ней. Коэффициенты сопротивления вычисляются с использованием формул для обтекания плоской пластины. Таким образом, можно найти и

аэродинамическое качество (рис. 8) и моментные характеристики.

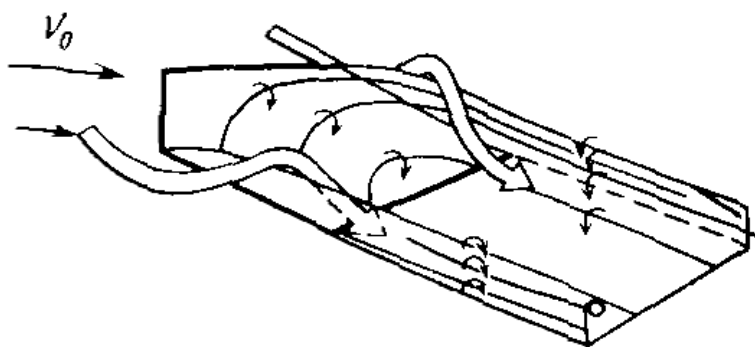


Рис. 9. Вычисление вихревой пелены с помощью метода присоединенных вихрей



Рис. 10. Моделирование свободных вихрей и вихревой пелены

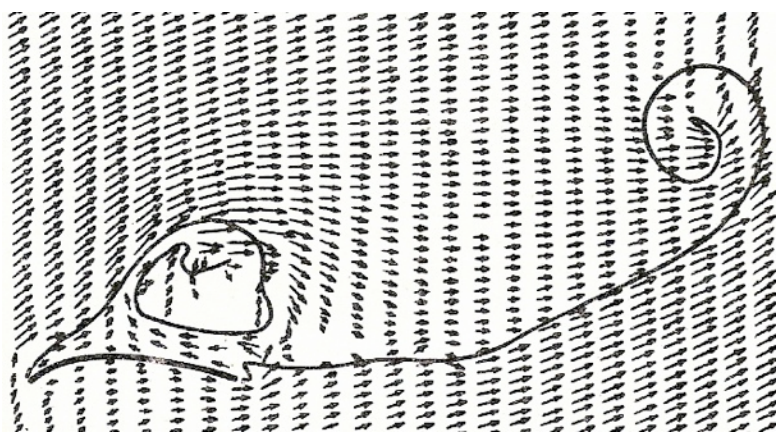


Рис. 11. Результаты расчета методом присоединенных вихрей

Для моделирования аэродинамических характеристик в нелинейной области графиков панельный метод не подходит. Для этого был разработан второй метод, основанный на записи уравнений идеального газа в форме ротора вектора скорости. Поскольку закон сохранения ротора вектора скорости выполняется и в вязких вихревых течениях, то данный метод позволяет моделировать крупные вихри в окрестности ЛА. Суть метода заключается в том, что поверхность самолета заменяется набором вихревых жгутов (рис.9), за это он и получил название "Метода присоединенных вихрей". С кромок ЛА с заданной дискретностью через равные промежутки времени срываются свободные вихри, образующие вихревую пелену за телом (рис.10). Вычисляя в каждой точке пространства суперпозицию скоростей, индуцируемых всеми вихрями (присоединенными и свободными), можно найти распределение давления на поверхности ЛА и всю картину

течения около самолета, в том числе и крупные вихри (рис.11). В СССР метод присоединенных вихрей был разработан под руководством академика О.М. Белоцерковского (брата С.М. Белоцерковского). Совместно с панельным



методом он позволяет с высокой точностью найти все аэродинамические характеристики.

Теперь, если известны высотно - скоростные характеристики двигателя (зависимость тяги от высоты и скорости полета), а также масса ЛА, то по известным формулам можно рассчитать движение самолета на любой скорости и высоте. Это справедливо во всех случаях, кроме режимов инерционного вращения, когда необходимо знать еще и тензор моментов инерции вращения.

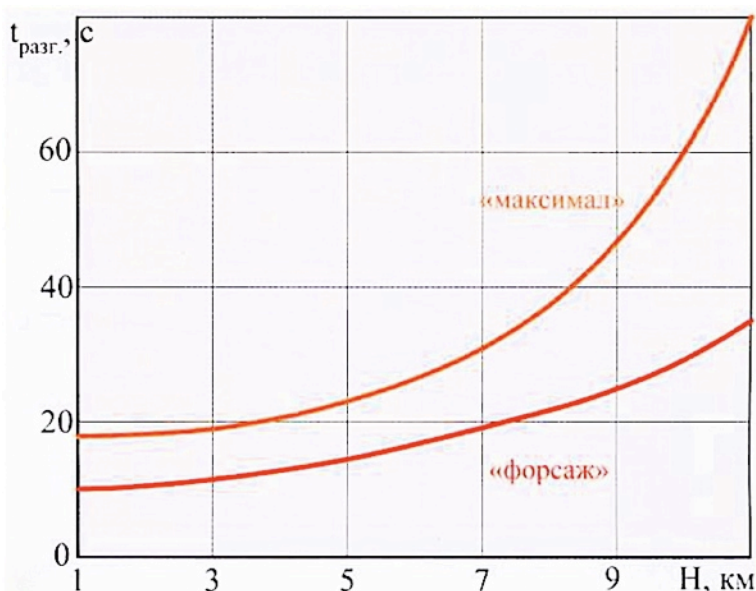


Рис.12. Время разгона F-22 от 600 до 1000 км/ч

### Умные люди учатся на чужих ошибках

Рассмотрим теперь наиболее типичные ошибки, которые делают авторы, пытающиеся сравнивать различные типы авиационной техники.

1. Часто сравниваются варианты самолетов, которые не могли существовать в принципе. Например, F-16A, оснащенный двигателем F-100PW-229 или F-15C/D с двигателем F-110GE-100/129/132.

- Иногда рассматриваются ЛА в комплектации, которые испытывались, но никогда не производились серийно и уже не будут производиться. Например, F-15E с двигателем F-110GE-129 или F-110GE-132.
- При изучении маневренных качеств нередко сравниваются параметры, рассчитанные для разных условий, так тяга двигателя берется для взлетных условий, аэродинамическое качество для режима крейсерского полета и т.д. Между тем, тяга двигателя сильно зависит от высоты и скорости полета. Чем выше скорость, тем выше тяга. Чем больше высота полета, тем ниже плотность воздуха и тем тяга меньше. Так тяга двигателя МиГа-29 на малых высотах и боевых режимах может достигать 10,5 т. Вот почему пилоты отмечают его высокую тяговооруженность, хотя из табличных данных этого не видно (у F-15A и Су-27 формально она выше).
- Почти всегда в качестве характеристики разгонных качеств ЛА приводится максимальная скороподъемность. Однако, этот параметр мало, что дает для оценки маневренных свойств истребителя. Так у F-22, самого резвого на сегодня серийного истребителя, время разгона от 600 км/ч до 1000 км/ч на высоте 1 км, также как и у Су-27, равняется 15 с, у МиГа-29 и F-15A - 13,5 с. Зато на высоте 9 км F-22 уже имеет преимущество перед истребителями 4-ого поколения в 1,5 раза (рис. 12 [2]). Это объясняется применением на F-22 двигателя с малой степенью двухконтурности.

5. При сравнении не учитываются несущие свойства фюзеляжа, но у МиГа-29 они обеспечивают 40% подъемной силы, у Су-27- 50%, у F-18E - 25%.
6. При моделировании маневренных боев не учитывается различие максимальных коэффициентов подъемной силы, а они у разных самолетов отличаются очень сильно. Так у Су-27  $C_{y_{max}}=1,6$ , у МиГа-29 и F-16 - 1,4-1,5, а у F-15 только 1,08.
7. И совсем уж редко обращают внимание на рост подъемной силы при максимальной перегрузке у гибкого крыла. В процессе маневра подъемная сила такого крыла, как у Су-27, в 1,5 раза больше, чем у равного по площади жесткого немеханизированного крыла по типу F-15.
8. В большинстве источников указывается предельная эксплуатационная перегрузка равная 8-9. Из этого многие делают неправильные выводы, что истребители имеют практически равную маневренность, забывая, что это всего лишь ограничение по прочности. Основная масса маневров на боевых режимах и высотах выполняется в диапазоне скоростей 600-1000 км/ч с перегрузками 4,5-6. Именно в этом диапазоне различие в маневренности проявляется наиболее сильно. Так у Су-27 максимальная предельная по тяге располагаемая перегрузка (с которой возможно производить разворот без потери скорости) на высоте 1 км и скорости 600 км/ч равняется 6, а у F-16 не более 4,5. У МиГа-29 на высоте 5 км и скорости 900 км/ч - 8, а у F-16 - 5,7.
9. Очень часто сравнение производится для условий, которые никогда в реальности не реализуются. Так сравнивают маневренность полностью вооруженных истребителей в варианте с нормальным взлетным весом, у которых израсходовано 50% запаса топлива во внутренних баках. Но ведь, вступая в БВБ, истребители, как правило, уже расстреляли ракеты средней дальности. У многих самолетов предусмотрена различная, в том числе и неполная заправка топливом внутренних баков, при выполнении разных миссий. Следовательно, правильнее сравнивать истребители, либо при выполнении идентичных заданий (например, перехват над линией фронта) с полетом на одинаковую дальность, либо в условиях их противоборства, когда один из ЛА, например, выполняет изоляцию района боевых действий, а другой осуществляет его перехват. Тяговооруженность и нагрузка на крыло, рассчитанные для таких условий, дают более объективную картину.

Исходя из сказанного выше, мы будем сравнивать ТТХ истребителей в сопоставимых условиях. Как справедливо замечено в статье [2] большинство ближних боев происходит на скоростях порядка 600 км/ч, а их завязка на больших скоростях (800-1000 км/ч). Поэтому рассматриваются два режима  $V=600$  км/ч и  $h=1$  км, а также  $V=900$  км/ч и  $h=5$  км, для которых известны тяги большинства двигателей на форсаже, а также аэродинамические характеристики основных истребителей.

Мы не будем рассматривать такие гипотетические самолеты, как МиГ-29М или F-15E с двигателем F-110GE, которые были разработаны и испытаны, но по разным причинам не производились и не получили дальнейшего развития. Вместо этого мы изучим этапные модификации самолетов и двигателей, которые характеризуются значительным изменением конструкции и летных

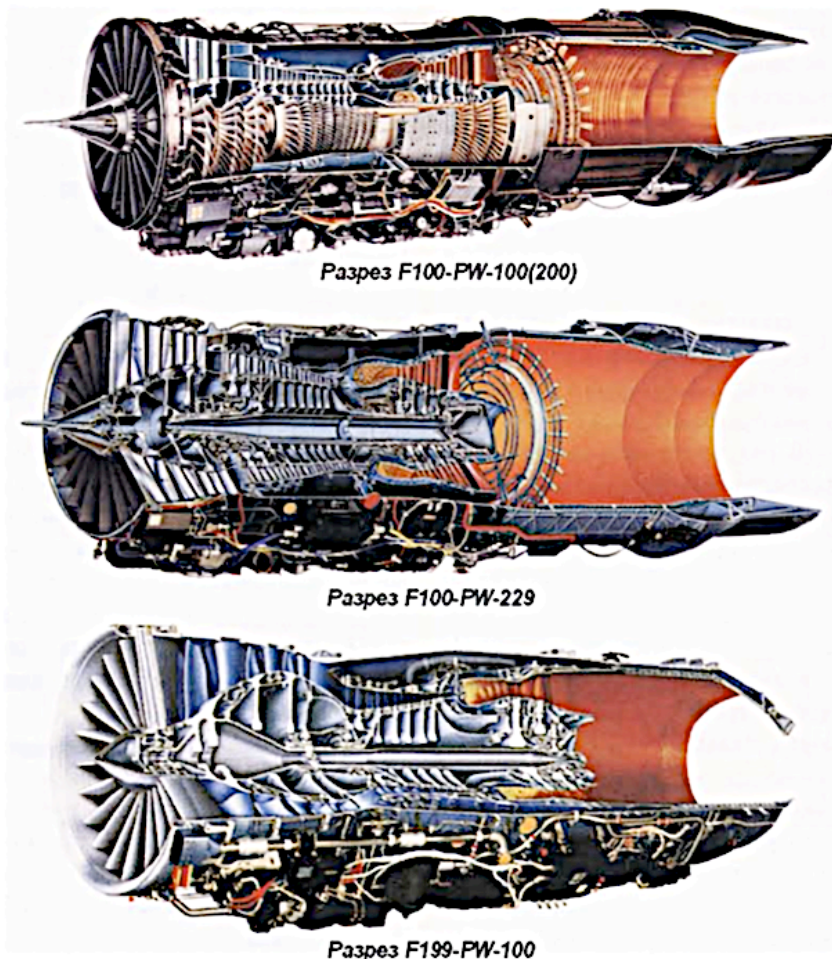


Рис. 13. Семейство двигателей F-100PW

данных, а также те, которые получили дальнейшее развитие. Так МиГ-29К, созданный на базе МиГа-29М в дальнейшем превратился в МиГ-29К/КУБ/М2 и МиГ-35. Су-33КУБ был изготовлен в одном экземпляре, но послужил платформой для испытания разных технологий, в том числе нового адаптивного крыла, для Су-35.

Боевой вес истребителей будем рассчитывать при выполнении задачи перехвата цели над линией фронта с радиусом действия, равным радиусу действия МиГа-29. Будем считать, что истребители вступают в бой с тем количеством ракет

ближнего боя, которое предусмотрено для них в варианте нормального взлетного веса (Для F-16 - 2, для МиГа-29, Су-27, F-15 - 4 и т.д.).

### **А вместо сердца пламенный мотор**

Определяющее значение для летных характеристик истребителя играет двигатель. Характеристики современных моторов сведены в таблицу №1. Необходимо учитывать, что разные модификации моторов имеют не только разную тягу, но и массу, и размеры. Они не взаимозаменяемые, т.е. конкретная модель применяется на конкретной модификации истребителя. Рассмотрим историю создания наиболее распространенных двигателей.

#### Серия F-100PW.

Знаменитый мотор (рис.13) был создан в 1974 г., т.е. примерно за 10 лет до появления сопоставимых по характеристикам советских двигателей АЛ-31Ф и РД-33. Первоначально в советских источниках указывалась тяга F-100-PW-100 на режиме полный форсаж равная 11,2 тс. Это получалась путем пересчета приведенного в ранних рекламных буклетах класса тяги 25,000 lb в метрическую техническую систему единиц. В действительности тяга меньше - 10810 кгс.

Первоначально F-100PW-100 характеризовался низкой надежностью, нередко возникали "титановые" пожары. Однако имелись у него и неоспоримые преимущества. Низконапорные ступени компрессора, двухступенчатые турбины низкого и высокого давления создавали предпосылки для

существенного повышения надежности и ресурса. Вскоре для самолетов F-16C и F-15C была разработана модификация F-100PW-200. Тяга была несколько меньше, зато улучшились экономичность и надежность. Появление многофункциональных истребителей F-15E и F-16C блок 30/32 и 40/42 с большей массой конструкции потребовало применения более мощных двигателей. Начиная с этих модификаций F-15 и F-16 могли выпускаться, как с двигателями фирмы Pratt & Whitney (PW), так и фирмы General Electric (GE). Они имели общие точки крепления, но не были взаимозаменяемыми, т.к. требовали применения разных воздухозаборников и имели различные размеры. Все модификации F-16 с двигателем GE имели в конце номера серии "0" (30,40,50,60), а с двигателем PW - "2" (32,42,52,62). На F-15 двигатели GE никогда не применялись, хотя и испытывались.

Модификация F-100PW-220 отличалась большими размерами, увеличенным диаметром вентилятора, а также уменьшенной степенью двухконтурности. Двигатель перешел в размерность и класс тяги AL-31F, при практически полном равенстве всех показателей. Конструкция же этих двигателей отличалась существенно.

На модификации F-100PW-229 значительно на 100° повысили температуру перед турбиной, применили керамические вставки в камере сгорания. Тяга двигателя возросла на 0,7 тс, а удельные параметры вплотную приблизились к показателям пятого поколения. При этом мотор сохранил главное преимущество F-100PW-100 низко нагруженные ступени компрессора, что обеспечило ему большой ресурс. Уменьшение степени двухконтурности с 0,7 до 0,35 сказалось на экономичности и показателях на малых скоростях и высотах полета. F-100PW-229 используется на F-15E, F-16-52/62.

#### Серия F404GE/F110GE/F414.

Создание серии этих моторов восходит к двигателю F101 бомбардировщика В-1. В начале 70-х годов на базе газогенератора F101 был разработан двигатель YJ101-GE-100 для самолета YF-17 фирмы Нортроп (рис. 14).

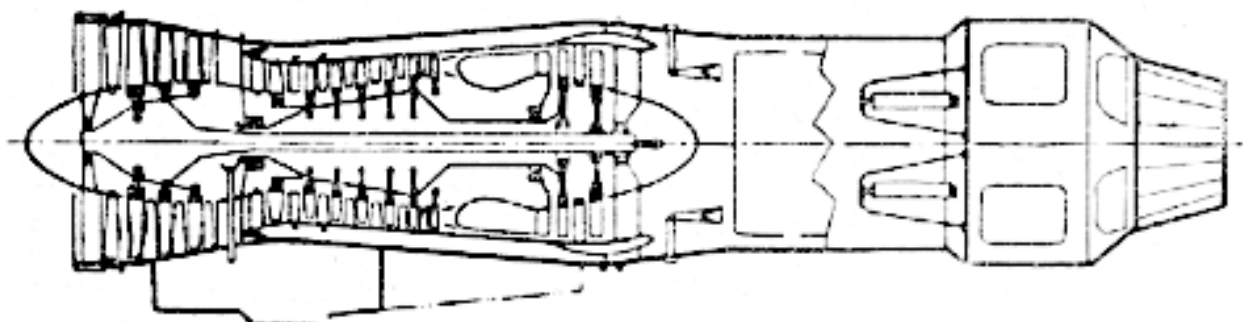


Рис. 14. Двигатель YJ101-GE-100.

YF-17 в серию не пошел, проиграв соревнования YF-16 (злые языки утверждали, что немалую роль сыграл скандал с незаконным финансированием фирмой Нортроп избирательной компании в Конгресс), но зато он приглянулся ВМФ. На его базе создали истребитель-бомбардировщик F/A-18, отличавшийся от прототипа большей массой, соответственно потребовался и более мощный двигатель. Он был создан путем увеличения

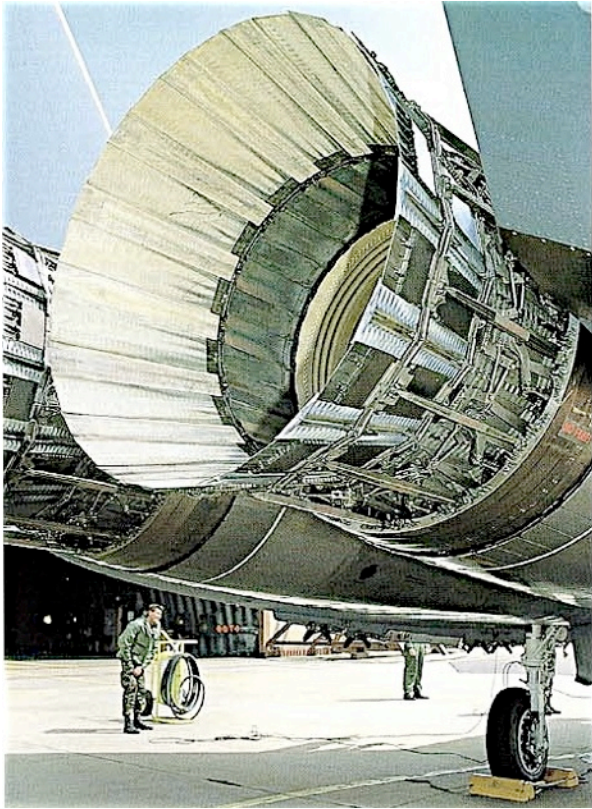


Рис. 15. Сопло двигателя F100-PW-29

диаметра компрессора, а также расхода воздуха до 64 кг/с, и получил название F404-GE-400.

Совершенствование F/A-18 сопровождалось постоянным ростом веса пустого самолета. Как говорили в шутку примерно на 1 кг в неделю. Для сохранения летных данных на варианте F/A-18C/D было предусмотрено использование более мощного мотора F404-GE-402. Он отличался большим на 4% расходом воздуха и применением ряда технических решений от двигателя F402, проектировавшегося в то время для малозаметного штурмовика A-12.

С тем, чтобы выйти на перспективный рынок F-16 и F-15E на базе F404 путем его масштабного увеличения был разработан двигатель F110-GE-100. Он имел одинаковый с F100-PW-220 диаметр, но был короче и тяжелее. Тяга же его едва достигала показателей

F100-PW-200. Постепенно за счет поднятия температуры перед турбиной на 37°, а также оптимизации газодинамических процессов тягу довели до уровня F100-PW-220.

Появление у конкурента новой разновидности знаменитого мотора F100-PW-229, который отличался целым рядом перспективных усовершенствований, в частности новым соплом со светлым термозащитным покрытием створок (рис. 15), потребовало очередной модернизации F110. Как и у конкурента на новой модификации была снижена степень двухконтурности, увеличен расход воздуха. Двигатель получился примерно на 60 кг тяжелее F100-PW-229, но развивал тягу почти на 100 кгс больше. В его конструкции нашли применение элементы нового мотора пятого поколения YF120, разрабатывавшегося на конкурсной основе для истребителя пятого поколения.

Таким образом, совершив круг, мотор вернулся в класс тяги F101. Самой мощной модификацией стала F110-PW-132 с тягой 14,5 т, предназначенная для перспективных вариантов F-15E и F-16 блок 60.

Одновременно создавался новый двигатель для F/A-18E. F414 существенно отличается по конструкции от F404. В его конструкции использованы керамическая камера сгорания от F402, форсажная камера от YF120, сопло от F404-GE-400. Двигатель стал значительно крупнее и имеет увеличенную с 25 до 30 степень повышения давления в компрессоре. Он превзошел по всем показателям EJ2000, а по удельной тяге (отношение тяги двигателя на полном форсаже к расходу воздуха) вообще является рекордсменом. Совершенствование двигателя осуществлялось в рамках программы INPTET

(Integrated High Performance Turbine Engine Technology). F119 был разработан также с использованием элементов данной программы. Таким образом, за рубежом эволюционное развитие двигателей стало магистральным направлением. Этому посвящена статья [5].

### АЛ-31Ф и РД-33.

Появившись на 10 лет позже F100-PW-100, наши двигатели, будучи очень похожи друг на друга (рис. 16), отличались очень прогрессивной схемой. Низко нагруженные ступени компрессора в сочетании с одноступенчатыми турбинами высокого и низкого давления обеспечили огромный резерв для модернизации.

Это позволило ввести разнообразные режимы работы: минимальный форсаж, учебный форсаж, полный форсаж, взлетный, чрезвычайный. Практически без всяких конструктивных изменений, только за счет изменения газодинамических параметров тяга АЛ-31Ф может быть увеличена с 12,5 до 13,2 т, а РД-33 с 8 до 9,4 тс. К сожалению, известные события 90-х годов не позволили применить усовершенствованные моторы на серийных машинах.

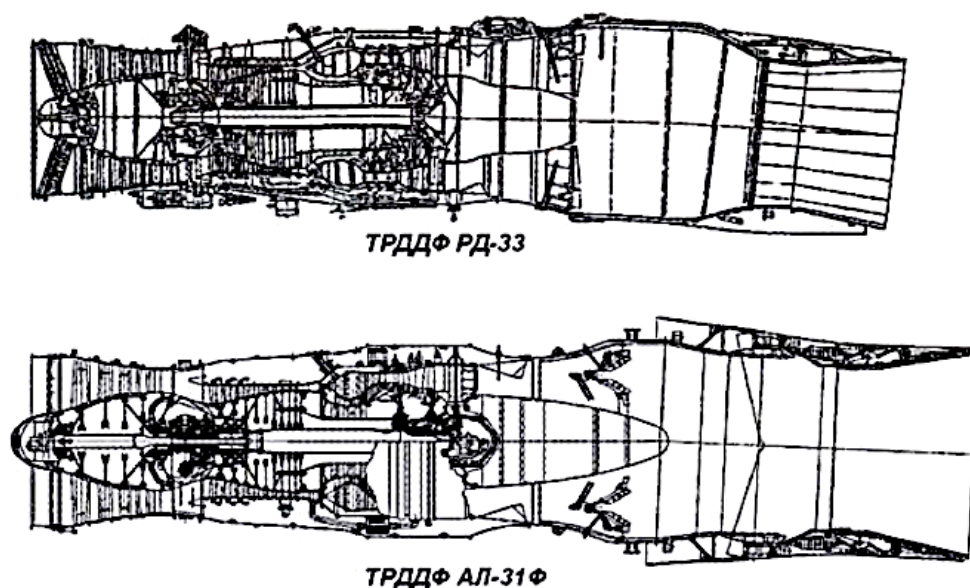


Рис. 16. Российские двигатели 4-ого поколения

Единственной крупной модернизацией стал РД-33К для палубного истребителя МиГ-29К с увеличенным диаметром вентилятора, расходом воздуха и тягой. Он получил дальнейшее развитие в варианте РД-33МК, для новых истребителей МиГ. Надо отметить, что РД-33 в исходной конфигурации отличался самыми умеренными удельными параметрами, соответственно, у него самые большие резервы для модернизации. Так в разрабатываемой модификации РД-43 (ВК-10) только за счет выкручивания газодинамических параметров тяга повышена почти до 10 тс без увеличения массы и расхода топлива. В следующем поколении, известном как ВК-12 (РД-431), будут уже применены элементы технологий, характерных для поколения 4+ ("БЛИСК",

монокристаллические лопатки и диски турбин, керамическая камера сгорания, новое сопло). ВК-10 и ВК-12 предназначены для МиГ-35 первых и последующих серий. Могут они также применяться и на МиГ-29К/КУБ.

Для Су-27СМ, Су-30МК, Су-33КУБ, Су-34, Су-35 разрабатываются новые модификации моторов АЛ-31Ф, известные как 117С (НПО "Сатурн") и АЛ-31ФМ1/М2/М3. АЛ-31ФМ1 уже принят на вооружение для оснащения Су-27СМ. Он имеет тягу около 13,2 тс. На АЛ-31ФМ2 применены новые лопасти компрессора с широкой хордой, основанные на технологии "БЛИСК". Тяга достигла величины 14,2 тс. На модификации АЛ-31ФМ3 проходят испытания новая турбина и камера, а тяга двигателя увеличена до 15,3 тс [5]. Разрабатывается уже и АЛ-31ФМ4, который, также как и 117С, имеет увеличенный диаметр вентилятора. Эти моторы предназначены для новых истребителей Су-35/34/30МК, а также самолета пятого поколения. В АЛ-31ФМ4 использована такая же конструктивная схема, как и у F119, т.е. 3+6=1+1 (трехступенчатый вентилятор, шестиступенчатый компрессор, одноступенчатые турбины высокого и низкого давления. На новом моторе найдут применение все новшества, опробованные на более ранних модификациях. Тяга уже в 2009 г. может достигнуть величины в 16,5 т.

#### Европейские двигатели.

В классе РД-33 и F404 в 90-е годы в Европе были созданы 3 двигателя, которые их разработчики относят к поколению 4+. В Швеции для истребителя JAS-39 на базе американского F404-GE-402 разработали мотор RM-12. От своего прототипа он отличается увеличенным диаметром вентилятора и большим расходом воздуха. RM-12 самый тяжелый и наименее мощный. Французский M88-2 применяется на истребителях Рафаль С, начиная со второй серии. Он легче RM-12 и мощнее его. На "Еврофайтере" используется двигатель европейского двигателестроительного консорциума EJ2000 (рис.15). При таком же весе, как у M88-2 он развивает тягу на 300 кгс больше.

Европейские двигатели уступают F414 по всем показателям, к тому же резерв их совершенствования довольно ограничен.

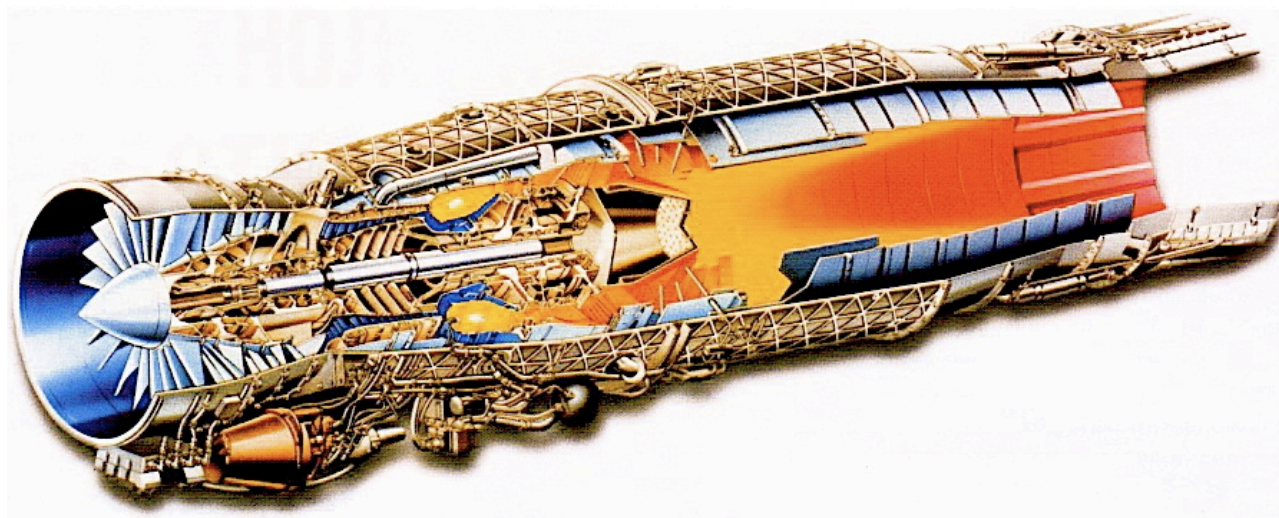


Рис. 17. Двигатель европейского двигателестроительного консорциума.

### Американские двигатели пятого поколения F119 и F135.

Двигатель F119 не содержит в себе таких революционных технологий, как изменяемая степень двухконтурности или переменная температура газа перед турбиной. В то же время он впитал в себя абсолютно все лучшее, что было разработано ранее ("БЛИСК", FADEC, монокристаллические диски турбины и т.п.). Тяга его неизвестна, но по некоторым данным она на режиме полного форсажа составляет не менее 15,5 т. Если в последующих модификациях конструкторам удастся поднять температуру горячей части двигателя до 1950°K, как у F135, то его тяга может достигнуть величины 17,6 тс. Такие параметры близки к теоретическому пределу с точки зрения термодинамики.

Самым мощным на сегодня серийным двигателем является F135. Во время стендовых испытаний достигнута тяга на режиме полного форсажа 18,8 т. Он имеет роторы с противовращением, т.е. компрессор и турбина низкого давления вращаются в одну сторону, а компрессор и турбина высокого давления в другую. Это позволяет избавиться от гироскопического момента, что очень важно для одновигательных истребителей.



Таблица №1. Характеристики двигателей

	Тяга		Уд. вес	Уд. Тяга	Темп. перед турбиной	Масса	Степень двух-контурности	Расход топлива			Расход возд.	Степ. повышения давл.
	форсаж	макс						на форсаже на максимале крейсерский				
	кгс	кгс	кг/кгс	кгс/(кг/с)	Т, К	кг	т	кг/(кгс.ч)	кг/(кгс.ч)	кг/(кгс.ч)	кг/с	л
F100-PW-100	10810	6655	0,13	106	1680	1 373	0,72			0,72	102	23
F100-PW-200	10611	6533	0,13	104	1550	1373	0,72			0,7	102	23
F100-PW-220	10771	6595	0,14	93	1650	1455	0,63	2,6	0,73	0,693	115,5	24
F100-PW-229 (220)	12882	7684	0,13	112	1790	1696	0,36	2,6	0,73	0,693	115,5	27
F110-GE-100	12936	8285	0,14	112	1643	1 778	0,87	2,08			115	29,9
F110-GE-400	12247	8285	0,16	107	1634	1 996	0,87				114,75	30,4
F110-GE-129	13154	7754	0,14	107	1735	1 794	0,76	1,98		0,65	122,4	30,7
F110-GE-132	14742	7726	0,12	126		1 819	0,76				116,9	
АЛ-31Ф	12500	7770	0,12	112	1665	1530	0,6	1,92	0,75	0,67	112	23
АЛ-31ФМ2	14200		0,11	129		1530	0,6	1,92	0,75	0,67	110	
АЛ-31ФМ3	15300		0,10	131	1730	1530	0,6	1,9	0,72	0,68	117	
117С	14500	8800	0,10	122		1500					119	
Д-30Ф6М	15500	9500	0,16	103	1660	2415	3	1,9	0,72		150	
M88-2	7 446	4 970	0,12	115	1850	879	0,3	1,7	0,8		65	24,5
M88-3	9 180		0,11	128		985	0,2	2,3		0,88	72	
F404-400	7 242	4 979	0,14	113	1650	989	0,34	1,88	0,78		64	25
F404-402	7 955	5 000	0,13	120	1650	1 000	0,3				66	25
RM-12 (F404-400)	8 210	5 500	0,13	122	1687	1 050	0,3				67	25
F414	9 907	6 685	0,11	129	1750	1 107					77	30
EJ2000	9 165	6 110	0,11	119	1800	1 037	0,4				77	26
РД-33	8340	5100	0,12	108	1520	980	0,55	2,1	0,77	0,68	77	21
РД-33К	8801	5500	0,11	104	1520	980	0,55	2,1	0,78	0,70	85	
РД-33МК	9000	5500	0,11	106	1520	980	0,55	2,1	0,72	0,63	85	
РД-43 (ВК-10)	9690	6000	0,10	114		<b>980</b>	<b>0,55</b>	2,1	0,72	0,63	<b>85</b>	
РД-431 (ВК-12)	11305	7400	0,09	133		<b>980</b>					<b>85</b>	
F119-PW-100	15570	10700	0,10	123	1850	<b>1560</b>	0,2	1,95		0,86	127	26,65
F135	18000		0,10	129	1927	<b>1720</b>	0,57	1,74		0,82	<b>139</b>	35

## Заключение

Итак, в первой части мы подробно разобрались с методикой сравнения самолетов и двигателей. Как видно из таблицы №1, никаких чудес в области двигателестроения не наблюдается. Двигатели, относящиеся к одному поколению близки по удельным показателям. Другое дело, что усовершенствованные моторы в США выпускаются уже сотнями штук, а у нас только проходят испытания. Зато российские моторы имеют большие резервы для модернизации.

Во второй части статьи мы сравним между собой самолеты истребители.

## Литература

1. С. Левицкий. Чем нам защитить наше небо от хищников? Авиапанорама. №1. 2008.
2. С. Левицкий. Истребитель пятого поколения - каким ему быть? Июль - август 2006 г.
3. П.В. Булат. На Пути к пятому и шестому поколению. Часть II. Десять лет спустя. <http://paralay.com/>
4. П.В. Булат О Проблеме запуска ракет из отсеков на сверхзвуковой скорости. Часть II.
5. П.Мельник. Новые Технологии в разработке ГТД. Авиапанорама. Март - апрель 2006 г.