



ГЛАВА II

СОВРЕМЕННЫЙ САМОЛЕТ И ЕГО СИСТЕМЫ

Amat Victoria Curam
Победа любит подготовку

«Или ты управляешь самолетом, или самолет будет управлять тобой»

Критическая фраза моего инструктора

«Язык потенциального врага надо знать»

Народная мудрость

«Электропроводка самолета включает в себя 570 км проводов и кабелей»

Из пресс-релиза Airbus A380

«USE THE APPROPRIATE LEVEL OF AUTOMATION AT ALL TIMES»

«Постоянно используй соответствующий уровень автоматизации». (Истинное значение — «используй автоматику максимально, не пренебрегай»)

Одно из «Золотых правил Airbus»

Airspeed, altitude, and brains. Two are always needed to successfully complete the flight

«Скорость, высота и мозги. Два фактора необходимы для успешного завершения полета»

Flying for the airlines is not supposed to be an adventure. From takeoff to landing, the autopilots handle the controls. This is routine. In a Boeing as much as an Airbus. And they make better work of it than any pilot can. You're not supposed to be the «blue-eyed hero» here. Today your job is to make decisions, to stay awake, and to know which buttons to push and when. Your job is to manage the aircraft systems.

«Полеты гражданских пассажирских самолетов больше не воспринимаются, как приключения. От взлета до посадки всем управляет автопилот. Это рутина. Как в Boeing так и в Airbus. И он (автопилот) выполнит эту работу лучше, чем это может сделать любой пилот. Времена «голубоглазых героев» закончились. Сегодня ваша работа — принимать решения, быть начеку и знать назначение и функцию каждой кнопки. Ваша работа — управлять и оперировать системами самолета»

*FAA certified flight instructor. Confidential discussion.
Из конфиденциальной дискуссии с инструктором FAA*

Пассажирская гражданская авиация скоро отметит столетний юбилей. И уже полвека назад была определена концепция лайнера, которая будет считаться оптимальной, возможно, еще не одно десятилетие, по крайней мере, до фундаментальных открытий, способных перевернуть нынешние представления и открыть новые горизонты.

Означает ли это, что прогресс временно затормозился? Разумеется, нет! Рассмотрим ситуацию на примере «самого массового пассажирского самолета» (по официальным данным) — Boeing 737. При внешнем сходстве Boeing 737 поколения Original с современными Boeing 737 Next Generation и 737 MAX — это практически разные самолеты. Я понимаю, какой скепсис, возможно, вызвало это высказывание, но факты говорят сами за себя. Boeing 737 был построен ровно в середине столетнего периода развития гражданской авиации. За полвека постоянных доработок у самолета поменялось очень многое: двигатели, существенно улучшилась аэродинамика, в конструкции стали больше использоваться новые материалы и технологии, качественно изменились навигационные средства и пилотажные комплексы (это просто другое поколение), львиную долю рутинной работы с экипажа сняла совершенная автоматика. На сегодняшний день Boeing 737 стал самым массовым и универсальным лайнером в истории авиации. Если всю историю самолета отразить в видеоклипе и ускоренно его прокрутить, то можно обнаружить, что самолет становился то короче, то длиннее, чтобы удовлетворить запросы авиакомпаний, и на сегодняшний день стал самым массовым и универсальным лайнером в истории авиации. Изменения не коснулись лишь общей компоновки и принципиальных конструктивных решений, найденных более пяти десятилетий назад. Сами же изменения были порой столь значительны, что семейство семьсот тридцать седьмых пришлось поделить на поколения: 737 Original, 737 Classic, 737 Next Generation и 737 MAX.

Успешность проекта 737 заключается в гармоничном сочетании оптимальных решений. Достаточно сделать сравнение самого массового советского лайнера Ту-154 М с его одноклассником Boeing 737–400. Будучи короче Ту-154 М на 12 м и меньше в размахе на 9 м, Boeing 737–400 доставляет равное количество пассажиров на расстояние в 1,5 раза большее, расходуя в 2–2,5 раза меньше топлива. И дело далеко не в одних двигателях, если на одного пассажира Boeing 737–400 приходится около 190 кг «железа», то на пассажира Ту-154 М уже более 300 кг. При этом Boeing не только не уступает своим конкурентам в прочности, но и превосходит многих из них. В мире известен печальный случай на Гавайях 28 апреля 1988 года, когда у самолета компании Aloha Airlines через 23 минуты после взлета буквально сорвало крышу и он лишился 35 м² верхней половины обшивки фюзеляжа первого салона. После экстренного снижения самолет успешно произвел посадку в аэропорту Кахулуи, все 89 пассажиров остались живы, погибла только стюардесса, в момент аварии стоявшая в проходе — ее просто выбросило воздушным потоком из самолета. Впоследствии было установлено, что разрушение обшивки у 19-летнего самолета произошло вследствие ненадлежащего технического обслуживания в условиях интенсивной эксплуатации с очень большим количеством циклов взлет-посадка, так как он выполнял в основном короткие рейсы между островами архипелага.

Статистка свидетельствует, что весь мир летает на Boeing 737, ежедневно в воздухе находится около 1200 самолетов этого семейства, а каж-

дые 5 секунд происходит взлет или посадка. И впереди, судя по всему, долгая жизнь и новые модификации. Именно поэтому, скепсис и «квасной ура-патриотизм» в данной ситуации неактуален.

Как уже указывалось выше, прогресс в гражданской авиации не затормозился. Правда, эксплуатационная скорость реактивных самолетов, хотя и выросла почти вдвое по сравнению с поршневыми, все же остановилась в пределах 850–950 км/ч, или $M=0,88-0,9$. Числом Маха, или просто числом M , обозначают скорость звука в данных условиях, так как скорость звука зависит от плотности воздушной среды, а значит и от высоты полета. Число M равное 0,9 означает скорость полета, составляющую 90% от скорости звука в конкретных условиях (температура, плотность и т. д.). Суть в следующем: при полете на скоростях меньших скорости звука, крыло и фюзеляж «расслаивают» воздух перед собой. Однако, как только скорость самолета становится равной скорости звука, воздух перестает «слышать» приближение самолета, и крыло словно наталкивается на преграду, столь существенную, что этот эффект получил название «звукового барьера» или скачка уплотнения. В качестве примера — махните рукой в воздухе, попробуйте выполнить это же движение в воде, потом аналогично попробуйте в рыхлом и сухом песочке... Попробуйте в середине траектории движения руки упереться во что-нибудь мягкое, потом более плотное (например, несколько листов поролона) и так далее. Подобным образом и самолет «упирается» в тугой воздух, который уже не «расслаивается» и встречает самолет скачком уплотнения.

Работа крыла основана на законе Бернулли, согласно которому при увеличении скорости потока уменьшается давление. Разница между пониженным давлением над крылом и неизменным под ним создает подъемную силу крыла, и чтобы получить ее, надо ускорить поток над крылом. Это достигается применением выпуклых сверху профилей, обтекая которые воздух проходит больший путь и, в силу неразрывности потока, увеличивает скорость. Поэтому, когда сам самолет движется на скоростях, близких к скорости звука, местная скорость потока на верхней части крыла может достичь скорости звука, что приведет к появлению на крыле местных скачков уплотнения. Это называется волновым кризисом, который ухудшает обтекание крыла, снижает подъемную силу и вызывает резкий рост сопротивления. Ухудшаются устойчивость и управляемость самолета, увеличиваются нагрузки на его конструкцию. Именно поэтому максимальная скорость всех современных пассажирских самолетов ограничена числом M равным 0,88–0,9 и соответствующим началу развития волнового кризиса на крыле. В целом, касательно профилировки крыла, вероятно, стоит заметить, что по данному вопросу единой точки зрения нет, есть несколько устоявшихся решений. В основном существуют 2 типа профилей — с «полкообразным» и «пиковым» распределением давления вдоль хорды, которые обладают следующими свойствами:

— Профиль с «полкообразным» распределением давления создает подъемную силу на значительной части хорды. Этот профиль позволяет воздушному потоку ускоряться до умеренных скоростей, причем он не очень чувствителен к движению местных ударных волн и к изменению подъемной силы вдоль хорды крыла;

— Профиль с «пиковым» распределением давления приводит к высоким значениям скорости у передней кромки, но при этом скорость быстро падает

вдоль хорды; поэтому местные скачки не отражаются обратно на поверхности крыла и не вызывают сопротивления.

При прочих равных условиях профиль с «пиковым» распределением давления может работать при больших значениях числа M , прежде чем начнется значительный рост сопротивления; при малых числах M он, очевидно, обладает несколько большим сопротивлением. Профиль с «полкообразным» распределением является более изученным. Профиль с «пиковым» распределением не столь легко прощает ошибки, не столь фундаментально изучен, и его характеристики сильно зависят от формы носовой части.

Относительная толщина крыла также служит «яблоком раздора» между аэродинамиками и конструкторами. Аэродинамики требуют применения тонких крыльев (как на Boeing 737 или Airbus A320) для того, чтобы увеличить число M крейсерского полета или добиться как можно меньшей стреловидности при сохранении числа M . Конструкторы требуют применения толстых крыльев (как в Ту-154), чтобы легче преодолевать свои трудности при размещении шасси, топлива и т. д., а также понизить напряжения в конструкции.

Негативные факторы, связанные с тем, что местная скорость потока над верхней поверхностью крыла превышает скорость невозмущенного потока при наличии существенной кривизны крыла, как указывалось ранее, приводят к скачкам уплотнения. Но и это не все проблемы: начинает проявляться влияние сжимаемости, растет лобовое сопротивление, может ощущаться бафтинг, изменяется подъемная сила и положение центра давления, что при фиксированном угле стабилизатора приводит к изменению продольного момента. Число M , при котором начинает проявляться влияние сжимаемости, называется критическим; для прямого крыла оно весьма небольшое — около 0,7. Поскольку крыло реагирует только на вектор скорости, нормальный к передней кромке, то на стреловидном крыле при любом числе M набегающего потока происходит уменьшение эффективной составляющей скорости, нормальной к передней кромке крыла. Это означает, что воздушная скорость может увеличиваться до тех пор, пока эта составляющая скорости не достигнет скорости звука, благодаря чему возрастает критическое число M . Вот почему абсолютно все скоростные самолеты имеют стреловидные крылья. Поскольку относительная толщина крыла определяет степень ускорения воздушного потока над верхней поверхностью крыла, то, чем тоньше крыло, тем меньше ускорение потока. Поэтому при тонком крыле можно достичь более высокой воздушной скорости, прежде чем воздушный поток над верхней поверхностью станет звуковым. Именно поэтому все скоростные самолеты имеют тонкие стреловидные крылья (SR-71 — идеальный тому пример). Поскольку стреловидность приводит к уменьшению эффективной скорости потока, то при прочих равных условиях на стреловидном крыле при любой скорости полета будет создаваться меньшая подъемная сила, чем на прямом крыле (именно поэтому все планеры имеют прямое крыло с минимальной стреловидностью). Эта потеря подъемной силы может быть восполнена путем увеличения угла атаки, что, в частности, объясняет наличие довольно больших углов тангажа у реактивных самолетов при заходе на посадку. Разумеется, это не означает, что самолет со стреловидным крылом летает на углах атаки более близких к срывным, чем самолет с прямым крылом; оба типа эксплуатируются на соответствующих скоростях, но самолет со стреловидным крылом способен лететь на больших углах атаки.

Это связано с тем, что поток над верхней поверхностью стреловидного крыла менее «энергичен», чем у прямого, следовательно, приближение к моменту срыва у стреловидного крыла будет на больших углах атаки. При рыскании самолета с прямым крылом происходит также его кренение (это испытывал каждый, кто хоть раз летал на планере). Это происходит потому, что внутренняя к развороту консоль крыла замедляется и опускается, а наружная ускоряется и поднимается, поскольку при неодинаковых скоростях консолей крыла получаются разные значения подъемной силы. На самолете со стреловидным крылом этот эффект усугубляется еще и тем, что стреловидность каждой консоли крыла существенно влияет на угол скольжения. Более быстрая наружная консоль крыла становится менее стреловидной по отношению к нормальному потоку и создает при том же угле атаки увеличенную подъемную силу, так как при этом увеличивается эффективное относительное удлинение крыла. Более медленная внутренняя консоль крыла становится еще более стреловидной и при том же угле атаки по той же причине теряет подъемную силу. Этим еще в большей степени нарушается равенство составляющих подъемной силы на консолях крыла и в значительной степени создается тенденция к кренению. Именно этот кренящий момент при рыскании самолета очень важен для анализа пилотажных характеристик самолета.

Полет же на сверхзвуковых скоростях требует иной конструкции, а также аэродинамических свойств самолета, значительно больших мощностей и, следовательно, расходов топлива, появляются дополнительные проблемы в виде нагрева обшивки до 120–150°, мощной ударной волны, идущей за самолетом и т. д. Опыт создания и эксплуатации пассажирских сверхзвуковых самолетов, советского Ту-144 и англо-французского Concorde, подтвердил, что время сверхзвуковых пассажирских перевозок еще не наступило. Можно сколько угодно разглядывать красивые презентации нового (или очередного?) арабского Суперсоника (ну, просто мега-конструкция, прототип выполнен в красном цвете), но в мировом масштабе время таких самолетов еще не пришло. Возможно, арабы, с их ценами на нефть и на топливо и запустят этот самолет. Возможно. Но, общей картины в мировом масштабе это не исправит. Хочется привести пример: те же арабы, ввели моду на золотые автомобили, в буквальном смысле этого слова. Готовый суперкар покрывается тонким слоем золота, дабы подтвердить статус владельца. Но нигде, ни в какой стране мира, исключая арабский сектор, эта, безусловно, красивая традиция не прижилась (даже наши «газовые друзья» из солнечной Туркмении такого себе не позволяют). Единственное, пожалуй, исключение: как-то я сам встретил в Москве на Новом Арбате, прямо напротив книжного магазина... голубой Бентли со стразами на дисках. Все колеса просто блестели. Красивое сочетание, вроде как тоже статус подтверждает. Вернемся к авиационным вопросам. Следует также понимать, что, создав технически такой самолет, сложно будет окупить его эксплуатацию экономически. И дело даже не в расходе топлива, точнее, не только в нем. Люди не нуждаются в такой скорости перемещения (на данный момент) за такую цену. Любой бизнесмен, особенно близкий к миру чартерной авиации, может подтвердить, что для самых-самых срочных совещаний и встреч он использует не бизнес-джет (парадоксальный факт, из мира бизнес-джетов). Для этих целей существуют скайп и видеоконференции, если вопрос действительно срочный.

Новым шагом в рамках сложившихся схем стал проект европейского консорциума Airbus S.A.S, которому предстояло штурмовать рынок, прочно захваченный американским Boeing. Для решения этой амбициозной задачи недостаточно было просто сделать самолет равный американскому аналогу, нужна была программа, обращенная в будущее на три-четыре десятилетия минимум. И Airbus S.A.S это удалось. Как именно устроен современный пассажирский самолет, какие идеи заложены в его концепцию и как они реализованы с технической точки зрения, рассмотрим на примере нескольких самолетов. В первую очередь, это семейство самолетов Airbus A319, A320 и A321, (ввиду того, что это одно идентичное семейство, далее будем использовать обозначение Airbus A320), в параллель проанализируем устройство систем современного бизнес-джета Hawker 1000. Внимательный читатель наверняка задаст вопрос: а почему именно этот самолет? Суть в следующем: в Airbus A320 применяется электро-дистанционная система управления Fly-by-Wire, и, пилотируя, пилот дает команды компьютерам, которые обрабатывают сигналы и формируют управляющее воздействие. В Hawker 1000 система управления классическая, тросовая. Пилотируя его, пилот, буквально, «чувствует ветер руками». Но, помимо этого, Hawker 1000 оснащен мощным и современным пилотажно-навигационным комплексом и системой защит. Помимо параллельного изложения (об Airbus A320 и Hawker 1000) в тех подразделах, где системы самолетов практически идентичны, повествование будет построено на основе систем Hawker 1000. Почему опять этот самолет? Все просто: документация на него выполнена на очень высоком уровне, все иллюстрации цветные (чего нельзя сказать об Airbus), ибо расчет разработчиков следующий: возможно, сам владелец самолета возьмет, да и глянет 3 толстых папки, что поставлялись вместе с бортом. Цветная, богато оформленная документация — фирменный стиль всех бизнес-джетов. Кроме того, именно Hawker 1000 — очень понятный любому пилоту самолет, он нагляден настолько, что на его основе можно преподавать ряд авиационных дисциплин. К слову говоря, некоторые приведенные схемы могут отличаться от «текущих» версий. Дело в том, что Hawker 1000, да и большинство бизнес-джетов постоянно модернизируются и дорабатываются. Только у меня 4 комплекта документации, схемы ряда систем в которых местами отличаются. Цель данной главы — не детальное описание какого-то определенного борта, а наглядная и доступная демонстрация общих принципов функционирования тех или иных систем. Шаг за шагом, разбирая работу систем этих двух принципиально разных самолетов, возможно, мы докапаемся до истины, что же лучше — электрический самолет или классический тросовый, но «напичканный» современной электроникой. Этот аспект вызывает массу дискуссий в профессиональной среде, именно поэтому, глава о системах самолета построена таким образом. В качестве факультативной информации приведены диаграммы и краткое описание систем U-2, SR-71 (в главе про самолеты-разведчики), F-117 Stealth (в главе про самолеты «невидимки»). Пожалуй, следует отметить, что все иллюстрации взяты из Flight Manuals этих самолетов, которые долгое время были засекреченными, все эти, действительно уникальные иллюстрации публикуются в российской печати впервые. После изучения работы той или иной системы, о которой идет речь в этой главе (на примере Airbus A320, Hawker 1000), читатель может сравнить их с системами засекреченных самолетов (в соответствующих главах). Ну, и последний