

В.М.ШЕЙНИН , В.М.МАКАРОВ

РОЛЬ МОДИФИКАЦИЙ В РАЗВИТИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ

В. М. ШЕЙНИН, В. М. МАКАРОВ

РОЛЬ МОДИФИКАЦИЙ В РАЗВИТИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

МОСКВА 1982

Шейнин В. М., Макаров В. М. **Роль модификаций в развитии авиационной техники.** М.: Наука, 1982.

Первая часть книги посвящена теории модификаций и анализу главных направлений развития авиационной техники. В ней даются основные понятия и классификации, показываются принципы планирования и проблемы проектирования модификаций, приводится анализ их эффективности. Вторая часть книги — это история развития модификаций от их появления до современного периода (наиболее характерные этапы), показана эволюция модификаций, изложены закономерности их развития.

Книга может быть полезной для ученых, занимающихся историей авиации, для специалистов, причастных к проектированию авиационной техники, для преподавателей вузов, а также для всех интересующихся особенностями разработки модификаций и историей их развития.

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР

Г. В. НОВОЖИЛОВ

Виктор Михайлович Шейнин, Владимир Михайлович Макаров

РОЛЬ МОДИФИКАЦИЙ В РАЗВИТИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Утверждено к печати Институтом истории естествознания и техники
Академии наук СССР

Редактор О. В. Шамфарова. Редактор издательства С. С. Матвеев. Художник Е. В. Капустин. Художественный редактор Н. Н. Власик. Технический редактор Л. Н. Золотухина. Корректоры Л. И. Кириллова, Р. В. Молоканова

ИБ № 24543

Сдано в набор 17.06.82. Подписано к печати 24.11.82. Т-16199. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 14. Усл. кр.-отг. 14,2. Уч.-изд. л. 15,2. Тираж 1350 экз. Тип. Зак. 4192. Цена 2 р. 30 к.

Издательство «Наука», 117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА

Модификации — одно из основных направлений развития авиационной техники с периода становления авиации, но проявлялось оно лишь эпизодически. Достаточно полно оно формировалось в 30-е годы. Практика разработки модификаций непрерывно совершенствовалась с каждым новым поколением самолетов, а в 1960—1970 гг. получила широкое развитие. Авиация в этом отношении не единственная область техники, модификации свойственны всем отраслям современного машиностроения.

Последние достижения в области авиационной техники — во многом результат развития модификаций. Достаточно сказать, что значительную часть (много более половины) всего мирового парка пассажирских самолетов составляют модификации. Роль этого направления неизмеримо возросла в период создания пассажирских самолетов третьего и проектирования самолетов четвертого поколения. Более того, разработка модификаций в этот период стала плановой.

В процессе развития авиационной техники растет не только число модификаций у каждого базового самолета, а также их относительное количество в общем парке эксплуатируемых самолетов, но, кроме того, появляются все новые и новые виды модификаций. Так, если в прошлом создавались модификации с удлиненными фюзеляжами, то теперь разрабатываются и с укороченными. При этом не только назначение подобных модификаций, но и объем изменений при их создании существенно различны. Сравнительно недавно появились так называемые комплексные модификации, они отличаются не только расширением области применения, но одновременно и большим техническим совершенством.

Сказанное убедительно подтверждает, что модификации самолетов действительно являются одним из направлений развития авиационной техники и, следовательно, вполне правомерно говорить о формировании теории модификаций.

Современные исследования потребного типоразмера самолета, а затем разработка проекта не ограничиваются рамками базового самолета. Они ведутся в масштабах целой программы, включающей не только семейства модификаций, но целую гамму взаимодополняющих самолетов. При этом рассматривается широкий диапазон значений лётно-технических характеристик, а следовательно, и параметров самолета. Многочисленные задачи создания самолетов четвертого поколения, решаемые именно в таком плане, осложнены рядом проблем и, прежде всего, энергетической, однако их решения возможны.

Достоверность прогнозов роста требований, проектирование и оптимизация весьма сложной и быстро видоизменяющейся техники немыслимы без глубокого понимания основных тенденций развития авиационной техники. На фоне исторического опыта и

ясного понимания того, что удалось и чего еще не удалось достичь, отчетливее видны проблемы настоящего и будущего. Иначе говоря, знание законов исторического развития облегчает решение проблем прогнозирования.

Следует подчеркнуть, что несмотря на широкую практику проектирования и эксплуатации модификаций и накопленный опыт, исторических работ, исследующих поэтапное развитие модификаций, вообще не встречалось, а число теоретических разработок этой темы пока крайне ограничено.

Книга начинается с теоретических положений (систематизированных и разработанных автором), полезных для основного понимания истории модификаций, которым посвящена большая часть книги. Глава, посвященная рассмотрению некоторых тенденций развития пассажирской авиации и роли экономического фактора в этом развитии, связывает первую и вторую части этой работы.

В данной книге объединены две казалось бы самостоятельные темы — теория модификаций и история модификаций авиационной техники. Это целесообразно не только из-за отсутствия книг теоретического плана, но и потому, что теоретическая часть работы основана на исследовании процессов развития истории модификации и содержит детальный анализ конкретных исторических факторов, который и привел к теоретическим обобщениям. Некоторые из положений книги могут, естественно, оказаться спорными.

При изложении истории модификаций достаточно удачно разграничены этапы ее развития и свойственные им закономерности. Обширный исторический материал показывает, что движущей силой развития гражданской авиационной техники и, в частности, модификаций является экономический фактор.

Данная работа напоминает об интересном утверждении заслуженного деятеля науки и техники профессора Владимира Сергеевича Пышнова, смысл которого заключен в следующем: книги о проектировании должны писать не только ученые, овладевшие общими законами развития техники и методами исследования, но и специалисты, причастные к разработке новых идей, к решению сложных проблем. Соглашаясь с этим, следует считать удачным то, что разработкой данной темы занялись авторы, не только имеющие опыт исследования, но и десятки лет участвующие в проектировании новой техники и связанные со многими описанными в книге событиями.

Множество научных ссылок на статьи и книги лауреата Ленинской премии В. М. Шейнина, а также большое число отзывов свидетельствуют, что его работами охотно пользуются ученые, конструкторы, преподаватели, студенты. Можно ожидать, что и эта работа, написанная совместно с В. М. Макаровым, найдет широкий круг читателей.

Член-корреспондент Академии наук СССР,
Герой Социалистического труда,
Генеральный авиаконструктор *Г. В. Новожилов*

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ

Для современного уровня развития производительных сил характерно быстрое обновление всех видов машин. В таких условиях разработка и производство новых образцов техники невозможны без использования принципов модификации и унификации. Быстрое развитие воздушного транспорта, базирующееся на непрерывном росте объема и экономичности перевозок, безопасности и регулярности полетов, также немыслимо без модификаций, эволюцию которых авторы попытались описать в данной книге.

При работе над рукописью были использованы известные исследования А. В. Гличева, С. Н. Кукушкиной и Н. А. Степанова, а также ранние работы авторов данной книги. Существенную помощь при систематизации статистических данных оказали работы А. С. Яковлева, В. Б. Шаврова, А. В. Минаева и Р. И. Виноградова.

В предлагаемой книге введение и главы 1—3 написаны В. М. Шейниным, главы 4—8 — В. М. Макаровым.

Поскольку книга является, видимо, первой попыткой систематически изложить вопросы теории и истории модификаций, то она, конечно, не лишена ряда недостатков, указания на которые авторы встретят с благодарностью.

Авторы весьма признательны чл.-кор. АН СССР Г. В. Новожилову заслуженному деятелю науки и техники д. т. н. профессору В. С. Пышнову и к. т. н. доценту В. И. Козловскому, оказавшим существенную помощь при работе над рукописью, а также д. т. н. В. Ф. Леонтьеву, давшему ряд ценных советов при просмотре теоретических разделов рукописи.

ВВЕДЕНИЕ

Авиация развивается с учетом многих характерных особенностей научно-технической революции: комплексно используются научные исследования и инженерно-производственный опыт, возрастают сложность, оснащенность и стоимость новых самолетов, удовлетворяются все более жесткие (и часто противоречивые) технические и экономические требования на основе систематической разработки модификаций для непрерывного совершенствования самолетов. Выбор облика проектируемых машин основан на сложном компромиссе между многими требованиями в конечном счете направленными к росту производительности машин и снижению стоимости жизненного цикла. Разрешение противоречий и создание эффективных машин особенно в современный период в большей степени, чем ранее, зависит от масштабов и уровня исследований и разработок.

В различные периоды развития техники, любой ее отрасли временами наблюдалось отставание теории от практики. В случае с модификациями это особенно очевидно: с одной стороны, в последнее десятилетие происходит бурное развитие модификаций и глубокое их проникновение в область проектирования, в практику авиационной промышленности и эксплуатации, а с другой — аналитическое осмысливание этой практики, первые попытки исторических исследований и лишь формирование теории модификаций, порождающее большое число дискуссионных вопросов. Сказанное позволяет предположить, что все, связанное с модификациями, разовьется в самостоятельную область знаний или самостоятельный раздел общей науки о проектировании машин (или теории машин). Последний будет включать не только общие теоретические положения и исследования путей создания модификаций, не только методы проектирования и анализа эффективности, но и изучение закономерностей исторического развития модификаций.

Известно, что изучение любого явления начинается с наблюдения, описания и объяснения. Затем следует систематизация и выявление закономерностей. Разработке методов, позволяющих производить количественную оценку, предшествует качественный анализ. Именно так начиналось формирование теории модификаций, вначале они были описаны: показаны история их возникновения и развития, физический смысл и закономерности явлений, противоречивость ряда положений, исследованы проб-

лемы планирования и целесообразная область резервирования и т. п. [19, 20]; затем, в ряде диссертационных работ и публикаций был выполнен экономический анализ и разработаны методики [7, 12].

Все это подготовило базу для систематизированного изложения теории и истории развития модификаций, причем роль модификаций в общем техническом прогрессе особенно очевидна при рассмотрении диалектического характера развития машин.

В чем же проявляется объективная потребность разработки теории модификаций и исследования исторических процессов их развития? Дело в том, что с каждым поколением происходит резкое увеличение размера самолета и усложнение систем бортового оборудования, что приводит к значительному (скачкообразному) росту удельной стоимости (т. е. стоимости одного килограмма самолета) и, следовательно, к соответствующему росту амортизационных расходов. Правда, рост производительности самолетов относительно превышает рост удельной стоимости. Это собственно и подтверждает целесообразность увеличения их размеров, ибо стоимость единицы производительности при этом снижается. Рост себестоимости эксплуатации, усугубляемый резким ростом стоимости топлива, приводит к необходимости разработки не единичного самолета, а целого семейства модификаций, снижающей суммарные капитальные затраты. Эти же обстоятельства вызывают необходимость все более точного прогнозирования (в период перспективного проектирования) потребного типоразмера самолета и его модификаций, а именно — пассажироёмкости и производительности, т. е. роста требований к основным характеристикам. Значение последних определяется на основе прогноза роста объема перевозок и развития линий.

На фоне этих объективно действующих причин и описанного выше состояния теоретических исследований предлагаемая работа о роли модификаций в развитии авиационной техники может оказаться актуальной.

Изучение различных направлений развития авиационной техники с момента ее зарождения и до настоящего времени позволяет выделить определенные этапы. Каждому из них свойственны свои характерные черты и закономерности, которые легко проследить при изучении исторического материала. Эти этапы отличаются и развитием определенных видов модификаций, появление которых не только соразмерно каждому данному уровню технического совершенства, но являются также следствием социальных и экономических причин. Исследования направлений развития и его движущих функций позволяют выявить определенные закономерности, знание которых помогает решению многих проблем перспективного проектирования самолетов.

Структура исторической работы допускает большое число вариантов. В нашем случае возможно изложение истории с подразделением ее на три периода: от становления авиации до первого существенного скачка, обусловленного появлением моно-

планов металлической конструкции (1911—1932), затем период до появления реактивных самолетов (1933—1955) и, наконец, с 1955 по 1980 г. Поэтапной последовательности придерживался, например, В. Б. Шавров. Другая структура заключается в рассмотрении динамики развития, в нашем случае каждого из видов модификации с прослеживанием их через все периоды. Так написана известная историческая работа А. С. Яковлева (только речь в ней идет о классах самолетов). Недостатком первой структуры является многократное возвращение к одним и тем же видам модификаций на каждом этапе развития. Недостаток второй таится в повторении одних и тех же периодов при сквозном рассмотрении эволюции данного вида модификации. Авторы предпочли вторую структуру. Она позволяет лучше сосредоточиться на видоизменениях каждого конкретного вида модификации во времени.

Можно различать два направления в авиационно-исторической литературе. В работах первого направления излагают историю фактов и хронику событий, приводят значение параметров и характеристик, а также технические описания объектов авиационной техники. В работах второго — исследуют процесс исторического развития, анализируют отдельные факты, вскрывают тенденции развития и изучают его закономерности. Типичными для первого направления являются книги В. Б. Шаврова [16, 17]; второе — ярко выражено в трудах В. Ф. Болховитинова [3] и В. С. Пышнова [13]. Авторы попытались изложить исторический материал, насколько это возможно, в плане второго направления.

Понятно, что историческому материалу предшествуют основные положения теории модификаций: определения понятий, классификация видов, закономерности развития, основы планирования модификаций, видоизменение их характеристик. Не зная теории, понять исторический материал было бы значительно труднее.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ТЕОРИЯ МОДИФИКАЦИЙ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МОДИФИКАЦИЙ

Под теорией модификаций понимается систематизация обобщенных знаний из области диалектики машин, основных понятий, классификации различных видов модификаций, исследования видоизменений их основных характеристик, методология планирования модификаций. Неотъемлемой частью теории являются методы экономического обоснования модификаций и система критериев для сравнения их эффективности с базовыми самолетами. Заметим, что теория модификаций является частью общей науки о проектировании самолетов, а не самостоятельной областью знаний, подобно тому как история модификаций органически связана с историей авиации. При этом развитие модификаций так же, как исторические процессы развития авиации в целом, носят в отдельных странах различный характер, обусловленный технической политикой этих стран.

Изложение темы иллюстрируется примерами из практики проектирования модификаций; которая показывает, что модификации не случайное явление, а объективная закономерность существования техники.

1.1. Понятия и терминология

Ниже приведены определения примененных в книге понятий и терминов, которые позволяют уточнить встречающиеся спорные, а порой ошибочные толкования и прежде всего самого понятия «модификации» (словарное его определение также нуждается в развитии).

В практике модификациями иногда называют самолеты, отличающиеся компоновкой салонов или комплектацией оборудования. В других случаях за модификации принимают самолеты оригинальных конструкций, представляющие собой новую, более совершенную модель самолета того же поколения. При этом

забывают, что семействам модификаций, как правило, свойственны общие признаки, характеризующие аэродинамическую компоновку, архитектурные формы, схему самолета, основные параметры его частей (исключением являются редко встречающиеся модификации с заменой крыла). Вот достаточно яркий пример: один из исследователей определил 4 модификации одного широко известного самолета, другой — 9, третий — 23. И это объясняется тем, что первый не причислял к модификациям самолеты, действительно к ним относящиеся, а третий учел и компоновочные варианты.

Встречается ошибочное утверждение, что изменение дальности полета — это будто бы изменение назначения самолета. Целевое назначение связано с целевой нагрузкой, а изменение дальности полета — это лишь изменение области применения. Другое ошибочное утверждение основано на предположении, что модификацию самолета, связанную с увеличением дальности полета, можно рассматривать, абстрагируясь от изменения нагрузки. На самом деле изменение дальности приводит к увеличению нагрузки при эксплуатации самолетов на линиях с протяженностью, превышающей расчетную (соответствующую дальности полета с максимальной коммерческой нагрузкой). И это весьма существенно, поскольку достигается значительный общий эффект.

Энциклопедическое определение разграничивает понятия «модификация» и «модификации». Первое из них означает преобразование, приводящее к появлению новых свойств, второе — качественно различные состояния предмета. Применительно к самолетам можно предложить расширенное определение, учитывающее сложившееся в практике толкование этого понятия.

Целесообразно дать определение основным разновидностям модификаций (остальные в разделе 1.3), а также напомнить о понятии модернизации с целью более четкого их разграничения.

Модернизация — обновление в нашем случае базовых машин в соответствии с новейшими нормами и требованиями.

Модификацией называют как процесс видоизменения, так и сам самолет, отличающийся от базового одним или несколькими из следующих признаков:

- целевым назначением или специализацией;
- областью применения (средние или дальние самолеты);
- основными характеристиками;
- более совершенным техническим исполнением;
- более высокой экономической эффективностью*.

Конструктивное модифицирование — создание разновидностей базового самолета на основе максимальной унификации.

* Главное отличие определения от приведенных в словарях и некоторых работах заключается не только в расширении и конкретизации понятия модификации, но в причислении к ним и модификации, отличающейся целевым назначением, что учитывает современную практику их разработки.

В процессе жизненного цикла конструкция почти любого самолета по тем или иным причинам видоизменяется. Причины эти различны для модификаций и других видов конструктивных изменений и меняются с развитием модификаций.

Специализированные модификации отличаются от базового самолета целевым назначением (грузовые или военные модификации пассажирских самолетов и т. п.).

Усовершенствованные модификации могут быть двух видов, отличающихся от базового самолета, — одни из них характеризуются техническим, другие — экономическим усовершенствованием.

Комплексными модификациями называются те, на которых проведено одновременно техническое и экономическое усовершенствование.

Дальние модификации (названные по аналогии с магистральными самолетами ДМС) предназначены для дальних рейсов (с протяженностью большей, чем у базового самолета). Максимальную коммерческую нагрузку сохраняют или изменяют.

Ближние модификации предназначены для более коротких рейсов, чем те, на которых эксплуатируются базовые самолеты. При этом коммерческую нагрузку и число пассажиров увеличивают без изменения или с изменением длины фюзеляжа. (В первом случае за счет повышения плотности компоновки, что допустимо для эксплуатации на коротких линиях.) Возможны ближние модификации и с сохранением коммерческой нагрузки и числа пассажиров (уменьшение дальности ради расширения области применения), тогда изменения касаются взлетно-посадочных и других устройств с целью эксплуатации аэродромов более низких классов, которыми обычно располагают более короткие линии. В этих случаях возможны изменения, связанные с повышением ресурса, лимитируемым числом посадок, которое возрастает при уменьшении дальности полета.

Грузопассажирские модификации предназначены для одновременной транспортировки пассажиров и грузов (объем перевозок последних на пассажирских самолетах составляет заметную долю от общего объема грузовых перевозок). К их числу относятся конвертируемые (или преобразуемые) модификации, в компоновке и конструкции которых предусмотрено быстрое (в аэродромных условиях) переоборудование части пассажирских салонов в грузовые помещения.

Грузовыми модификациями называются модификации, в которых пассажирские салоны полностью переоборудованы в грузовые помещения, усилены полы, вмонтированы погрузочно-разгрузочные устройства и т. п. В конструкцию таких фюзеляжей встраивается больших размеров грузовая дверь для загрузки стандартных контейнеров и грузов на поддонах (такие же двери иногда встраиваются в фюзеляж грузопассажирской модификации).

Военными модификациями пассажирских самолетов называют переоборудованные и используемые в военно-воздушных силах самолеты. К ним можно отнести: военно-транспортные или десантные модификации (например, Ил-12Д), самолеты различного военного назначения. Известно и обратное: создание пассажирского реактивного самолета (например, Ту-104) на базе бомбардировщика (Ту-16).

Проектные производные — модификации, одновременно создаваемые с базовым самолетом на основе метода модульного проектирования. Базовый самолет отличается в этих случаях от модификаций тем, что его параметры оптимизируются, а некоторые параметры модификаций могут быть не вполне оптимальными.

Модульное проектирование семейства модификаций — объединение комплексов компонентов (например отсеков фюзеляжа), скомплексированных при проектировании базового самолета с целью:

- расширения транспортных возможностей самолетов;
- более гибкого удовлетворения требований воздушного транспорта;
- максимальной унификации;
- создания семейства или гаммы самолетов.

Тип самолета — самолет оригинальной конструкции, отличающийся также параметрами, размерами, характеристиками.

Модель самолета имеет несколько определений, например масштабированная копия, повторяющая все архитектурные формы и изготавливаемая из дерева или металла. По назначению они бывают сувенирными, тактическими, аэродинамически подобными (предназначенными для испытаний в аэродинамических трубах).

В данной работе модель самолета — образец, служащий эталоном для серийного производства. Новая модель самолета в одних случаях определяет собой более высокий уровень развития авиационной техники, в других — знаменует появление последующего поколения самолетов.

Базовым самолетом называют ту новую модель или новый тип, на основе которого разрабатывается одна модификация или их семейство. Главное отличие базового самолета новой модели от модификации заключается в том, что при его создании реализуется большое число нововведений, приводящих к более высокому техническому совершенству, к новому уровню техники. В модификациях лишь повторяются те же нововведения, она находится на том же общем уровне совершенства. Производят лишь частичное усовершенствование или изменяют область применения, или повышают производительность, или целевое назначение.

Жизненный цикл самолета — период с момента зарождения идеи до снятия с эксплуатации базового самолета.

Этот цикл подразделяют на ряд стадий, связанных с разработкой, постройкой и испытанием базового самолета, его производством и эксплуатацией.

Стоимость жизненного цикла самолета определяют как стоимость самолета, включающую расходы на его разработку, и стоимость его эксплуатации за 20-летний период.

Область применения модификаций — комплекс линий (их протяженность), для эксплуатации на которых предназначен данный самолет (см. классификацию самолетов по дальности полета, раздел 1.3).

Расчетная дальность полета соответствует наибольшей дальности с максимальной массой коммерческой нагрузки. Размеры, прочность и масса самолета, а также все виды его эффективности (весовой, энергетической, экономической) определяются этой характеристикой.

1.2. Диалектика машин

Рассмотрение основных положений диалектики машин как введение в теорию модификаций выявляет направления и закономерности развития техники.

Диалектический характер свойствен развитию и машин, и наук. Здесь проявляются действия таких законов диалектики, как закон взаимосвязи и обусловленности явлений, скачкообразного перехода количества в качество и многие другие. Развитие техники носит двойственный характер — эволюционный (или непрерывный) и революционный (скачкообразный). Это теперь очевидно, но встречались и иные определения: «... до недавнего прошлого развитие техники носило эволюционный характер, т. е. осуществлялось путем постепенных, порой длительных изменений»*. Если рассматривать технику в широком плане, то скачки были связаны с появлением новых видов энергетических устройств: паровых, электрических, внутреннего сгорания, реактивных, атомных. Последующий скачок, положивший начало НТР, связан не только с развитием энергетической базы, но и с развитием новой науки — кибернетики и электронно-вычислительной техники. Одна из отличительных и может быть главных особенностей НТР заключается в математизации самой разнообразной деятельности человека.

Таков характер технического прогресса в различных отраслях машиностроения, в том числе и авиационной. С появлением новых двигателей происходило скачкообразное изменение всех размеров и параметров самолета. Интересно, что предельный тоннаж самолетов с различными типами газотурбинных двигателей возрастал с каждым поколением вдвое, что характеризует скачкообразный характер изменения размеров самолета:

* Ефимов К. Научно-технический прогресс — решающий фактор повышения эффективности общественного производства. — Плановое хозяйство, 1973, № 11, с. 8.

Ту-104, Де Хэвилленд «Комета», Бристоль «Британия» — 70—80 т; Ил-62, Боинг-707, Дуглас DC-8, Виккерс VC-10—140—160 т; Боинг-747-SP, Боинг-747—100 и его модификации — 300—333 т.

Сказанное иллюстрирует проявление законов диалектики при глобальном рассмотрении развития различных видов техники. Однако они проявляются и на всех стадиях жизненного цикла любого технического изделия, в данном случае самолетов. К основным стадиям следует отнести проектирование, производство и эксплуатацию, т. е. периоды их зарождения и создания, а также заключительный этап непосредственного их использования.

Вначале кратко рассмотрим действие законов диалектики на этих этапах, а затем в соответствующих разделах вернемся к ним, чтобы подробнее показать многогранное проявление законов диалектики и их влияние на процесс развития техники. Проявление этих законов при проектировании легче заметить, если рассматривать само проектирование не только как процесс, подобно авторам различных работ *, но и как науку. Тогда проектирование представится системой знаний о свойствах объектов проектирования, принципах и методах выбора их параметров.

Диалектический характер проектирования выражается в проявлении законов непрерывного движения и развития, во взаимосвязи и обусловленности явлений единства и борьбы противоположностей. Последний закон, в частности, лежит в основе методов оптимального разрешения противоречий и поиска компромисса на основе соответствующих критериев, что составляет, по существу, главное содержание проектирования машин.

В период производства диалектика машин проявляется в противоречии между возрастанием сложности их конструкции и ростом периодов их создания с одной стороны, и быстрым наступлением их морального старения — с другой.

В период эксплуатации противоречия возникают между целесообразностью минимального типажа (т. е. разновидностей), упрощающего и удешевляющего обслуживание машин, и быстрым появлением модификаций, способствующих повышению экономичности, но увеличивающих число типов. Здесь лишь указаны основные положения, подробнее речь пойдет ниже (см. п. 1.2.2).

1.2.1. Основные направления развития техники

В развитии любого вида техники можно различать два основных направления: первое (главное) связано с разработкой моделей, определяющих собой появление нового поколения машин; второе — с разработкой модификаций.

* Например, «Политехнический словарь» под редакцией академика И. И. Артоблевского (М.: 1972, Сов. энциклопедия) рассматривает проектирование только как «процесс, который включает разработку комплексной технической документации...» (далее следует подробный перечень этой документации).

Первое направление существует столько же, сколько сами машины. Второе появилось несколько позже, но и оно во многих отраслях техники зарождалось в период становления, правда, проявлялось сначала относительно слабо. В ходе технического прогресса это направление развивалось, а в период НТР с появлением сложнейших машин, автоматических линий и систем машин роль модификаций неизмеримо возросла. Современные достижения различных отраслей техники во многом являются результатом развития второго направления.

Главное направление отличается тремя основными положениями, справедливыми и для многих видов техники. Так, создание новых моделей каждого вида машин основано:

- 1) на прогрессе в науках и во многих смежных отраслях техники (электроника, химия);
- 2) на накоплении в самолетостроении и реализации большого числа нововведений, главным образом тех, которые являются собой событие.

Эти два положения в свою очередь приводят к насыщению машин весьма сложными и дорогостоящими системами оборудования и управления; к появлению и применению новых и вначале дорогих материалов, например, композиционных; к усложнению технологических процессов.

В результате этого растет стоимость разработки новых образцов самолетов и стоимость каждого серийного экземпляра; в итоге — резко увеличивается удельная стоимость (у самолетов, например, одного килограмма конструкции).

Третья черта главного направления развития машин — стремление повысить эффективность путем резкого увеличения производительности. Рост последней должен быть больше роста удельной стоимости и, следовательно, приводить к снижению стоимости единицы производительности. В авиации это достигается значительным увеличением размера (тоннажа) самолетов каждого последующего поколения.

Следствием первых двух положений является скачкообразный характер главного направления развития техники, вызывающий качественный скачок при появлении новых моделей машин.

Главное направление в развитии любого вида техники таит в себе и главное противоречие, отражающее диалектику машин. С одной стороны, стоимость новых моделей машин по указанным причинам достигает значительной величины и зависит, кроме того, от конструктивной неизменности (в процессе серийного производства) и многотиражности. С другой стороны, машины быстро устаревают морально, особенно в период НТР, и необходимость непрерывного роста эффективности требует постоянного их обновления. Подчеркнем, что основные факторы, определяющие экономическую эффективность эксплуатации, это — стоимость самолета и топлива.

Второе направление в развитии техники — разработка модификаций на основе базовых машин отличается созданием усо-

вершенствованных и специализированных машин на основе максимальной унификации с базовым самолетом. На модификациях сохраняются все нововведения, предусмотренные проектом базового самолета, и частично реализуются последующие, разрабатываемые в течение переходного периода до появления новых моделей (например, устанавливаются вновь создаваемые более эффективные двигатели). Происходит эволюционное совершенствование машин. Словом, для создания технически усовершенствованных модификаций требуется относительно небольшое число нововведений, поэтому каждая из них, как правило, не приводит к скачкообразному изменению технического уровня.

При многократной модификации базового самолета в такой степени изменяется его тоннаж, рейсовая производительность и многие другие характеристики, реализуется в общей сложности столько нововведений, что последняя из модификаций, хотя и сохраняет номер базового самолета, но практически является новой моделью и может быть отнесена к самолетам последующего поколения (подробно о поколениях см. 3.1). Примером может служить самолет Боинг-707 [33].

Следует подчеркнуть, что модификации — это не только одна из форм развития самолетостроения, но и возможность сдерживать прогрессирующую стоимость самолетов (стоимость разработки глубокой модификации не превышает 15—30% стоимости разработки базового самолета новой модели или типа, а малой модификации — еще меньше).

Причины появления модификаций. Кроме перечисленных особенностей второго направления существуют и другие причины появления модификаций. К ним относятся:

- необходимость систематического обновления парка машин и устранение этим основного противоречия в развитии главного направления, т. е. необходимость непрерывного роста производительности и эффективности в периоды между появлением новых моделей машин;

- необходимость продлить срок морального устаревания самолета путем повышения его технического уровня и экономической эффективности;

- значительно меньшая стоимость разработки модификаций, которая снижает себестоимость перевозок, повышает рентабельность и способствует быстрой окупаемости затрат на их создание;

- значительно меньшие сроки создания модификаций;

- необходимость все более гибкого и эффективного удовлетворения возрастающего разнообразия требований, ведущая к созданию гаммы взаимодополняющих друг друга машин;

- необходимость специализации машин, т. е. создание модификаций с изменением целевого назначения, а также необходимость расширения области применения базовых машин;

- сложность долгосрочного прогнозирования роста требований. В гражданской авиации это требования к грузоподъемно-

сти, пассажировместимости и дальности полета, а в конечном счете — к размерам самолета. Связано оно с прогнозами роста объема перевозок.

Следовательно, появление модификаций отражает объективные изменения в системе воздушного транспорта: рост объема перевозок, повышение плотности пассажирского потока, появление новых линий, необходимость в специализации машин.

Второе направление развития техники приводит к тому, что любая даже очень хорошо спроектированная машина должна обладать потенциальной возможностью дальнейшего усовершенствования в процессе своего жизненного цикла. Это и должно учитываться на ранней стадии проектирования. Разумеется, не все машины видоизменяются, начиная с первого выпуска, т. е. исходный вариант служит базовым и последовательно или параллельно порождает новые и более совершенные модификации, а сам сохраняет свой облик. В практике есть и другие примеры: машины, уже снятые с серийного производства, но далеко еще не исчерпавшие свой ресурс, подвергаются модификации и придают им новые возможности путем изменения целевого назначения, области применения или отдельных характеристик, в том числе и производительности.

Для изучения особенностей двух направлений историю отечественной пассажирской авиации удобно разделить на два периода: довоенный (20—30-е годы) и послевоенный, начавшийся выходом на воздушные линии в 1946 г. самолета Ил-12, спроектированного в последние годы войны. Такое подразделение не ограничено хронологией, периоды имеют и исторические отличия.

В довоенный период разрабатывались самолеты только одной модели — с поршневыми двигателями, с примерно однотипной аэродинамической компоновкой крыла. Различались они мощностью и конструкцией моторов, конструктивными особенностями самолетов и, главное, их размерами. Рост скорости, достигаемый с помощью более мощных моторов, и наращивание пассажировместимости (путем увеличения размеров самолета) приводили к росту производительности.

В послевоенный период зарождались и развивались реактивные летательные аппараты и разрабатывались многие принципиально различные модели самолетов, которые отличались типами двигателей (турбовинтовые, турбореактивные, турбовентиляторные с малой, а затем высокой степенью двухконтурности), аэродинамикой стреловидных крыльев, герметическими фюзеляжами различной конфигурации, принципиально новыми системами оборудования и т. п.

В довоенные годы было много типов пассажирских самолетов (в большинстве маломестных — на 2—4 кресла), а тираж каждого был ограничен десятками и менее машин. Исключение составляли самолет связи АИР-6 (2—3-местный) конструкции А. С. Яковлева, которых было построено 468 экз. Самолеты К-5

конструкции К. А. Каленина (на 8 мест) были построены в количестве 260 машин, самолетов Путилова «Сталь-3» (на 6 мест) — 79 машин, а самолетов АНТ-9 (на 9 мест) конструкции А. Н. Туполева было выпущено около 70*.

В довоенный период «основным пассажирским самолетом, прослужившим до 1940 г., был самолет К-5» [16]. Поэтому самолеты конструкции К. А. Калинина и их модификации были приняты для анализа двух направлений в развитии самолетов того времени (рис. 1.1). Другой массовый самолет, пришедший на смену К-5, был ПС-84**, переименованный (в сентябре 1942 г.) в Ли-2. Он имел большое число специализированных модификаций, а суммарный его тираж исчислялся несколькими тысячами.

На графике (рис. 1.1) показаны периоды появления новых моделей самолетов и их модификаций, а также рост часовой производительности пассажирских самолетов (грузовые, десантные и санитарные модификации на нижней кривой отражения не получили). Скачкообразный рост производительности связан в основном с новыми моделями самолетов, отличающихся пассажироместимостью и скоростью полета (число пассажиров указано около названия самолетов, а скорость возрастала от 130 у К-1 до 180 у К-5 и до 240 км/ч у Ли-2).

Напомним, что К-3 (1927 г.) был первым санитарным самолетом в нашей стране, а под наименованием К-4 выпускались три модификации: пассажирская, фотосъемочная (для составления карт) и санитарная. Модификация К-4 отличалась от базового (К-1) вновь вводимой металлической конструкцией крыла, оперения и части фюзеляжа, а также двигателем, что привело к росту скорости и дальности полета. На пассажирской модификации К-4 в 1928 г. был выполнен рекордный для того времени перелет по маршруту Харьков — Москва — Иркутск — Харьков.

Оба рассматриваемых направления в развитии авиационной техники в **послевоенный период** анализируются на примере отечественных магистральных самолетов средней дальности полета (СМС), предназначенных для линий с наиболее интенсивным пассажирским потоком (например, Москва — Адлер), и на примере зарубежных дальних магистральных самолетов (ДМС). Как видно из рис. 1.2 и 1.3, чем больше период появления новых моделей (базовых) самолетов, тем больше возможности и потребности в развитии модификаций. Приведенные здесь же

* Самолет АНТ-9 вошел в историю двумя примечательными фактами:

под названием «Крылья Советов» он в 1929 г. совершил перелет по маршруту Москва—Травемюнде—Берлин—Париж—Рим—Марсель—Лондон—Париж—Берлин—Варшава—Москва протяженностью 9037 км за 53 летних часа со средней скоростью 177 км/ч;

АНТ-9 положил начало туполевскому методу проектирования пассажирских самолетов на базе ранее созданных военных машин (были использованы крыло и оперение военного самолета Р-6).

** Строился по лицензии американского самолета DC-3.

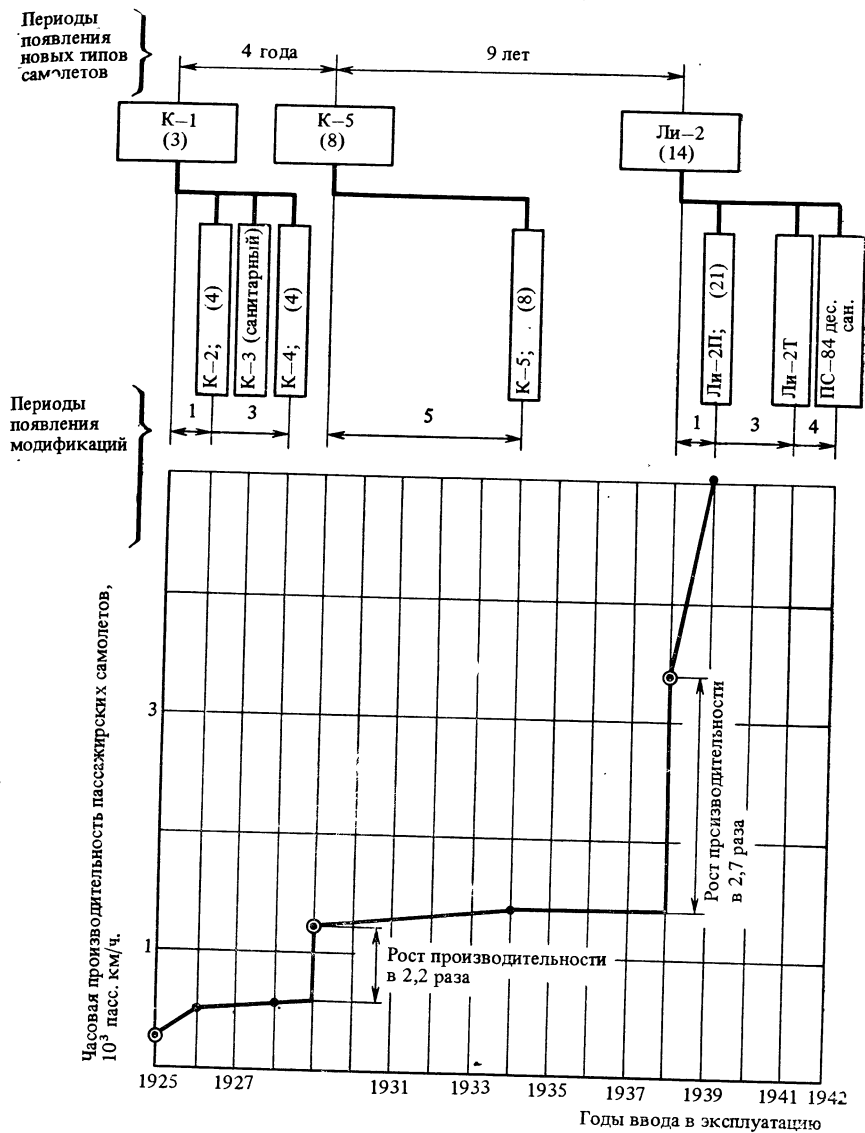


РИС. 1.1. Два направления в развитии авиационной техники (а) и рост часовой производительности (б) на примере отечественных самолетов довоенного периода

В скобках указано число пассажирских мест

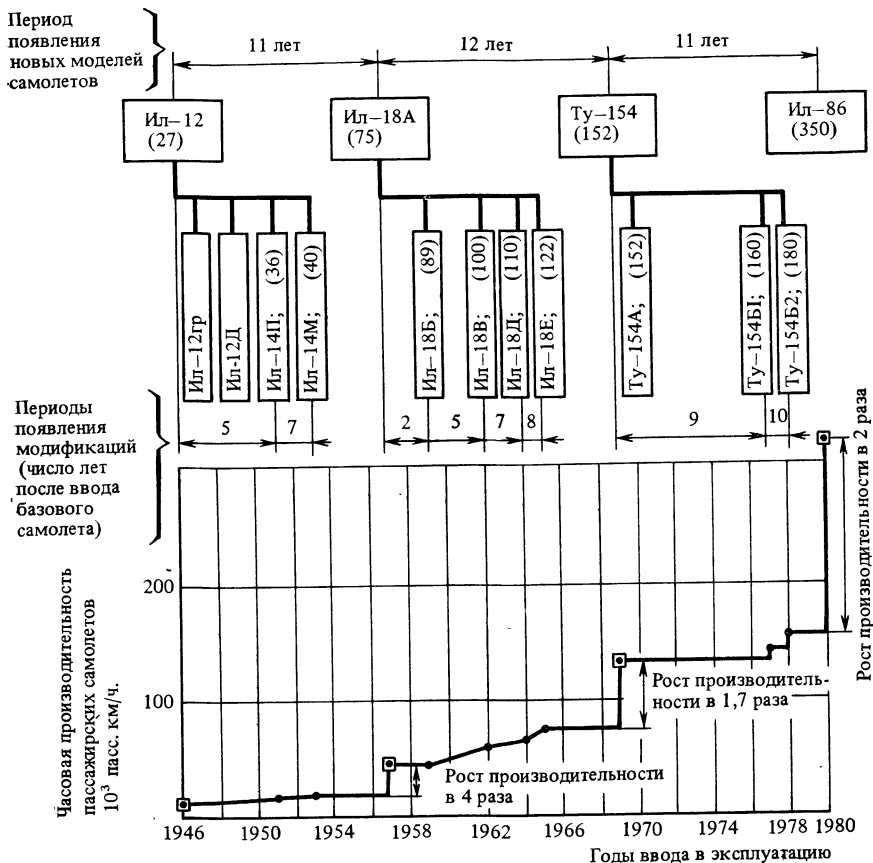


РИС. 1.2. Два направления в развитии авиационной техники (а) и рост часовой производительности (б) на примере отечественных пассажирских средних магистральных самолетов (СМС) послевоенного периода

кривые роста часовой производительности носят двойственный характер: плавный — при разработке модификаций, скачкообразный — при появлении новых моделей самолета, знаменующих собой появление последующих поколений самолетов. Модификации Ил-12 Гр. и Ил-12Д (рис. 1.2) не отражены на нижней кривой, поскольку они специализированные, а Ту-154А — технически усовершенствованная. Они из других групп классификации модификаций. По той же причине не получили отражения на нижней кривой рис. 1.3 специализированные самолеты DC-10CF и DC-10-30CF.

Некоторые исследователи, различая революционный и эволюционный пути развития авиационной техники, склонны на первое место выдвигать направление, связанное с появлением новых идей. При этом выделяют исторические скачки, связан-

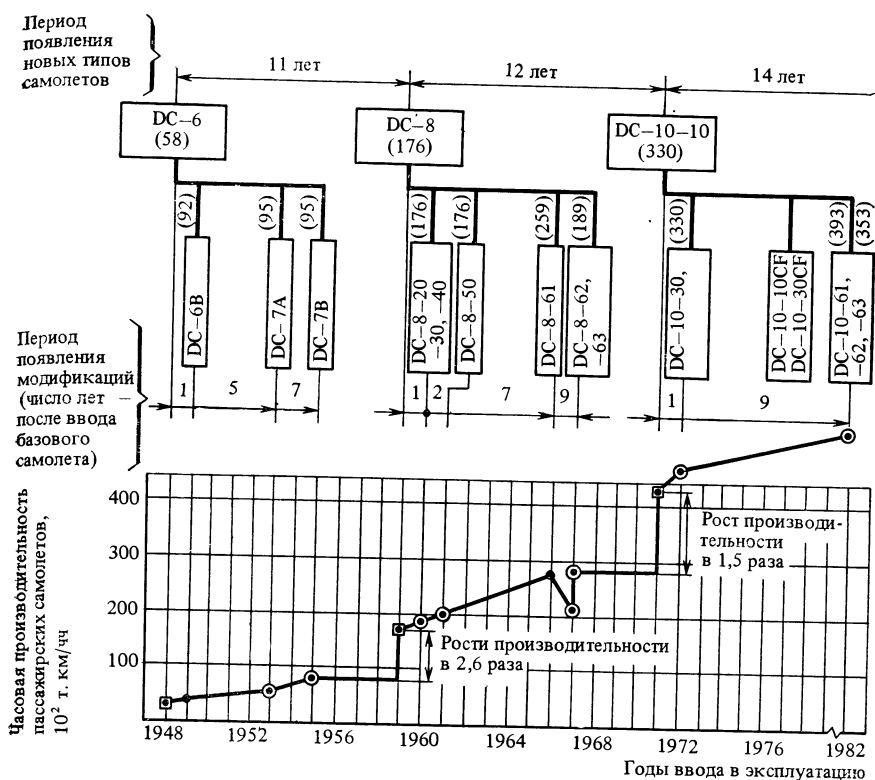


РИС. 1.3. Направления в развитии авиационной техники (а) и рост часовой производительности (б) на примере зарубежных пассажирских дальних магистральных самолетов (ДМС) послевоенного периода
В скобках указано число пассажирских мест

ные с переходом от биплана к цельнометаллическому моноплану и убирающейся схеме шасси (это привело к скачкообразному изменению скорости полета), от поршневых ко всем видам газотурбинных двигателей (скачку скорости при этом сопутствовала новая аэродинамическая компоновка стреловидного крыла), к сверхзвуковому полету на самолетах с крылом малого удлинения и, наконец, качественный скачок — к самолетам вертикального взлета и посадки. Этот подход (можно сказать глобального характера) вполне правомерен, однако для исследования роли модификаций целесообразно рассматривать два других направления и его определять как третье, структурно не связанное с предложенной схемой.

Правомерность нашего подхода основана на том положении, что к скачкам в развитии приводит не только реализация подобных идей, но и накопление большого числа нововведений. Событием, например, было появление двухконтурных двигателей,

принципиально новых систем оборудования (см. 3.1) и т. п. Аналогичные события наблюдались в области технологии, материалов, систем управления. Все это связано с новыми поколениями, появление которых принято за главное из двух рассматриваемых подходов к исследованию.

Развитие двух направлений представлено на рис. 1.2 и 1.3 схематично, на самом деле все обстоит сложнее. Например, там показано по одному типу (из новых моделей), а их много и различаются они временем появления, производительностью и эффективностью. Так, среди самолетов класса (СМС) с газотурбинными двигателями (рис. 1.2) эксплуатировались, помимо Ил-18*, самолеты Ан-10 и Ту-104.

На приведенных схемах (рис. 1.2 и 1.3) показаны модификации многотоннажных СМС и ДМС. Однако их разработка типична для самолетов всех классов и всех периодов как довоенного, так и послевоенного развития авиации. Например, один из легких поршневых самолетов-долгожителей Ан-2 (конструкции О. К. Антонова), созданный в 1940-е годы, имел 30 модификаций, в т. ч. сельскохозяйственную. Первенец реактивной авиации местных воздушных линий — Як-40 (конструкции А. С. Яковлева), созданный в 1960-е годы, имеет 7 модификаций, в том числе грузовую и административную.

Отличительной особенностью новых моделей самолетов (или последующих поколений) является тип силовой установки, как это и принято при рассмотрении первого направления в развитии авиационной техники (рис. 1.2 и 1.3). Так, при переходе от поршневых к турбовинтовым, а затем к реактивным двигателям изменилась аэродинамика крыла (стреловидность, толщина), конструкция самолета (герметичность фюзеляжа), прочность (появились повторные нагрузки и усталостные явления), по-новому решаются проблемы управляемости, устойчивости и многое другое. Характерным параметром могла бы служить скорость полета. При переходе от поршневых к газотурбинным двигателям она значительно изменилась, а затем с каждым поколением реактивных пассажирских самолетов возрастала на величину, соответствующую примерно 0,05 М. Однако при переходе к самолетам четвертого поколения предвидится не рост скорости полета, а скорее ее снижение ради уменьшения расхода топлива на единицу производительности. За базовый параметр, характеризующий развитие машин, нами принята производительность. Понятно, что для иных видов техники базовым параметром может быть иной, но всегда есть какой-то один определяющий; остальные, с ним взаимосвязанные, играют подчиненную роль.

* «20 апреля 1979 г. в международном аэропорте Шереметьево на вечную стоянку поставлен самолет Ил-18 — крылатый лайнер, составивший эпоху в истории отечественной авиации. Открытие этого своеобразного памятника приурочено к 20-летию со дня выхода на воздушные трассы самолета, который долгое время был самым распространенным кораблем нашей гражданской авиации» (Известия, 1979, 25 апр.).

(Заметим, что базовые показатели эффективности изменяются в зависимости от условий и этапов развития авиационной техники.)

Рассмотрение кривых изменения принятого нами параметра на приведенных рисунках позволяет сделать следующие выводы.

1. При одной и той же модели двигателей развитие протекает плавно. Оно было связано с совершенствованием газодинамических процессов двигателей и аэродинамики самолета, с появлением новых материалов и прогрессивной технологии, с систематическим ростом размеров самолетов. Следствием всего этого является увеличение производительности.

2. При появлении новых моделей двигателей, а также в результате нововведений, особенно тех, которые представляют собой событие, развитие приобретало скачкообразный характер. Значительное ускорение темпов эволюционного развития на современном этапе (увеличение наклона кривых) обусловлено ходом научно-технической революции.

Таким образом, прогресс гражданской авиации в значительной степени определяется достижениями в двигателестроении.

При появлении новых моделей происходило скачкообразное изменение не только производительности, но и некоторых других характеристик самолета. Так, взлетная масса самолетов, указанных на рис. 1.2, изменялась с каждой новой моделью самолетов примерно в той же мере, что и производительность, другие характеристики самолета — в иной степени.

1.2.2. Периоды появления новых моделей самолета и их модификаций

Периоды создания магистральных пассажирских самолетов — от предварительных изысканий и накопления необходимого числа нововведений до начала пассажирских перевозок на самолетах новой модели — занимают многие годы. Периодичность же появления модификаций пассажирских самолетов связана с ростом объема перевозок, появлением новых линий, необходимостью специализации машин и возможностью периодического совершенствования средств воздушного транспорта. Эти периоды невелики, но продолжительность их не так стабильна, как продолжительность периодов появления новых моделей самолетов.

Из большого числа факторов, оказывающих влияние на характер направлений развития авиационной и других отраслей техники, можно выделить важнейший, а именно — общеэкономическую ситуацию. Она оказывает решающее влияние на продолжительность периодов появления новых моделей машин и их модификаций. А в конечном счете общеэкономическая ситуация является исходной для решения вопроса об однотипности или разнотипности парка машин или, точнее, решения чисто экономической проблемы типажа, тесно связанной с периодом появ-

ления новой техники, однако ее влияние имеет свои «за» и «против» и различные толкования. Заметим также, что решение проблем периодичности обновления машин, типажа и унификации взаимообусловлены, но различно решаются в отдельных отраслях техники.

Известно, что, с одной стороны, число разновидностей базовых машин и их усовершенствованных модификаций (не считая специализированных), одновременно находящихся в эксплуатации, экономически целесообразно сводить до необходимого минимума, предусматривать максимальную их унификацию и сравнительно редко производить смену моделей. Минимальное разнообразие видов упрощает использование машин, техническое обслуживание парка самолетов, обеспечение запасными частями и материалами. Все это приводит к минимальной стоимости как производства, так и эксплуатации.

Однако, с другой стороны, систематическое обновление конструкции машин, сокращающее периоды появления новых моделей и их модификаций, усовершенствование самолетов приводит к максимальному разнообразию парка, но способствует развитию техники и повышению производительности машин, их экономической отдачи.

В различных отраслях техники противоречие разрешается с учетом конкретных особенностей, а главное, на основе определения суммарного экономического эффекта. В одних случаях отрицательный эффект частой смены моделей (приводящий к многотипности) превосходит положительный, в других — наоборот.

Большие периоды эксплуатации и малотипность парка машин наблюдаются в отечественном автомобилестроении. Член-корреспондент Академии наук СССР, профессор Д. П. Великанов [5] утверждает, что относительно редкая смена моделей автомобиля, эксплуатация наименее разнообразного парка и в основном базовых машин экономически более целесообразна. С этим можно согласиться лишь при определенных условиях.

В авиационной технике, напротив, к экономическому эффекту приводит систематическое совершенствование самолетов, сравнительно частое обновление парка. Именно с этим связано стремление к наибольшему среднегодовому налету самолетов, который (для всего парка) достигает 3200—3600 ч, т. е. до 10 ч в сутки. И делается это, в частности, с целью более быстрого списывания морально устаревших машин и замены их более совершенными.

Можно объяснить сказанное следующим. Самолет — очень дорогое средство транспорта и в производстве, и в эксплуатации. Это приводит к необходимости непрерывного повышения его производительности, к снижению расходов топлива и более гибкого удовлетворения потребностей отдельных линий. С другой стороны, несравненно меньший парк машин (чем в автомобильной технике) облегчает решение всех перечисленных выше проб-

лем, возникающих при увеличении разновидностей, и приводит к относительному снижению отрицательного эффекта.

Размеры и тоннаж самолета, в отличие от многих видов транспорта, находятся в большей зависимости от протяженности линий, для эксплуатации на которых он предназначен. Например, один и тот же автомобиль грузоподъемностью пять тонн может совершать рейсы протяженностью как 300, так и 3000 км, что касается самолетов, то это будут совершенно разные машины и по размерам, и по тяге двигателей, и по базированию. При меньшем разрыве в дальности полета требуется более тонкое согласование размерности самолета с протяженностью линий, с условиями эксплуатации. С увеличением цены на топливо возрастает потребность в более строгом согласовании и возрастает экономически целесообразное число типов. А решаются такие задачи также путем разработки модификаций. Этим и объясняется то, что преобладающую часть мирового авиационного парка пассажирских самолетов составляют именно модификации и лишь небольшую — базовые самолеты.

Когда речь идет о гибком удовлетворении требований, то имеют в виду не только протяженность воздушных линий, но и многое другое, например, плотность пассажирского потока на различных направлениях, климатические условия и прочее. Все это относится к числу объективных причин появления и широкого развития модификаций (главная же — рост эффективности).

Итак, большие семейства модификаций приводят к широкому разнообразию парка машин. А как же тогда обстоит дело с проблемами унификации, с **проблемой типажа**? Оказывается, что унификация не препятствует развитию модификаций. Например, главная из этих проблем — унификация двигателей — решается путем создания целой гаммы самолетов различной области применения, одни из которых — с двумя, другие — с тремя, а самые многотоннажные — с четырьмя двигателями той же самой конструкции. Стоимость двигателей, а также систем оборудования и управления в прошлом составляла от 40 до 60% стоимости самолета. Теперь соотношение несколько изменилось, но все же сохранилось значение подобной унификации двигателей и систем оборудования. Объем унификации с каждым поколением самолетов так расширяется, что не исключено в дальнейшем проектирование даже одного и того же крыла для самолетов различной дальности полета.

Если вернуться к проблеме типажа, то следует отметить тесную связь ее решения с исследованием вопросов о потребном размере самолета, прежде всего его пассажировместимости. Оба эти вопроса взаимосвязаны и каждый из них существенно влияет на развитие пассажирской авиационной техники. Решение этих проблем начинается с разработки технических требований и проводится комплексно.

Проблема пассажировместимости, или проблема размера самолета, относится к числу наиболее сложных, так как носит

характер долгосрочного прогнозирования. Сложность заключается в том, что выбор числа пассажирских мест для каждого класса самолетов должен определяться не положением на воздушных линиях, существующим в данный момент, а тенденцией развития воздушных сообщений и потребностью на ближайшие 8—10 лет. Размеры самолета приходится поэтому выбирать так, чтобы они совпадали с требованиями спроса воздушных линий в течение значительной части периода его эксплуатации. Требования спроса определяются с учетом роста объема перевозок, изменения плотности пассажирского потока и потребной в будущем частоты рейсов. Сложность этих проблем заключается, таким образом, в экономической обоснованности прогнозов.

Если вопрос о многотипности самолетного парка рассматривать с учетом экономической целесообразности (а решать его можно только в этом плане), то следует выделить два независимых вопроса: о числе классов и числе типов самолетов внутри каждого класса. Кроме того, в эксплуатации находятся самолеты нескольких поколений, что увеличивает число типов. Однако предметом изучения в данном случае могут служить лишь самолеты одного технического уровня. При оптимизации числа типов учитывается, что конкуренция приводит к росту технического совершенства как при проектировании, так и при дальнейшем развитии модификаций, а также то, что лишь при массовой эксплуатации в полной мере выясняются достоинства и недостатки самолетов и происходит как бы естественный отбор. В процессе этого отбора лучшие выдерживают тираж, исчисляющийся многими сотнями экземпляров (Ил-18, Боинг-707), а тираж неудачных или «опоздавших» не достигает и ста («Вэнгард» и др.). В прошлом отечественная и зарубежная практика показала целесообразность одновременной эксплуатации двух однотипных и равноразмерных самолетов с примерно равной пассажироместимостью (например, Ил-18 и Ан-10, Боинг-707 и DC-8). Такой подход сохранился на западе и в период широкофюзеляжных самолетов (DC-10—10 и L-1011), но там подобное объясняется конкуренцией.

С чем связаны **периоды появления новых моделей** самолета? Известно, что от появления новых идей или новых теоретических разработок до создания технических систем или инженерных устройств проходят многие годы. Вот почему периоды между поколениями самолетов столь значительны. Они связаны с необходимостью накопления большого числа нововведений, с потребностью решения множества научно-технических проблем. Заметим, что из их числа всегда выделяется какая-то одна, наиболее главная и сложная (не считая, понятно, основной и вечной — эффективности). Такими, например, были проблемы прочности (вибро- и усталостной), теплового барьера, роста тяги (одного двигателя и силовых установок в целом), совершенствования аэродинамики (звуковой барьер), технологичности (монолитные крупногабаритные панели, сотовые и другие конструкции). Все

упомянутые проблемы неисчерпаемы, изучение их продолжается. В основном они решаются (в различной степени) на каждом этапе развития, а затем к ним вновь возвращаются. Так, тягу двигателей вначале от 7000—8000 довели до 12 000, затем до 20 000—25 000, теперь работают над двигателями с тягой значительно большей. Аналогично с длиной панели когда-то прогрессивным был предел 14 м, теперь ее размер достигает 32—34 м.

Перечисленные проблемы в равной степени относятся ко всем типам гражданской и военной авиации. Если ограничиться изучением проблем развития пассажирской авиации, то легко заметить, что при создании: а) самолетов с газотурбинными двигателями первого поколения наиболее сложной была проблема шума (как на местности, так и внутрикабинного); б) самолетов второго поколения — безопасность полетов и надежность систем; в) самолетов третьего поколения — проблема аэробусности, и в том числе сокращение времени, затрачиваемого пассажиром на путешествие «от двери до двери», сокращение времени обслуживания самолета на земле с целью увеличения его оборачиваемости и т. д. Оказалось, что сокращение времени обслуживания самолета влияет на экономичность его эксплуатации не меньше, чем увеличение скорости полета.

Периоды создания самолетов — от утверждения проекта (от принятия решения «идти вперед» — термин, принятый на зарубежных фирмах) до начала перевозок, нараставшие в прошлом, стали заметно уменьшаться. Например, период в 6,5—7 лет при создании самолетов (ДМС) второго поколения уменьшался до 3,5—4 лет у самолетов третьего поколения. Рост, а затем уменьшение периодов в прошлом отмечались и в американской печати*: «Цикл создания самолетов (от начала проектирования до начала серийного производства) в 40-х годах в среднем не превышал 4-х лет, а в 60-х — возрос до 8—9 лет». Последующее сокращение сроков можно объяснить не только накоплением опыта, развитием материальной базы, но и широким применением вычислительной техники.

Но если сроки разработки проекта, постройки и испытаний самолета сейчас сокращаются, то периоды появления новых моделей пока нет, поскольку увеличивается время исследований и поиска прогнозируемого типоразмера будущего самолета и возрастает время накопления необходимого числа нововведений. Общая же продолжительность периодов появления новых моделей самолетов**, как легко заметить при рассмотрении двух схем (рис. 1.2 и 1.3), не уменьшается. Кажется бы, что под влиянием

* Хейнеман Э. Х. — RAS, 1965, № 650, II.

** Уточним разницу между продолжительностью периодов создания нового самолета и периодом появления новых моделей машин. Первое исчисляется временем от утверждения проекта до начала перевозок, второе — сменой парка старой техники образцами новой. Разница в календарных сроках между этими явлениями объясняется дополнительным периодом исканий исследований, изучением потребности будущего рынка, накоплением нововведений.

научно-технического прогресса периоды должны убывать. Так это и происходит во многих отраслях техники. Но вот в гражданской авиации (особенно за рубежом) период между появлением самолетов третьего и будущего четвертого поколения особенно затянулся. Объясняется это рядом причин, но главная среди них — кризисные явления в экономике капиталистических стран. Следствием их было резкое снижение объема пассажирских и грузовых перевозок. Когда-то годовой прирост объема пассажироперевозок устойчиво равнялся 15%. Кризисные явления снизили его до нуля, и лишь через несколько лет он вновь стал возрастать, но достиг лишь 7% в год. Это понизило спрос на новые модели и на модификации, образовался даже избыточный резерв самолетов в общем их парке.

Периодичность появления модификаций зависит не только от роста объема перевозок, она связана и со стремлением к более гибкому удовлетворению потребности линий. Поэтому в период авиации с газотурбинными двигателями (ГТД) происходит не только последовательная, но и одновременная их разработка. Периодичность модификаций неодинакова для отдельных этапов развития, различных поколений и даже различных классов самолетов. Так, в начальный период поршневой авиации появление модификаций было эпизодичным, к концу периода — регулярным. Например, модификация Супер DC-3, одного из первых и наиболее массовых самолетов DC-3, появилась на пятнадцатом году его эксплуатации (1949 г.), а более поздних самолетов DC-6 и Ил-12 — через 3—4 года.

Периодичность модификаций самолетов с ГТД первых двух поколений у БМС и СМС 2—3 года, у ДМС — 3—5; у широкофюзеляжных самолетов многие модификации находятся в стадии проектирования (в эксплуатации — еще сравнительно немного) и пока о периодичности их появления говорить преждевременно. Уже созданные модификации появились с интервалом от трех до пяти лет.

1.3. Классификация модификаций пассажирских самолетов по назначению и по производственному признаку

Известны несколько классификаций летательных аппаратов и самолетов, в частности, с подразделением их на гражданские и военные. Затем гражданские самолеты подразделяются на виды по назначению: пассажирские, грузовые, сельскохозяйственные, спортивные. По признаку дальности полета пассажирские подразделяются на две основные группы — самолеты местных линий и магистральные самолеты. Вторая группа в свою очередь подразделяется на три класса: ближние магистральные самолеты (БМС), средние магистральные самолеты (СМС), дальние магистральные самолеты (ДМС). К этим же типам, видам и классам в равной степени относятся и модифицированные самолеты.

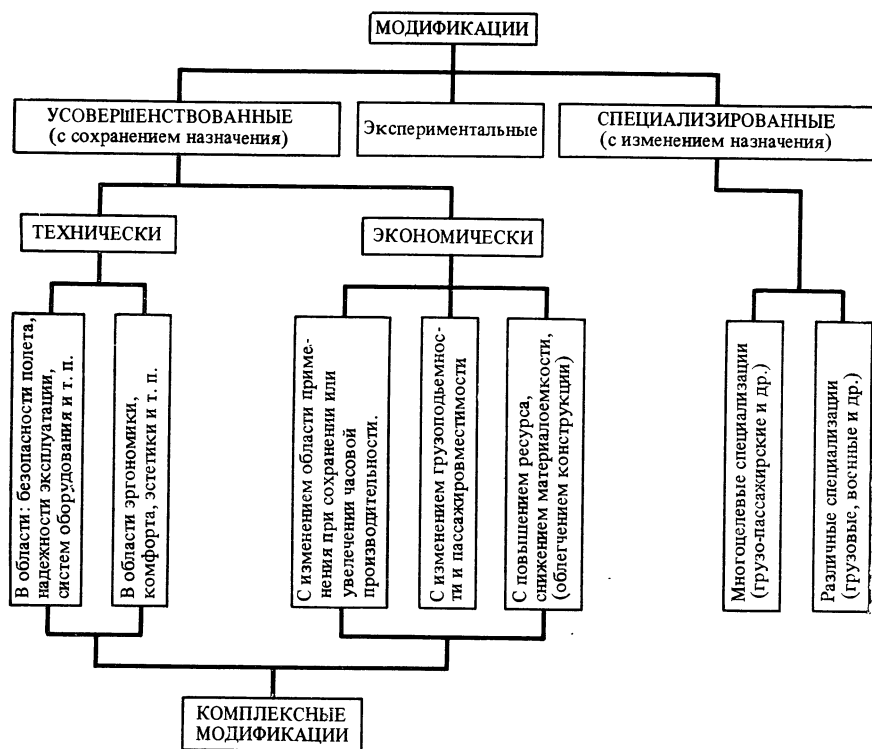


РИС. 1.4. Классификация модификаций пассажирских самолетов по эксплуатационному признаку (по назначению)

Классификации модификаций в законченном виде в печати не встречались. Предложенные ниже построены по двум признакам — назначению и характеру видоизменений. Причина этого заключена в двойственном характере самого термина «модификация». (Модификацией называют, напомним, и самолет, и проводимые видоизменения — см. раздел 1.1). Такое подразделение модификаций образует две дополняющие друг друга классификации. Первый признак назовем эксплуатационным. К нему будем относить все видоизменения, связанные с усовершенствованием самолетов и их специализацией. Вторым назовем производственным признаком, характеризующим конструктивные и производственные изменения.

Классификация модификаций по эксплуатационному признаку представлена на рис. 1.4. Существуют экономически усовершенствованные разновидности, не приведенные на рис. 1.4, например, конвертируемые модификации. Не все виды подразделяются на подгруппы, например, группа специализированных модификаций на подгруппы не подразделяется, но включает раз-

личные виды. На схеме показаны два из них, но могут быть и другие специализации.

Поскольку принятые названия не относятся к числу уже установившихся терминов, дадим им свои определения.

Технически усовершенствованные — модификации, отличающиеся от базового самолета такими изменениями, которые не влияют на его экономическую эффективность (повышение надежности и безопасности различных систем оборудования и устройств обеспечения комфорта). Причем изменения могут внедряться в серийное производство, начиная с какой-либо модификации, если эти изменения заключаются в установке дополнительного оборудования или замене на улучшенное. Бывает, что такие усовершенствования постепенно реализуются на базовом самолете и предыдущих модификациях, находящихся в эксплуатации.

Экономически усовершенствованные — это модификации, у которых в результате видоизменений повышается экономическая эффективность. К этой подгруппе относятся модификации с улучшенными характеристиками, такими, как грузоподъемность, пассажировместимость и дальность полета (а следовательно, производительность), и с уменьшенным расходом топлива (при замене двигателей) и увеличенным ресурсом.

Область применения модификаций — это их эксплуатационные возможности (совокупность воздушных линий). При этом имеется в виду упомянутая выше классификация самолетов по дальности полета. При небольшом изменении дальности полета модификация сохраняет класс базового самолета, при значительном изменении — переходит в другой класс. Примеры подобного из зарубежной практики приведены в табл. 1.1 (комплексным и иным модификациям дано объяснение в разделе 1.1).

ТАБЛИЦА 1.1

Фирма	Самолет	Класс базовых	Класс модификаций
«Сюд-Авиасьон»	«Каравелла I»	БМС	—
	«Каравелла III, IV»	—	СМС
«Локхид»	«Супер Каравелла»	—	—
	L-1011—1	СМС	—
	L-1011-500	—	ДМС

В литературе встречаются иные понятия и другая терминология. В зависимости от того, изменилось ли назначение самолета, в работе [8] предлагается различать однородные и смешанные модификации, относя к первым из них модификации с сохранением гражданского назначения, к смешанным — те, что здесь и в других работах принято называть специализированными.

ми. Предлагается также подразделение на частичные, осуществляемые повышением одних характеристик за счет других, и комплексные с одновременным повышением ряда характеристик.

Классификация модификаций по производственному признаку (рис. 1.5) предусматривает подразделение на две основные группы. Первая группа объединяет виды, отличающиеся объемом конструктивных изменений и называемые малыми и глубокими модификациями. К малым будем относить замену двигателей (при сохранении их числа) с целью наращивания тяги или снижения расхода топлива, увеличение длины фюзеляжа (в пределах, ограниченных посадочным углом) с целью увеличения коммерческой нагрузки при сохранении (или увеличении) взлетной массы. К глубоким модификациям будем относить значительное изменение площади крыла (связанное с усилением конструкции) или изменение его аэродинамической компоновки, замену двигателей при изменении их числа, уменьшение длины фюзеляжа при уменьшении взлетной массы.

Вторая группа объединяет три следующих вида модификаций, отличающиеся производственной преемственностью: модификации, запускаемые в производство с сохранением базового самолета (к их числу относятся ближние, дальние и другие модификации, являющиеся дополняющими); модификации, запускаемые в производство со снятием базового самолета (такими являются усовершенствованные модификации, во многих случаях характер видоизменений позволяет проводить доработку самолетов, находящихся в эксплуатации); модификации эксплуатируемых самолетов, серийное производство которых прекращено (обычно непланируемые модификации).

Заметим, что понятия малая и глубокая модификации не связаны ни с их назначением, ни с количественной оценкой результатов, а связаны лишь с объемом и сложностью изменения базового самолета. В зависимости от постановки задачи глубокая может привести к большему эффекту, чем малая, либо — к равному. Когда при эксплуатации самолета появляется необходимость улучшения или изменения характеристик, не предусмотренных при его проектировании, глубокая модификация приводит к большим результатам. Возможность модификаций, малых

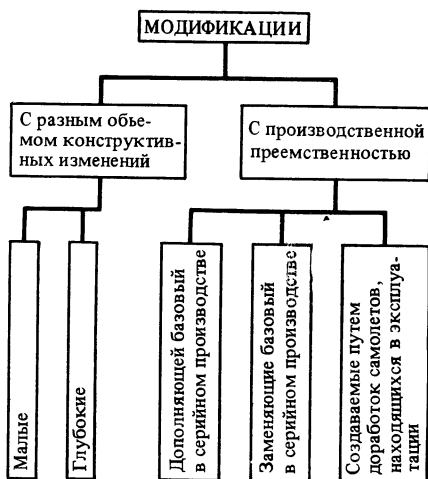


РИС. 1.5. Классификация модификаций пассажирских самолетов по производственному признаку

ТАБЛИЦА 1.2. Отличительные особенности малых и глубоких модификаций

Область изменения	Малые модификации	Глубокие модификации
Силовая установка	Замена двигателей при сохранении их числа	Замена двигателей при изменении их числа
Геометрические размеры фюзеляжа	Увеличение длины фюзеляжа, связанное с увеличением коммерческой нагрузки, что приводит к возрастанию взлетной массы и необходимости частичного усиления конструкции (при этом используются резервы прочности)	Укорочение фюзеляжа, связанное с уменьшением коммерческой нагрузки, что приводит к уменьшению взлетной массы и необходимости устранения избыточных прочности и массы
Геометрические размеры крыла и оперения	—	Увеличение площади и размаха крыла (и площади оперения), связанное с увеличением взлетной массы, приводит к необходимости летных и других испытаний
Конструкция и технология	Внедрение новых материалов, технологических процессов, систем оборудования	—
Вид транспортируемой нагрузки	Изменения конструкции фюзеляжа, связанные с грузопассажирской модификацией при сохранении или незначительном увеличении коммерческой нагрузки (без устройства грузовой двери и усиления пола)	Изменения конструкции фюзеляжа, связанные с грузовой модификацией, при значительном увеличении коммерческой нагрузки (с устройством грузовой двери и усилением элементов конструкции)

и глубоких, определяется в значительной степени наличием резервов у эксплуатируемого самолета или созданием резерва при проектировании базового.

Примеры малых и глубоких модификаций приведены в табл. 1.2. При изменениях, отнесенных к малым модификациям, накладывается дополнительное условие: одновременное увеличение взлетной массы или невелико, или вызывает лишь незначительные усилия. В некоторых случаях значительное увеличение взлетной массы допустимо лишь при наличии резервов прочности. При иной ситуации модификация с подобными видоизменениями может оказаться глубокой.

К глубоким модификациям отнесено изменение крыла при значительном увеличении его площади, поскольку оно может быть связано с увеличением площади оперения (а следовательно, с возрастанием нагрузок на фюзеляж), с большим объемом конструктивных изменений, с расширенной программой различ-

ных лабораторных (в том числе в аэродинамических трубах) и летных испытаний.

К глубоким модификациям отнесены также видоизменения, связанные с уменьшением длины фюзеляжа при одновременном уменьшении коммерческой нагрузки и взлетной массы самолета, а следовательно и уменьшение нагрузок, действующих на конструкцию не только фюзеляжа, но и крыла, оперения, шасси. При этом образуются избыточные прочность и масса, устранение которых связано с пересмотром всей силовой конструкции. В случаях, когда при уменьшении длины фюзеляжа не уменьшают коммерческую нагрузку и взлетную массу самолета, объем изменений значительно меньше. Избыточная масса может оказаться лишь в конструкции фюзеляжа вследствие уменьшения изгибающих моментов (в функции сокращения длины плеч как массовых сил, так и нагрузок от оперения на фюзелях при его укорочении).

1.4. Летно-технические характеристики модификаций и базового самолета

Многие модификации отличаются от базового самолета своей основной характеристикой — грузоподъемностью (или пассажировместимостью) в функции дальности полета. Другие характеристики также рассматриваются, но их изменения — производные от изменения основной.

На рис. 1.6 графически выражены характеристики грузоподъемности в функции дальности полета гипотетического базового самолета (*абв*) и различных его модификаций (*где, гжв, гил, акл, омн*). Все они одного вида (по нашей классификации), отличающегося от базового самолета повышенным экономическим совершенством. Целевое назначение их то же, что у базового самолета, но у некоторых изменена область применения. Видно, что модификации одного и того же вида могут отличаться качественным и количественным изменением рассматриваемой характеристики.

При модификации самолета ради увеличения коммерческой нагрузки ($m_{к.н}$) и числа пассажиров ($n_{пас}$) обычно уменьшают дальности полета (точки *ж* и *д* в сравнении с исходной точкой *б*). При этом возможно сохранение взлетной массы не только в случае *жв*, но и в случае *де*, соответствующем увеличению максимальной массы коммерческой нагрузки и числа пассажиров (путем увеличения длины фюзеляжа) при уменьшении дальности полета. Тогда в точке *д* соотношение масс выражается уравнением $\Delta m_{юв} + \Delta m_{к.н} = \Delta m_t$, а при сохранении дальности (в точках *а'*, *е'*) $\Delta m_{к.н} = \Delta m_t$. Здесь Δm_t , $\Delta m_{юв}$, $\Delta m_{к.н}$ — изменение массы соответственно топлива, конструкции и коммерческой нагрузки.

В других случаях, изменяя характеристику (рис. 1.6), сохраняют коммерческую нагрузку и число пассажиров, но увеличивают дальность полета (точка *к* в сравнении с точкой *б*). Обычно

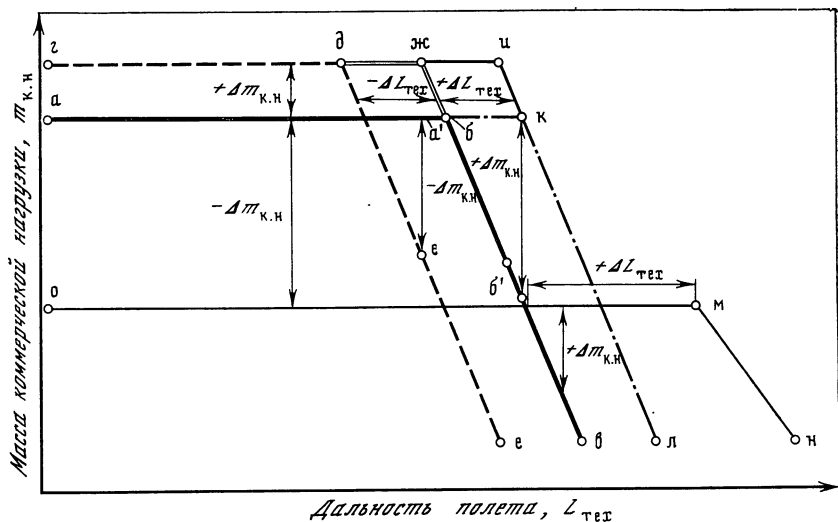


РИС. 1.6. Характеристики грузоподъемности в функции дальности базового самолета *авв* и различных модификаций

Без изменения области применения (*где*); при увеличении длины фюзеляжа (*где*); с изменением области применения и уменьшением длины фюзеляжа (*омн*); *гил* — с изменением грузоподъемности и области применения; Δm — изменение массы коммерческой нагрузки; $\Delta L_{\text{тех}}$ — изменение дальности полета

это достигается установкой более экономичных двигателей. Взлетная масса в этом случае может быть сохранена или увеличена, если у новых двигателей большая тяга, а у конструкции есть запас прочности. Возможны случаи одновременного увеличения и коммерческой нагрузки и дальности полета (точка *и*).

Характеристики изменяют как путем модификаций эксплуатируемых самолетов, так и путем проектирования самолетов одновременно в двух вариантах: «ближний» (для коротких линий) — с большим числом мест и удлиненным фюзеляжем и «дальний» — с более коротким фюзеляжем и соответственно с меньшим числом мест и меньшей массой конструкции. Подобное проектирование прогрессивно для самолетов различных классов, так как расширяется экономичное применение, ибо грузоподъемность за предельным значением дальности (точка *б*) резко падает. Поэтому эксплуатировать самолеты с удлиненными фюзеляжами на линиях, соответствующих максимальному запасу топлива, неэкономично (см. п. 2.3.3). Одной из особенностей модификаций с удлиненным фюзеляжем является уменьшение дальности (ΔL) при $m_{\text{к.н.}} = \text{const}$ или уменьшение массы коммерческой нагрузки ($\Delta m_{\text{к.н.}}$) при $L = \text{const}$ в расчетном случае (точка *а'* на рис. 1.6).

Существенно выделяется характеристика модификации, заданная кривой *омн*, при разработке которой уменьшают число пассажиров и грузоподъемность ради увеличения дальности полета, или иначе, когда создают модификации для линий боль-

шой протяженности с малой плотностью пассажирского потока. У подобных модификаций наибольший объем конструктивных изменений (глубокая модификация): уменьшается длина фюзеляжа и пересматривается силовая конструкция практически всех частей самолета (см. 1.3).

Повысить производительность при модификации самолетов можно различными способами. Когда-то увеличивали пассажировместимость, повышая плотность компоновки, затем путем увеличения длины фюзеляжа. Увеличение дальности полета также достигается разными путями: увеличением емкости топливной системы, установкой более экономичных двигателей или тем и другим одновременно. Емкость топливной системы можно повысить за счет: 1) неиспользованных вначале объемов центропланной части крыла (например, Ил-18Д); 2) объема киля (Супер VC-10 и Ил-62М); 3) установки подвесных баков (Де Хэвилленд «Комета»).

При модификации самолета ради увеличения максимальной дальности полета (точка k на рис. 1.6) одновременно достигается существенный экономический эффект от значительного увеличения коммерческой нагрузки ($кб'$) и числа пассажиров, перевозимых на рейсах, доступных и для базового самолета (точка $б'$) с нагрузкой, меньше максимальной. С этим связан и несколько иной подход к экономическому анализу подобных модификаций. Если при сравнительной оценке (однотипных самолетов) по себестоимости перевозок необходимо и обычно достаточно рассматривать ее минимальное значение ($a'_{\min}$, что соответствует $m_{к.п} = \max$), то для определения роста экономической эффективности подобных модификаций ($бкл$) этого недостаточно. При увеличении только дальности с сохранением коммерческой нагрузки ($бк$ на рис. 1.6) снижение минимальной себестоимости невелико, но появляется возможность эксплуатировать самолет на более дальних рейсах или, иначе говоря, расширяется область применения. Экономический эффект модификаций с увеличенной дальностью полета определяется для конкретных линий с учетом увеличения коммерческой нагрузки ($кб'$). В данных исследованиях не приемлем метод определения экономического эффекта из расчета по средним линиям, который вообще является спорным.

Мы сравнивали грузоподъемность в функции дальности (рис. 1.6) различных модификаций (но повторим еще раз — одного и того же вида) с той же исходной характеристикой базового самолета. Однако создание модификаций обычно связано с изменением многих других характеристик самолета, количественное изменение которых весьма различно. **Весовые характеристики** изменяются в наибольшей степени, летные и взлетно-посадочные изменяются в функции их приращения, а также в соответствии с изменением средств механизации крыла, если эти изменения производят.

Напомним, к основным весовым характеристикам относятся: 1) максимальная взлетная масса самолета, 2) максимальная масса самолета без топлива, 3) максимальная посадочная масса, 4) масса снаряженного самолета, 5) масса коммерческой нагрузки (грузоподъемность).

Правда, последнюю, как и некоторые другие весовые характеристики, можно считать производными от характеристики $m_{к.п} \approx f(L)$.

Достаточно рассмотреть сам факт изменения весовых характеристик, чтобы представить себе, какие из летных или взлетно-посадочных характеристик одновременно претерпевают изменения. Поэтому в табл. 1.3 приведены лишь отличия весовых характеристик модификаций от тех же характеристик базового самолета. У некоторых модификаций взлетная масса и пассажироемкость значительно большие, что в результате приводит к повышению весовой отдачи, производительности и экономической эффективности самолета.

Взлетно-посадочные характеристики изменяются с увеличением взлетной массы самолета при сохранении площади крыла и тяги двигателей, что приводит к повышению удельной нагрузки на крыло p и снижению тяговооруженности самолета P_0 .

Так, сбалансированная длина взлетно-посадочной полосы (ВПП) возрастает у модификаций (см. рис. 1.6 и табл. 1.3), основные характеристики которых заданы кривыми $гжв$, где, $акл$, $гил$, а скорость захода на посадку — у первых двух из этих и у четвертой. Это справедливо для полетов с максимальной массой коммерческой нагрузки на наибольшую дальность. В полетах на равную дальность модификации заданные кривой $акл$ будут иметь большую удельную нагрузку на крыло (в сравнении с базовым самолетом) и, следовательно, увеличенную скорость захода на посадку.

Повышение нагрузки на крыло и снижение энерговооруженности последующих модификаций иногда компенсируют повышением степени механизации крыла ради сохранения взлетно-посадочных характеристик. И, наоборот, при модификации с уменьшением взлетной массы и удельных нагрузок на крыло (например, Боинг-747SP) — средства механизации крыла упрощают.

Однако чаще взлетная масса самолетов при разработке их модификаций возрастает. Следует заметить, что ее величину, как и значения других весовых характеристик самолета, иногда изменяли в процессе эксплуатации не только при модификации. Так, взлетная и посадочная массы СМС и БМС были увеличены, чтобы избежать заправки топлива в промежуточных аэропортах при полетах с максимальной платной нагрузкой. В таких случаях эти массы возрастали за счет увеличения массы топлива, разгружающего в полете крыло. Если требовалось усиление посадочных устройств, то вопрос решался относительно просто (усиливали конструкцию шасси, тормозное устройство, модифицирова-

ТАБЛИЦА 1.3. Сравнение весовых характеристик базового самолета и его модификаций при изменении основной характеристики

Основная характеристика модификаций, заданная кривыми на рис. 1.6	Изменение основной характеристики грузоподъемности по дальности полета при модификации базового самолета	Весовые характеристики модификаций			
		максимальная взлетная масса	максимальная масса самолета без топлива	максимальная посадочная масса	Масса снаряженного самолета
<i>гжв</i>	Увеличение максимальной массы коммерческой нагрузки без изменения длины фюзеляжа (за счет резервов объемов) без изменения дальности полета	Сохраняется	Возрастает	Возрастает	Сохраняется за счет резервов прочности, но может и несколько возра- стать при необходимости усиления конструкции
<i>где</i>	Увеличение массы коммерческой нагрузки при увеличении длины фюзеляжа при уменьшении дальности по- лета	Сохраняется *	»	»	Возрастает
<i>акл</i>	Увеличение дальности полета при сохранении максимальной массы коммерческой нагрузки	Возрастает	Сохраняется	Сохраняется	Сохраняется (при нали- чии резервов прочности и тяги двигателей)
<i>гил</i>	Одновременное увеличение макси- мальной массы коммерческой нагруз- ки и дальности полета	»	Возрастает	Возрастает	Возрастает
<i>омн</i>	Увеличение дальности полета при уменьшении максимальной массы ком- мерческой нагрузки и длины фюзе- ляжа	Уменьшается	Уменьшается	Уменьшается	Уменьшается

* В случае, если возрастание суммарной массы пустого снаряженного самолета и массы коммерческой нагрузки не полностью компенсируется уменьшением запаса топлива (при полетах на более коротких рейсах), то максимальная взлетная масса возрастает.

ли реверсивное устройство). Подобное решение было экономически выгодным, так как увеличивало оборачиваемость самолета и уменьшало время его обслуживания на стоянке. Эта тенденция появилась с ростом интенсивности движения на воздушных линиях. У самолетов упомянутых классов отношение максимальной посадочной массы к взлетной достигает 0,9—0,95. У самолетов большей дальности полета оно значительно меньше.

Выводы. 1. При экономическом усовершенствовании изменяются обычно грузоподъемность и дальность полета.

2. Взлетная масса и число пассажиров увеличиваются до 40%.

3. Из основных параметров самолета в наибольшей степени изменяется удельная нагрузка, в меньшей — энерговооруженность.

4. Геометрические параметры также меняются: увеличение длины фюзеляжа — до 20%, площади оперения — до 25%, площади крыла (что встречается очень редко) — до 20%.

1.5. Из истории разработки различных видов модификаций

Рассмотрение классификаций и принципов их построения было бы неполным без конкретных иллюстраций. Вначале примеры технически усовершенствованных модификаций (классификация по эксплуатационному признаку):

— на самолете 30—40-х годов ДБ-3 (1938; с 1941 г. обозначается Ил-4) в сравнении с базовым ЦКБ-26 был изменен силовой набор крыла: ферменно-трубчатая конструкция лонжеронов заменена на балочную с применением прессованных профилей, деревянная обшивка — на металлическую. Это — конструктивные модификации, которые также имели самолеты Як-4 (1939), Як-1 (1940), Як-9 (1942), Як-3 (1943) *;

— модификация Ил-18В (1962) отличалась от базового дополнителным комплексом радиотехнического и навигационного оборудования, более рациональной компоновкой салонов, иным положением входных дверей. (Все это перешло и на последующие модификации, экономически более совершенные, для которых Ил-18В стал как бы базовым. Они, следовательно, были комплексными.)

Для второго вида модификаций, отличающегося ростом экономической эффективности, наиболее характерны модификации с изменением области применения и с увеличением числа пассажирских кресел. Это увеличение вначале достигалось повышением плотности компоновки салонов, а затем увеличением длины фюзеляжа. Первый путь преобладал при создании модификаций

* Перечислены оригинальные типы самолетов, которые имели большое число не только конструктивных серийных модификаций, но и специализированных (с изменением назначения). Всего их было построено 37 337 машин.

ТАБЛИЦА 1.4. Увеличение пассажировместимости путем изменения плотности компоновки с применением кресел новой конструкции

Характеристика пассажиро- вместимости	Ил-18А	Ил-18Б	Ил-18В	Ил-18Д	Ил-18Е
Шаг установки кресел, мм	1020	840	810	750	750
Число мест в одном ряду	5	5	5	6	6
Число пассажирских мест	75	89	100	110	122

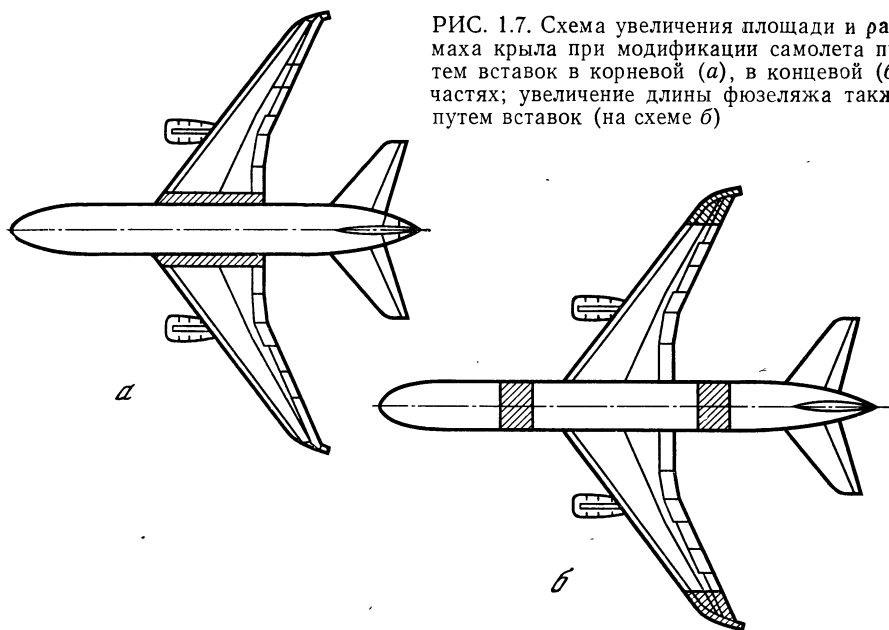
поршневых и первого поколения самолетов с газотурбинными двигателями.

Примерами из истории поршневой авиации могут служить самолеты-долгожители Дуглас DC-3 (у нас Ли-2) и Ил-14, число мест которых увеличивали повышением плотности компоновки. У модификаций самолетов Ту-104 (с ТРД) и Ил-18 (с ТВД) увеличивалась плотность компоновки, выраженная через площадь пола, приходящуюся на одного пассажира (уменьшалась от 0,93 до 0,68 и 0,55 соответственно появлению новых кресел, вслед за первым классом — туристских, а затем экономических). Новая конструкция кресел позволяла уменьшить шаг их установки и увеличить их число в каждом ряду (табл. 1.4).

Второй способ увеличения числа мест с одновременным ростом максимальной коммерческой нагрузки показан на рис. 1.7, б. Примером развития пассажирских самолетов могут служить экономически усовершенствованные модификации Боинг-727—200 и Дуглас DC-8—61, длина фюзеляжей у которых была увеличена на 17,2 и 26,9% соответственно. Примером уменьшения длины фюзеляжа и соответственно числа мест служат дальние модификации (созданные на базе самолетов третьего поколения) Боинг-747SP и Локхид L-1011—500. Любопытно, что на первом из них была снижена и масса коммерческой нагрузки (и, естественно, масса снаряженного самолета) ради увеличения дальности полета, а на втором были увеличены и масса коммерческой нагрузки и дальность полета. Само же укорочение фюзеляжа было выполнено ради неизменности массы конструкции, обычно возрастающей при разработке почти любой модификации.

Теперь рассмотрим конструктивные изменения при разработке модификаций различных видов. Примером изменения площади крыла (на 31 м²) путем его замены служит модификация Боинг-707—320В (рис. 1.8). При этом площадь горизонтального оперения увеличена на $\Delta S = 5,1$ м² и вертикального оперения на $\Delta S_{в.о} = 6,0$ м² (в сравнении с базовым самолетом Боинг-707—120). В результате оказалось возможным повысить взлетную массу самолета на $\Delta m_0 = 32\,000$ кг. Суммарную тягу двигателей увеличили на 8200 даН (путем их замены). Но энерговооруженность почти сохранилась на том же предельном уровне (0,22 про-

РИС. 1.7. Схема увеличения площади и размаха крыла при модификации самолета путем вставок в корневой (а), в концевой (б) частях; увеличение длины фюзеляжа также путем вставок (на схеме б)



тив 0,21). Изменения проведены с целью увеличения дальности полета и повышения топливной эффективности, показатель которой уменьшился с 43,3 гр/пасс·км до 32 гр/пасс·км *. При этом максимальная масса коммерческой нагрузки и число пассажирских мест практически сохранились.

Примером увеличения площади крыла (рис. 1.7) служит самолет DC-10—30.

Модификация Ил-62М — типичный пример увеличения дальности полета базового самолета путем замены силовой установки [24]. Более экономичные двигатели и дополнительная емкость топливной системы, полученная путем использования объема киля, позволила повысить дальность полета на всех рейсах, превышающих расчетную. Более того, на самолете одновременно проведен ряд технических усовершенствований. Например, реверсивное устройство решетчатой конструкции заменено на створчатый реверс (рис. 1.9). Это не только увеличило эффект реверсирования, но и снизило коэффициент аэродинамического сопротивления (C_x), благодаря чему уменьшился километровый расход топлива. Кроме того, на Ил-62М установлено некоторое новое оборудование и проведены конструктивные улучшения. Следовательно, модификация Ил-62М является комплексной, ее эффект в увеличении дальности полета и расширении области применения, но и в значительном увеличении (почти на 50%)

* Найдено приближенно (по литературным данным).

массы коммерческой нагрузки, транспортируемой на линиях, по протяженности больше расчетной ($кб'$ на рис. 1.6).

Дальняя модификация Ил-18Д своеобразна тем, что разработана не на базе исходного самолета (как в случае Ил-62), а с учетом всех видоизменений, проведенных на предыдущих модификациях (Ил-18Б, Ил-18В). Аналогично создавались дальняя модификация Боинг-707—320 на базе предыдущей модификации Боинг-707—220 и семейство DC-61, DC-62, DC-63 на базе DC-50. Экономический эффект (повышение степени использования грузоподъемности при полетах на дальности, превышающие расчетную) аналогичен достигнутому на Ил-62М. Заметим, что взлетная масса Ил-18Д и Ил-62М была несколько увеличена без усиления конструкции на статическую прочность.

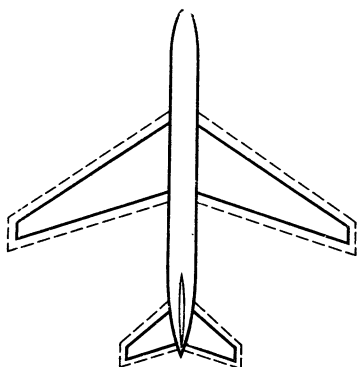


РИС. 1.8. Схема изменения площади крыла и оперения при модификации самолета путем замены их на новые

В ранний период развития реактивной авиации появлялись модификации, расширяющие область применения базовых ДМС с сохранением их пассажироемкости и грузоподъемности. Несколько таких модификаций было создано на базе Боинг-707—120 и DC-8. Их развитие соответствовало появлению новых линий большой протяженности. На базе ДМС типа Ил-18, «Вэнгард», Ту-104, Боинг-727, Ту-154, а также БМС типа Ту-134, ВАС-111, DC-19, Боинг-737, «Трайидент», напротив, создавали модификации более пассажироемкие с одновременным сохранением или незначительным изменением дальности полета, что соответствовало росту объема перевозок и, следовательно, изменению плотности пассажирского потока на этих линиях. В этот период появилась лишь одна многоместная модификация DC-8—61 из класса ДМС.

Примерами специализированных модификаций могут служить десантно-транспортный самолет Ил-12Д (1948), построенный на базе пассажирского Ил-12; грузовая модификация Ил-14Гр (1953); более глубокая модификация Ан-26 базового пассажирского самолета Ан-24. Они строились параллельно с производством их базовых оригиналов.

Примером модификаций самолетов, находящихся в эксплуатации, но снятых с серийного производства, являются транспортно-грузовой Ил-18Т — модификация пассажирского (морально устаревшего, но обладающего большим ресурсом) самолета Ил-18; военно-транспортный самолет С-141В — модификация с удлиненным фюзеляжем ($\Delta L_f = 7,1$ м) базового самолета С-141А.

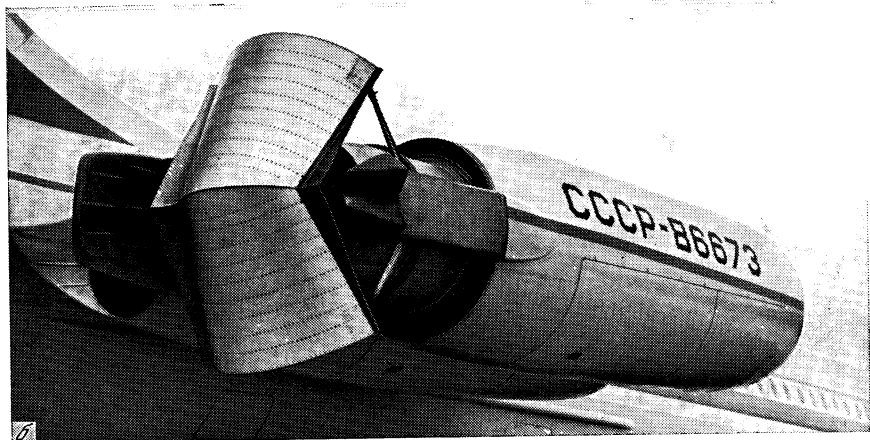
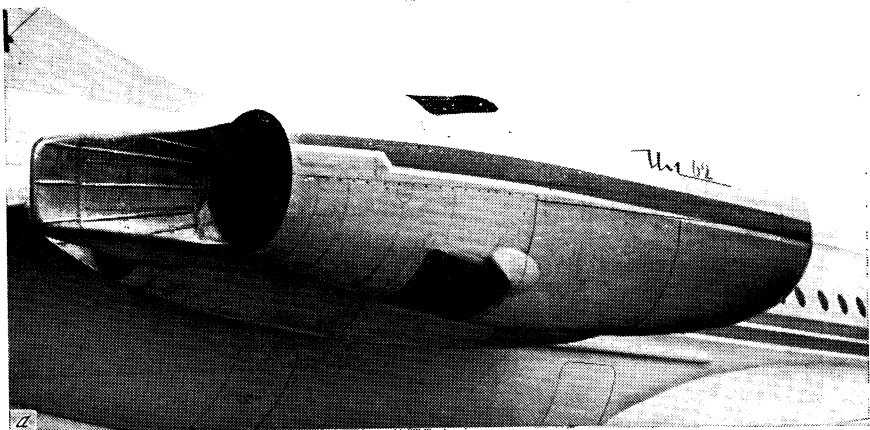
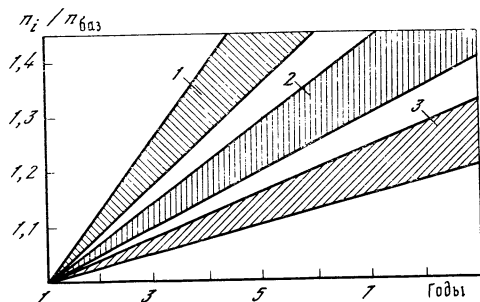


РИС. 1.9. Решетчатый (а) и створчатый (б) реверсы на самолетах Ил-62 и Ил-62М соответственно

Таким образом, в первом случае было изменено целевое назначение, во втором — повышены производительность и технико-экономическое совершенство самолета.

РИС. 1.10. Относительный рост числа пассажирских мест последующих n_i модификаций по сравнению с базовым ($n_{баз}$) самолетом БМС (1), СМС (2), ДМС (3)



Выводы. 1. Разным классам самолетов свойственны различные модификации, и чем большей дальностью полета обладает самолет, тем в меньшей степени при разработке модификаций возрастает пассажировместимость и в большей — дальность полета (рис. 1.10).

2. Объем перевозок на средних и коротких линиях возрастает не столько с увеличением парка самолетов, сколько наращиванием пассажировместимости как при разработке модификаций, так и при создании новых моделей самолетов последующих поколений. Указанные закономерности преобладают, но, конечно, не являются общими для всех самолетов.

1.6. О различных подходах к определению эффективности модификаций

Эффективность многих модификаций повышается лишь в определенной области их применения, иногда доступной и для базового самолета, а иногда в зоне увеличенной дальности. У некоторых из этих модификаций эффективность по сравнению с базовым самолетом снижается при эксплуатации на отдельных линиях и вследствие этого возникают два различных подхода, имеющих спорный характер, к оценке эффективности модификаций. Рассмотрим их на конкретном историческом материале.

1. Модификации с увеличением максимальной коммерческой нагрузки ($m_{к.н\ max}$) и числа пассажирских мест ($n_{пас}$) путем увеличения длины фюзеляжа ($\Delta l_{ф}$) при условии уменьшения дальности полета как с $m_{к.н\ max}$, так и с меньшей ее массой.

2. Модификации с увеличением дальности полета при уменьшении $m_{к.н\ max}$ и $n_{пас}$ путем уменьшения $l_{ф}$ и значительных конструктивных изменений (глубокие модификации).

3. Модификации с увеличением дальности полета путем замены двигателей на более экономичные с той же или большей тягой при условии сохранения $m_{к.н\ max}$ и $n_{пас}$ (малые модификации).

Напомним, что модификации с удлиненным фюзеляжем и увеличенным числом пассажиров свойственны, главным образом, самолетам первых двух поколений. Для самолетов третьего поколения такие модификации лишь планируются. Модификации же с укороченным фюзеляжем, с уменьшенной или увеличенной массой коммерческой нагрузки, напротив, стали разрабатываться лишь на базе самолетов третьего поколения, и два таких вида находятся в эксплуатации.

Выберем критерии для оценки эффективности модификаций, а также подчеркнем достаточно важные положения, неправильное понимание которых иногда приводит к ошибочным выводам.

К основным положениям относятся:

1) сравнение показателей эффективности базового самолета и его модификации в точке, соответствующей расчетной дальности базового самолета, неправомерно;

2) эффективность многих видов модификаций возрастает только на тех воздушных линиях, для которых они предназначены;

3) при исследовании эффективности модификаций следует рассматривать их эксплуатацию на конкретных воздушных линиях оптимального (в экономическом отношении) применения, которые для базового самолета и его модификации, как правило, не совпадают.

Можно предвидеть возражения, что современным исследованиям присущ комплексный подход и что рассматривать следует не конкретные линии, а комплекс линий в усредненном их представлении. Действительно, есть очень серьезные исследователи, отстаивающие необходимость анализа и сравнения эффективности различных моделей самолетов и их модификаций на основе средней дальности.

Мы попытаемся конкретными примерами подтвердить правомерность трех сформулированных положений.

Критерии эффективности для анализа рассматриваются лишь постольку, поскольку необходимы для темы данного раздела (в более широком плане эта задача поставлена в разделе 2.6). Здесь же укажем, что критерии эффективности весьма разнообразны, одни носят интегральный, другие частный характер и каждый из них предназначен для конкретного вида эффективности. Итак, приняты критерии:

— полная себестоимость эксплуатации, выраженная в стоимости единицы фактической (с учетом коэффициента загрузки) производительности (коп/т·км) и определяемая (в нашем случае) с помощью метода сравнительной оценки*;

— топливный критерий, который со второй половины 70-х годов имеет особое значение. Математически представляет собой величину расхода топлива на единицу располагаемой** производительности ($m_{к.н}L_{тех}$):

$$t = m_T / m_{к.н} L_{тех} \quad \text{или} \quad t' = m_T / n_{пас} L_{тех},$$

где t и t' — энергетический критерий, гр/т·км и гр/пас·км; m_T — полный запас топлива, включая навигационный запас; $m_{к.н}$ — масса коммерческой нагрузки; $n_{пас}$ — число пассажиров; $L_{тех}$ — техническая дальность полета.

1.6.1. Ближние и дальние модификации с измененной длиной фюзеляжа

Эффективность двух первых видов модификаций целесообразно рассматривать совместно. Это исключит повторы в объяснении их особенностей и различий и приведет к более общим вы-

* Этот метод не претендует на сходимость с действительным значением себестоимости, он предназначен для сопоставления эффективности самолетов.

** Располагаемая производительность (в отличие от фактической) не учитывает коэффициент загрузки и зависит, следовательно, от технических возможностей самолета.

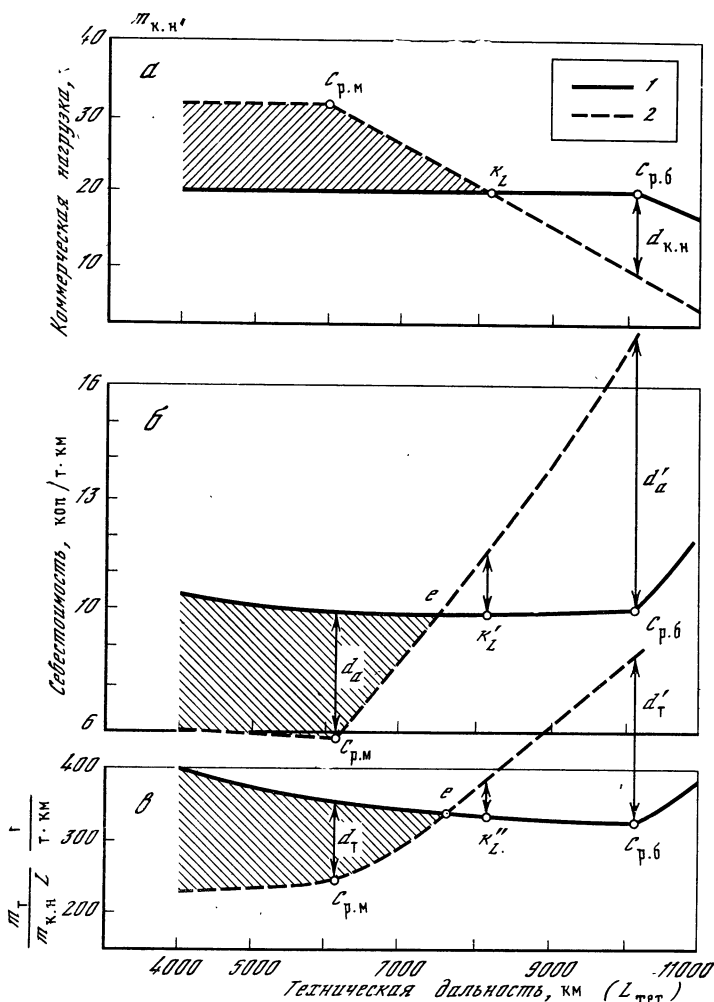


РИС. 1.11. Характеристика грузоподъемности по дальности базового самолета и его ближней модификации (а). Показатели их эффективности; себестоимости эксплуатации (б); энергетического критерия (в)

1 — DC-8—50; 2 — DC-8—61

водам. Характеристики грузоподъемности по дальности и показатели эффективности ближних модификаций приведены на рис. 1.11, дальних — на рис. 1.12, где $c_{p.б}$ и $c_{p.м}$ — точки, соответствующие расчетной дальности полета базового самолета и его модификации соответственно; κ_L — точки, соответствующие транспортировке равной коммерческой нагрузки на равную дальность для базового самолета и его модификации; e — точки равных значений эффективности — экономической и энергетической.

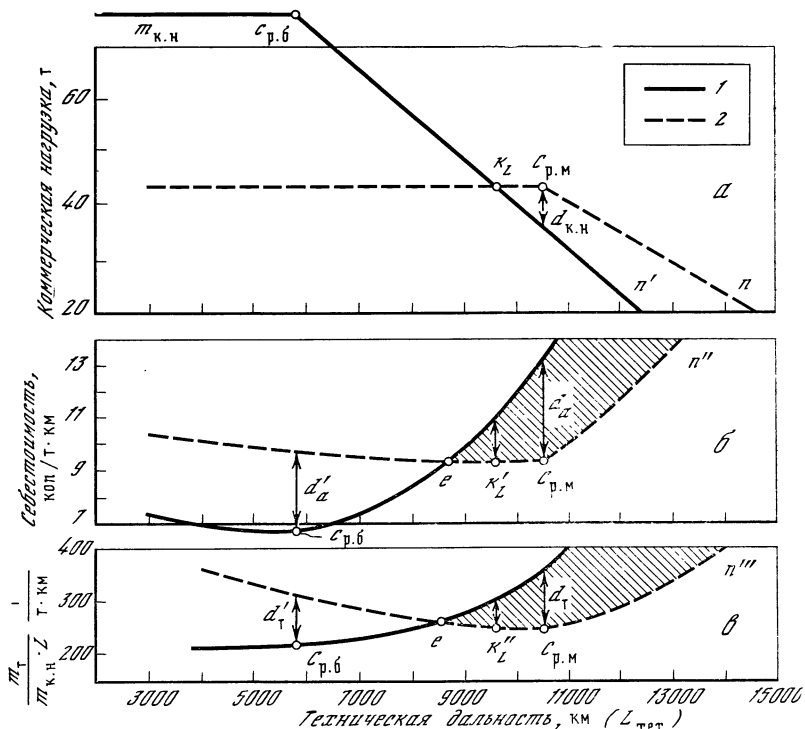


РИС. 1.12. Характеристика грузоподъемности по дальности базового самолета и его дальней модификации (а). Показатели их эффективности, себестоимости эксплуатации (б), энергетического критерия (в)

1 — Бэинг-747—100; 2 — Боинг-747 SP

Модификации с увеличением длины фюзеляжа и соответственным повышением максимальных значений коммерческой нагрузки и числа пассажирских мест встречаются в истории авиации достаточно часто, поскольку приводят к значительному экономическому эффекту (все же первое место по количеству занимают модификации с заменой двигателей).

Определение эффективности в этом случае иллюстрируется графиком (рис. 1.11). Здесь рассматриваются две модификации самолета DC-8, у одной из которых (DC-8—61) длина фюзеляжа увеличена на 11,2 м. (Базовым самолетом служит в данном случае предпоследняя модификация DC-8—50.)

Положительный эффект при этом — повышение грузоподъемности DC-8—61 примерно на 60%. Естественно, что дальность полетов при равной коммерческой нагрузке (точка K_L по сравнению с точкой $C_{p.б}$) была уменьшена и довольно значительно (на 2000 км), что является отрицательным эффектом данного вида модификации. Уменьшение коммерческой нагрузки при дальности, соответствующей расчетной для исходного варианта (точка

$c_{p.6}$), который служит базовым для последующей модификации на величину отрезка $d_{к.н.}$, объясняется возрастанием массы снаряженного самолета вследствие удлинения фюзеляжа.

Забегая несколько вперед, заметим, что наибольший рост эффективности подобных модификаций объясняется отсутствием другой экономически выгодной альтернативы удлинению фюзеляжа. Объясняется это тем, что при увеличении числа пассажиров масса планера растет незначительно и такой критерий весовой эффективности как отношение этой массы к числу пассажиров резко снижается.

Модификации с укороченным (для увеличения дальности полета) фюзеляжем и соответственным уменьшением числа пассажирских кресел имеют две разновидности:

- 1) с уменьшением и максимального значения коммерческой нагрузки и величины взлетной массы;
- 2) с увеличением коммерческой нагрузки и взлетной массы (при уменьшении числа пассажирских кресел).

К дальним модификациям первого вида относятся Боинг-747SP, характеристики и критерии эффективности которого показаны на рис. 1.12. В прошлом подобная модификация Боинг-720В была основана на базовом самолете Боинг-707—120 и предназначена для так называемых «тощих» линий, т. е. для дальних линий с малой плотностью пассажирского потока; при этой модификации число пассажирских мест было уменьшено на 39, масса коммерческой нагрузки — на 3200 кг, а дальность увеличена более чем на 1700 км [35].

Представитель второй разновидности — Локхид L-1011—500. При укорочении фюзеляжа на 6,15 м и соответствующем уменьшении числа пассажирских мест коммерческая нагрузка возросла на 4500 кг, а дальность полета — примерно на 3000 км [35].

Первая разновидность этих модификаций не приводит (по причинам, рассмотренным ниже) к столь значительному повышению эффективности, как модификации с удлиненным фюзеляжем. Они расширяют область применения и повышают эффективность лишь в зоне увеличенной дальности в сравнении с зоной базового самолета. Таким образом, подобные модификации дополняют общую гамму самолетов на основе достаточно широкой унификации. Важным фактором, позволяющим сохранить конкурентную способность, является большая общность частей конструкции, компонентов систем, а также запасных частей с базовым самолетом и другими видами его модификаций.

Покажем также (рис. 1.12), что даже значительное снижение максимальной грузоподъемности (более 40%) по сравнению с базовым самолетом и небольшое увеличение дальности полета при равной грузоподъемности ($c_{p.м}$ по сравнению с c_L) приводит к значительному росту дальности полета при меньшей нагрузке, чем в точке c_L , а также максимальной дальности полета. Понятно, что такая модификация несет большую, чем базовый само-

лет, нагрузку в зоне оптимальной эксплуатации (участок nn'), для которой она и предназначена.

Недостатки данной разновидности модификаций:

— сохранение площади крыла при уменьшении взлетной массы и, следовательно, снижение удельной нагрузки. Несмотря на облегчение силового набора крыла и упрощение (а следовательно, и облегчение) средств его механизации, снижение удельной нагрузки приводит все же к определенным весовым издержкам;

— сохранение тяги и числа двигателей, как и площади крыла (при значительном снижении взлетной массы) явно приводит к их переразмеренности;

— причину не столь значительного повышения эффективности в рассматриваемом случае можно искать также в уменьшении действующих нагрузок на силовую конструкцию планера (что исключает эффективное использование резервов прочности, возможное при их увеличении). Подобное является следствием уменьшения взлетной массы и длины фюзеляжа (в противоположность увеличению у ближних модификаций). Снижение же действующих нагрузок на силовую конструкцию может привести к появлению избыточных прочности и массы. Стремлением к повышению или сохранению экономичности (относительно базового самолета) не допускает подобных издержек. Вследствие этого возникает необходимость повсеместного снижения толщин материала крыла, фюзеляжа и других частей самолета. Даже значительное облегчение не приводит к той весовой эффективности, которая достигается при увеличении нагрузок и использовании прочностных резервов конструкции. Следовательно, создать экономически жизнеспособную модификацию с укороченным фюзеляжем и уменьшенной максимальной массой коммерческой нагрузки задача весьма и весьма непростая.

Сложность и противоречивость данной ситуации как раз и приводит иногда к ошибочным выводам о модификациях такого вида. А причина ошибочных выводов кроется в какой-то мере в том, что укороченные модификации отличаются от всех других видов низкой величиной отношения пассажироемкости к площади крыла (оно падает в еще большей степени, чем удельная нагрузка, от взлетной массы, снижение которой несколько сдерживается ростом запаса топлива). Интересным примером подобной модификации является, как упоминалось, Боинг-747SP. Дело в том, что длительное время развивалась тенденция к созданию самолетов широкого диапазона дальности, т. е. самолетов, обладающих высокой экономической эффективностью на линиях различной протяженности. Боинг-747SP иллюстрирует отказ от этой тенденции. Он обладает наибольшей эффективностью лишь на дальних рейсах или на линиях с дальностью, недостижимой для других широкофюзеляжных самолетов, и уступает им при сравнимой дальности полета. Поэтому его можно рассматривать в качестве «дополнительного» к парку других самолетов и модификаций и как самолет, положивший начало новой тенденции

более гибкого согласования размера самолета с потребностью воздушных линий.

Теперь рассмотрим вторую разновидность модификаций с укороченным фюзеляжем, но не только с увеличенной дальностью полета, но и с увеличенным максимальным значением коммерческой нагрузки при одновременном уменьшении числа пассажирских кресел. Такая модификация может показаться неожиданной, поскольку резко возрастает коэффициент коммерческой нагрузки (отношение ее максимального значения к числу пассажиров $k_{к.н} = m_{к.н \max} / n_{\text{пас}}$). Но если принять во внимание высокий темп роста грузоперевозок, большая доля которых выполняется именно на пассажирских самолетах, то подобная модификация представляется целесообразной.

Вторая разновидность модификации эффективнее первой по следующим причинам: 1) увеличение взлетной массы с ростом массы топлива и коммерческой нагрузки повышает удельную нагрузку на крыло и, следовательно, его весовую эффективность; 2) при этом исключается переразмеренность тяги и появляется возможность использования прочностных резервов.

В этом случае уже не может быть речи о избыточных прочности и массе и, конечно, о каком-либо облегчении силовых элементов конструкции (скорее возможно частичное их усиление, что технологически значительно проще). Пример подобного вида дальней модификации — самолет Локхид L-1011—500. Отметим его другую особенность: обычно при разработке любых модификаций происходило увеличение массы пустого самолета, правда всегда оправданное более значительным ростом производительности. При разработке упомянутой модификации фирма «Локхид» поставила задачу удерживать рост массы пустого самолета путем компенсирующих облегчений, в том числе и уменьшением длины фюзеляжа (подробнее см. п. 3.2.4).

1.6.2. Условия сравнения эффективности базовых самолетов и их модификаций

Прежде чем делать обобщения и выводы об эффективности двух рассматриваемых разновидностей модификаций с укороченным фюзеляжем, более конкретно сформулируем условия сравнительной оценки их эффективности:

- сопоставлять эффективность базового самолета и модификации можно лишь на основе показателей, соответствующих расчетным случаям: $c_{р.б}$ (для базового самолета) и $c_{р.м}$ (для модификации);

- для полноты оценки эффективности модификаций следует рассматривать зоны (заштрихованные на рис. 1.11 и 1.12) экономически целесообразной их эксплуатации;

- дополнительными для сравнения являются точки (k_L) равных значений массы коммерческой нагрузки и дальностей полета для базовых самолетов и их модификаций.

Выводы. 1. Показатели себестоимости и расхода топлива на единицу производительности равнозначно оценивают экономическую и энергетическую эффективность модификаций (см. рис. 1.11 и 1.12).

2. Одна из каждой пары кривых (ϵ) энергетической эффективности отличается характером постоянного возрастания лишь с переменной кривизной. Другая (из тех же двух кривых) не только меняет кривизну, но и знак производной. При чем на рис. 1.11 этим отличается кривая базового самолета, а на рис. 1.12 — кривая модификации. Объяснение: чем больше коммерческая нагрузка, тем более устойчиво изменение критерия по дальности полета. Это справедливо для обоих случаев.

3. Рассмотрение эффективности на основе первого условия позволяет утверждать, что модификации превосходят базовые самолеты лишь на тех линиях, для которых они предназначены.

4. Второй подход к определению эффективности, о котором речь шла вначале, основан на пренебрежении первыми тремя условиями. Сравнение ведется по отрезкам d_a и d_r , соответствующим расчетной дальности базового самолета ($c_{p,6}$). Этот подход приводит к ошибочному выводу о более низкой эффективности модификаций по сравнению с базовыми самолетами, поскольку в точке $c_{p,6}$ показатели эффективности (отрезки d_a' и d_r') у базовых самолетов лучше.

5. Рассматриваемые виды модификаций предназначаются не для замены базовых самолетов, а для их дополнения. Они способствуют созданию оптимального парка самолетов.

6. Условие 3, при котором сопоставляется эффективность базового самолета и модификации в точке κ_L равных значений масс коммерческой нагрузки и дальностей полета, позволяет судить о влиянии весовых издержек, связанных с созданием модификаций на их эффективность. На кривых b и v (рис. 1.11) в точках κ_L' и κ_L'' эффективность модификации ниже, чем у базового самолета, а на рис. 1.12 в тех же точках — выше (себестоимость и расход топлива меньше). Это справедливо (во втором случае) не только в точках κ_L' и κ_L'' (рис. 1.12), но на всем участке от точек e до точек n'' , n''' . Объясняется все это тем, что в первом случае конструкция модификации тяжелее базового самолета, а во втором — легче.

7. Достоверные выводы об эффективности модификаций могут быть получены лишь при широком исследовании с учетом большого числа факторов, включая, например, и такие, как стоимость разработки проекта и создания нового самолета с характеристиками, аналогичными этим модификациям (особенно грузоподъемности по дальности), который можно было бы противопоставлять подобной модификации по технико-экономической эффективности.

8. Появление нового направления в создании модификаций с размерами меньшими, чем у базового самолета, может быть связано не только со стремлением развития гаммы самолетного

парка, но и с причинами иного характера. Одна из них заключается в снижении воздушных перевозок (в известный период) и в нарушении баланса спроса на билеты с предложениями суммарного числа мест общего парка самолетов (см. п. 3.2.7). Это — характерная особенность развития воздушного транспорта; объясняется она сравнительно плавным повышением спроса и скачкообразным характером роста предлагаемых мест. Другой причиной является неоднородный характер линий. При низкой плотности пассажирских потоков эксплуатация многоместных самолетов нецелесообразна из-за условий частоты рейсов.

9. При рассмотрении данных модификаций в плане приведенных классификаций достаточно очевидно следующее:

— при классификации по эксплуатационному признаку (см. рис. 1.4) модификации типа SP следует относить к экономически усовершенствованным с увеличенной областью применения;

— при классификации по производственному признаку (см. рис. 1.5) модификацию с удлиненным фюзеляжем можно отнести к группе малых модификаций; с укороченным фюзеляжем в случае, когда взлетная масса увеличивается, — тоже к группе малых модификаций, а когда уменьшается, — к группе глубоких модификаций. Последнее объясняется необходимостью значительного пересмотра конструктивных чертежей, проведения испытаний статистических и на повторные нагрузки, а также выполнение определенной (не полной) программы летных испытаний, например, на устойчивость, поскольку изменяется плечо горизонтального и вертикального оперения. Однако и в этом случае модификации обходятся значительно дешевле новых самолетов.

1.6.3. Дальние модификации с заменой силовых установок

Эти модификации во многом отличаются от модификаций с удлиненными или укороченными фюзеляжами. Их производимость возрастает без изменения размеров фюзеляжа и грузоподъемности самолета. Они отличаются не только относительно малым объемом и простотой конструктивных изменений, но и характером изменения эффективности (именно характером, а не ростом ее показателей). Перечислим эти отличия:

— многие самолеты имели большое число таких модификаций (до девяти), в то время как с измененным размером фюзеляжа — не более двух;

— подобные модификации есть у самолетов, находящихся в эксплуатации (новые типы двигателей устанавливаются по мере выработки ресурса устаревшими);

— эксплуатация базового самолета может продолжаться с первоначально установленными двигателями, а модификации с новыми двигателями заменяют в производстве базовый самолет или предыдущую модификацию (когда новые модификации подвергнуты и ряду других существенных изменений);

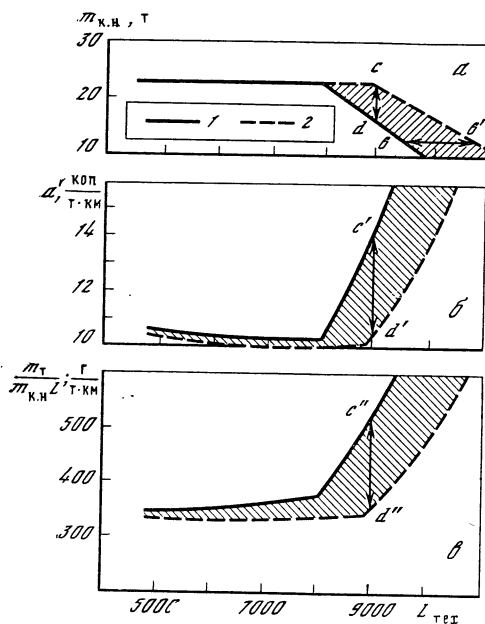


РИС. 1.13. Сравнение экономической эффективности базового самолета Ил-62 (1) и его модификации Ил-62М (2)

— иногда эксплуатация базового самолета или предыдущей модификации продолжается с сохранением силовой установки ввиду большей пригодности для отдельных линий.

Примером из отечественной практики могут служить Ил-62М, а из зарубежной — модификации и базовых самолетов Боинг-707, DC-8, Сюд-Авиасьон «Каравелла» [18]. По рис. 1.13 можно найти приближенную количественную оценку роста экономической эффективности подобной модификации.

Отрезок $c'd'$ на кривой b , найденной методом экономической сравнительной оценки (при $k_{п.з.} = 0,65$), позволяет определить условную годовую дополнительную прибыль, которая при равном налете часов (на зарубежных линиях) и принятом пороге рентабельности 0,4 составит 34%. Кривая $в$ аналогично иллюстрирует рост топливной эффективности самолета.

Выводы. 1. У модификаций с заменой двигателей экономичность повышается вследствие роста производительности при увеличении дальности полета при равной (с базовым самолетом) коммерческой нагрузке (отрезок $вв'$), что важно для эксплуатации такой модификации на линиях с большей протяженностью.

2. Наибольшая эффективность достигается на линиях, доступных и для базового самолета, вследствие увеличения коммерческой нагрузки на величину cd , соответствующую уменьшению расхода топлива. Количественная оценка роста экономичности приведена выше.

Эффект модификации с заменой двигателей правомерно рассматривать при прочих равных условиях, т. е. при фактическом или условном проведении других усовершенствований, не связанных с заменой двигателей (например, усиление конструкции ради повышения ресурса очередной модификации может быть проведено и на базовом самолете). Если при замене силовой установки происходит увеличение массы пустого самолета (что усугубляется одновременным проведением различных технических усовершенствований, например, установкой более тяжелого реверсионного устройства, созданием дополнительной топливной

емкости и т. п.), то связанный с этим отрицательный весовой и экономический эффект целесообразно парировать соответствующим увеличением максимальной коммерческой нагрузки и числа пассажирских мест. Подчеркнем еще раз, что упомянутый отрицательный эффект у модификаций, лишь расширяющих область применения, проявляется в двух случаях:

- при полетах на рейсах с дальностью меньше расчетной;
- при недостаточной топливной экономичности новых двигателей для компенсации роста массы (который может быть и значительным) пустого самолета.

Если этот отрицательный эффект не парировать указанным способом, то себестоимость эксплуатации снижается (в сравнении с базовым) лишь на линиях с дальностью полета меньше расчетной, а за пределами этой области в любом случае возрастает.

Здесь уместна аналогия с видами модификаций, отличающихся от базового самолета или предшествующей модификации только техническим усовершенствованием (например, количеством оборудования или устройством «широкофюзеляжного» интерьера на узкофюзеляжном самолете), которое увеличивает массу самолета. В этих случаях с ростом массы пустого самолета расход топлива несколько возрастает, а производительность нет. Следовательно, чтобы удерживать экономическую эффективность такой модификации хотя бы на том же уровне, необходимо (как и при замене двигателей) повышать коммерческую нагрузку, а если возможно, и число пассажиров. Однако такое видоизменение относится к числу комплексных, наиболее эффективных модификаций.

Если рассматривать модификации с измененными силовыми установками в плане приведенных выше классификаций, то по эксплуатационному признаку (рис. 1.4) они относятся к группе экономически усовершенствованных модификаций, а по производственному признаку (рис. 1.5) могут относиться ко всем трем видам второй группы.



ГЛАВА ВТОРАЯ

МЕТОДЫ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДИФИКАЦИЙ И АНАЛИЗ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Любой, даже самый удачный, самолет со временем должен быть усовершенствован. Его характеристику коммерческой нагрузки по дальности полета, как правило, периодически улучшают изменением его конструкции или аэродинамики, усовершенствованием или заменой двигателей и, конечно, увеличением взлетной массы, причем в больших пределах (иногда до 50%). Последнее является показателем, с одной стороны, значительного роста производительности, с другой — наличия потенциальных возможностей. Рост взлетной массы и другие изменения при модификации вызывают в свою очередь увеличение массы пустого самолета, но в последнее время появилась тенденция парировать рост массы путем компенсирующих облегчений.

Одна из современных проблем проектирования модификаций — их планирование, проводимое еще в период предэскизного проектирования и даже на стадии предварительных изысканий. Хотя у большей части эксплуатируемых самолетов есть модификации, планирование их возникло сравнительно недавно и в полной мере решалось лишь при создании самолетов третьего поколения. Свое дальнейшее развитие оно получило при проектировании самолетов четвертого поколения.

В прошлом обычно создавались непланируемые модификации путем использования потенциала двигателей (роста тяги) или их замены и потенциала самолета (использования естественно образуемых резервов прочности), а также повышением плотности компоновки при создании более рациональной конструкции пассажирских кресел. Увеличение дальности полета достигалось или улучшением газодинамических процессов двигателей, приводящим к снижению расхода топлива, или использованием резервных объемов топливной системы самолета. При значительном возрастании взлетной массы из-за увеличения коммерческой нагрузки или запаса топлива увеличивают площадь крыла (см. рис. 1.7). При возможности улучшения его аэродинамической компоновки (кроме повышения площади) крыло заменяют на новое (см. рис. 1.8).

2.1. Последовательная и параллельная разработка модификаций

Кроме разграничения модификаций на планируемые и непланируемые, можно различать и пути их разработки.

При последовательной разработке модификации создаются со смещением во времени, а при параллельной — проектируются одновременно с базовым самолетом или одновременно несколько модификаций. Правда, строгого разграничения в истории их развития, пожалуй, не наблюдалось, — происходило чередование, которое можно назвать последовательно-параллельной, а в других случаях параллельно-последовательной разработкой.

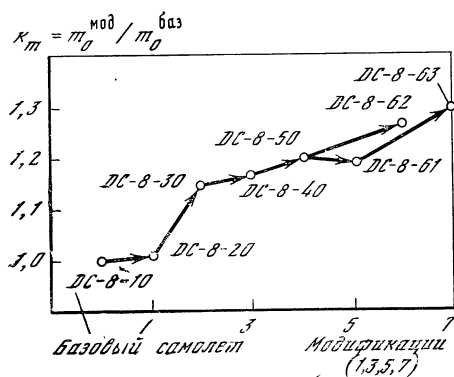


РИС. 2.1. Последовательная разработка модификаций

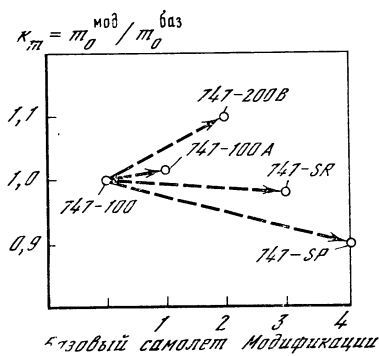


РИС. 2.2. Параллельная разработка модификаций

При последовательной разработке для каждой последующей модификации предыдущая является как бы базовой машиной. Все реализованные при ее создании нововведения переходят в проект последующей модификации. При параллельной разработке базовый самолет является единым исходным вариантом для всех модификаций. Разрабатывать модификации целесообразно с некоторым смещением во времени, тогда они оказываются более эффективными вследствие использования не только планируемых, но и естественных резервов (которые, как правило, имеют место, но выявляются лишь в процессе испытаний). В прошлом, когда модификации еще не планировались, преобладал последовательный вид разработки. Вначале создавали базовый самолет, затем одну или сразу несколько модификаций, а за ними последующие с некоторым смещением по времени. Различия между последовательной и параллельной разработкой можно показать схематично (рис. 2.1 и 2.2), рассматривая динамику одной из основных характеристик самолета — его взлетной массы или, точнее, степени ее роста.

Примером последовательной разработки могут служить модификации самолетов Ил-18 и Ил-62, а одновременной (или параллельной) разработки — три модификации: DC-8—20, DC-8—30, DC-8—40; затем через год — DC-8—50, а потом через 5—7 лет снова семейство DC-8—61, DC-8—62, DC-8—63 (см. рис. 1.3) [35]. Таким образом, изменяются не только периоды, но и характер разработки. Среди самолетов первых двух поколений также немало примеров последовательной и одновременной разработки модификаций, а среди самолетов третьего поколения — одновременной их разработки. Иллюстрацией последнего может служить большое семейство модификаций самолета «Тристар»: L-1011—1, L-1011—100, L-1011—250, L-1011—300, L-1011—300LR (дальний), L-1011—500, L-1011—500VL (очень дальний), L-1011SF (с укороченным взлетом — посадкой), L-1011—500 (с укороченным фюзеляжем для более дальних линий). Кроме того, некоторые из этих модификаций имеют еще по несколько вариантов. Семейства модификаций аэробуса DC-10 и супераэробуса Боинг-747 также весьма значительны [35].

Современная разработка семейства модификаций **параллельной** названа, конечно, условно. Планируют их часто одновременно, но создают с определенным смещением по времени. Главное же их отличие в том, что почти все модификации являются проектными производными одного базового самолета (см. рис. 2.2). В прошлом же преобладала разработка каждой последующей модификации на базе предыдущей. Правда, и при разработке модификаций широкофюзеляжных самолетов это не исключено. Так, например, DC-10—30CF, DC-10—30AF и семейства DC-10—60 создаются на основе модификаций DC-10—30 (рис. 2.3). Однако здесь это выглядит исключением, в то время как раньше было почти правилом. Исключение тогда составляла одновременная разработка, например модификаций DC-8—61, DC-8—62, DC-8—63 на базе DC-8—50.

Разработка модификаций в прошлом с преобладанием последовательного вида развития и современное проектирование семейства модификации с преобладанием параллельного вида на основе базового самолета имеют и ряд других отличительных особенностей. Если на рис. 2.1 наблюдается непрерывное возрастание тоннажа и, следовательно, его производительности, а также связанных с ними весовой и экономической эффективности, то во втором случае (рис. 2.2) взлетная масса последующих модификаций иногда и снижается по сравнению с массой предыдущих, т. е. проектируются модификации с размерами, меньшими чем у базового. Приведенные графики и особенно рис. 2.1 и 2.2 в значительной степени схематичны. Здесь невозможно, например, показать те связи по времени между предыдущей и последующей модификациями, которые отражают совершенствование, проведенное на предыдущей и реализуемое на последующей модификации.

Анализ динамики изменения характеристик пассажирских и грузовых модификаций (существующих и разрабатываемых) широкофюзеляжных самолетов DC-10 и Боинг-747 (рис. 2.2 и 2.3) подтверждает отмеченное выше: более широкий диапазон количественных изменений этих и других характеристик при модификации аэробусов, обоснованность создания более разнообразных вариантов с измененными коммерческой нагрузкой и длиной фюзеляжа, с сохранением и увеличением дальности полета, с заменой и без замены двигателей.

Перечисленные отличия приводят к обобщениям, касающимся изменения основной характеристики пассажирского самолета — грузоподъемности в функции дальности. Если в прошлом наблюдалось увеличение числа пассажиров и массы коммерческой нагрузки при уменьшении или сохранении дальности полета (рис. 1.11) у одних модификаций, а у других — увеличение дальности с сохранением массы коммерческой нагрузки точки k (рис. 1.6) и числа пассажиров, то у модификации самолетов третьего поколения появилось другое сочетание: увеличение дальности при уменьшении числа пассажиров (точка m , рис. 1.6) без уменьшения, при этом и даже с увеличением коммерческой нагрузки (L-1011—500) — в одних случаях, а в других — уменьшение числа пассажиров и массы коммерческой нагрузки. Понятно, что у первой из этих модификаций возрастает взлетная масса, а у другой уменьшается. Однако желательно (из условий эффективности) уменьшать и суммарную тягу двигателей (во втором случае); если этого не происходит, то образуется переразмеренность самолета по тяге. Таким образом, модификации самолетов третьего поколения отличаются несравнимо более широким диапазоном летных данных, и прежде всего дальности полета, что ранее не наблюдалось.

Интересно отметить и другую особенность. При модификации редко прибегают к изменению площади крыла и других его параметров, а если и увеличивают площадь, то в очень ограниченных пределах.

Если рис. 2.1 и 2.2 показывают динамику изменения взлетной массы при различной последовательности разработки модификаций, а рис. 2.3 — соответствие роста ее величины и дальности полета, то на рис. 2.4, заимствованном из работы [12], на примере самолетов фирмы «Боинг» показана поэтапность появления модификаций и конкретные внутренние связи между ними. Таким образом, все эти схемы дополняют друг друга. Из приведенного выше (и раздела 3.1) следует, что базовые самолеты всех поколений имеют большое число модификаций.

Чем обусловлено их появление? Чем ограничено их число? На первый вопрос выше уже дан ответ. Ограничение же числа является следствием ряда причин: 1) возможности и резервы каждого самолета; 2) появление самолетов последующего поколения (с использованием значительных технических достижений

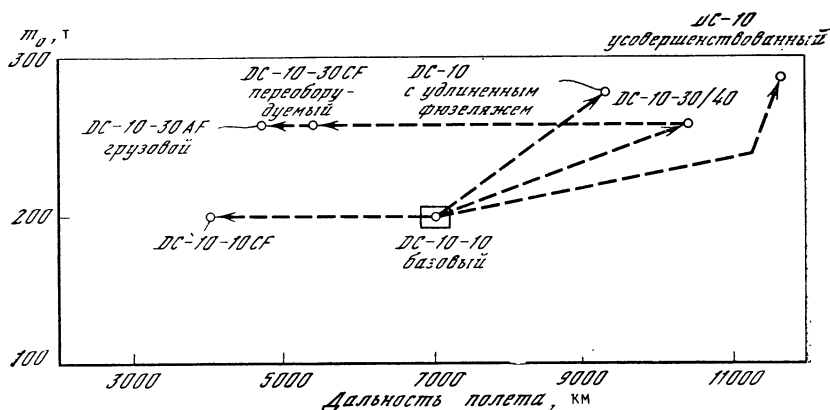


РИС. 2.3. Параллельно-последовательная разработка модификаций

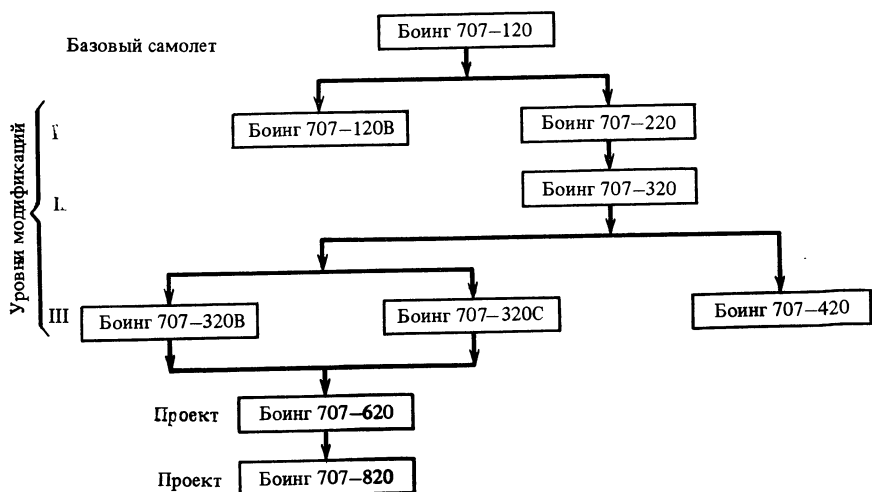


РИС. 2.4. Семейство модификаций пассажирского самолета Боинг-707 [33, 35]

и нововведений, реализация которых невозможна при модификации существующих самолетов).

Модификации предыдущего поколения некоторое время сохраняют свою конкретную способность, но разработка новых обычно прекращается. Приостанавливается и производство тех модификаций, на смену которым созданы новые модели самолетов последующего поколения. Однако среди самолетов нового поколения не бывает обычно полной гаммы, т. е. не создаются новые модели всех классов машин. Тогда в производстве сохраняются последние из модификаций самолетов предыдущего поколения. Примером этого является продолжающееся производство самолетов второго поколения Боинг-707—320В при нали-

чий широкофюзеляжных самолетов третьего поколения. Последние являются многоместными, но существует большое число средних и дальних линий с малой плотностью пассажирского потока, для которых упомянутые самолеты являются переразмеренными. Новая модель такого самолета в классах СМС и ДМС с пассажироместимостью порядка 180—220 чел. появится только в четвертом поколении.

2.2. Планирование модификаций

Целесообразность планирования модификаций была осознана лишь в 70-е годы под влиянием многих причин (см. п. 1.2.1). Объем, формы и предмет планирования длительное время оставались дискуссионными. Причиной этому было явное противоречие между основным правилом проектирования (создание наиболее эффективного самолета) и новой тенденцией обеспечения прогрессивного свойства — емкости к модификациям. Последнее в какой-то мере ущемляет эффективность базового самолета.

2.2.1. О развитии методов разработки модификаций

В развитии методов совершенствования самолетов и повышении их экономичности путем модификации можно различать три периода, каждому из которых соответствует появление своих методов разработки модификаций. Вначале, как уже отмечалось, модификации создавались на основе использования естественно образуемых резервов, затем перешли к планируемым модификациям, а в последнее время был разработан метод модульного проектирования (см. раздел 2.4). Каждый из этих периодов имеет свою историю и предысторию.

Первый период был наиболее длительным. Для его начала характерно создание модификаций с изменением назначения: 1) самолеты, построенные в пассажирском варианте, приспособлялись для военных целей (до войны); 2) военные самолеты (по истечении в них потребности или устаревшие) переоборудовались в пассажирские (после войны). Так было в период и первой и второй мировых войн и, понятно, в послевоенные периоды. К 30-м годам сложилось и направление совершенствования самолетов путем создания unplanned модификаций без изменения назначения. Так, в конструкторских организациях С. В. Ильюшина и Н. Н. Поликарпова в области военной техники и, конечно, не в современных масштабах, последовательно разрабатывались одна за другой модификации, и цель достигалась — самолеты длительное время поддерживались на хорошем техническом уровне. Так, широко известный дальний бомбардировщик военного времени Ил-4 является четвертой (заранее не планируемой) модификацией базового самолета ЦКБ-26.

К планированию модификаций стали прибегать при создании турбореактивных пассажирских самолетов второго поколения. Однако проявилось это уже у некоторых самолетов первого по-

коления. Так, самолет Ил-18 проектировался по требованиям, предусматривающим 75 пассажирских мест, а размеры фюзеляжа были выбраны с возможностью размещения до 100 мест. Площадь крыла также была выбрана с резервом, позволившим в дальнейшем повышать величину взлетной массы с сохранением класса аэродрома.

Метод модульного проектирования, сложившийся в период разработки самолетов третьего поколения, появился в какой-то мере на заре реактивной авиации при создании самолета «Каравелла» французской фирмы «Сюд-Авиасьон». Тогда был использован модуль носовой части фюзеляжа с полным оборудованием английского самолета Де Хэвилленд «Комета» (который определил собой размеры и конфигурацию фюзеляжа «Каравеллы»), а также основные агрегаты необратимой бустерной системы управления, что тогда являлось новшеством.

2.2.2. Необходимость планирования

Необходимость широкого планирования модификаций при разработке новых моделей самолетов определялась стремлением к сокращению периодов создания семейства модификаций на основе базового (исходного) варианта, а также потребностью унификаций. В период создания широкофюзеляжных аэробусов и супераэробусов это направление привело к разработке метода модульного проектирования.

Одной из наиболее сложных (на предварительной стадии проектирования) является проблема выбора потребного размера самолета, определяемого его грузоподъемностью и пассажировместимостью. Она связана с достоверностью долгосрочных прогнозов, степенью роста объема воздушных перевозок и с выбором периода эксплуатации, определяющего размерность самолета. Решение этих вопросов определяют не только облик базового самолета, но и планирование семейства модификаций.

Выбор периода эксплуатации увязывается с закономерностью роста спроса и предложения числа пассажирских мест парка самолетов (см. п. 3.2.7). Ясно, что пассажировместимость (а следовательно, и размеры самолета), выбранная из условия потребности на начальный период эксплуатации или его конец, будет соответственно недостаточной или завышенной.

Необходимо, таким образом, решить, какими параметрами должен обладать базовый самолет и когда его необходимо модифицировать, чтобы при известном росте пассажирского потока обеспечить потребный объем перевозок на авиалиниях различной протяженности. Вопрос этот усложняется необходимостью увязки потребной численности парка, пассажировместимости базовых самолетов и их модификаций с экономически целесообразной частотой рейсов (рост объема перевозок обеспечивается или увеличением числа самолетов, или их пассажироемкостью).

Практика проектирования и эксплуатации показывает, что создавать самолеты с пассажировместимостью, соответствующей не первому, а какому-то последующему (или даже последнему) периоду их эксплуатации, т. е. оптимизировать параметры и размеры на какой-то средний или конечный этап их эксплуатации и, следовательно, создавать переразмеренные (по объему фюзеляжа) на момент внедрения базового самолета, экономически нецелесообразно. Периодически возникающая необходимость наращивания пассажировместимости удовлетворяется разработкой модификаций, отвечающих ситуации, складывающейся на воздушных линиях. Причем, периодичность создания, например, модификаций СМС и ДМС не превышает 2—3 лет. Столь изменчивые условия и позволяют относить пассажирские самолеты к числу машин быстро «морально» стареющих и приводят к необходимости планирования модификаций.

Исторически методы планирования появлялись в основном последовательно, но нельзя утверждать, что одни из них исключают другие. Можно допустить, что и в дальнейшем будут разрабатываться модификации на основе любого из этих методов.

Под планированием модификаций понимается:

- определение облика будущей модификации на стадии эскизного или даже предэскизного проектирования базового самолета, его конфигурации и комплекса основных параметров и характеристик;

- создание потенциала развития модификаций, т. е. обеспечение возможности увеличения в дальнейшем тяги двигателей или их замены, увеличения длины фюзеляжа ради увеличения коммерческой нагрузки и числа пассажиров, увеличения дальности полета и, как следствие всего, возрастания взлетной массы и изменения других весовых характеристик;

- решение вопроса о применении одного из методов проектирования модификаций и соответствующей их реализации. Эти методы связаны с типами машин. В пассажирском самолетостроении к ним можно отнести три метода.

Метод создания непланируемых модификаций (использование естественно образуемых резервов). Резервы выявляются при испытании и в эксплуатации и обычно используются для повышения взлетной массы базового самолета с целью или увеличения дальности полета, или увеличения коммерческой нагрузки, транспортируемой на линиях с протяженностью, достигаемой в полетах с массой коммерческой нагрузки меньше максимальной.

Для создания модификаций этими резервами обычно удается воспользоваться, при этом из конструкции «выжимают» все возможности, доводя иногда удельные нагрузки на крыло и тяговооруженность до предельных значений. Необходимость перенапрягать конструкцию исключается при планируемых модификациях на основе резервирования или модульного проектирования.

2.3. Метод проектирования модификаций на основе резервирования

Рассматриваемый метод, как и метод модульного проектирования, о котором речь пойдет ниже, пока еще не сформулирован. Однако анализ и обобщение практики проектирования самолетов и их модификаций позволяет предложить довольно законченное определение метода.

Метод резервирования заключается в выборе некоторых размеров самолета с заранее определенным технически и экономически целесообразным завышением с целью создания потенциала для разработки модификаций. Ниже покажем, что целесообразно резервирование площади крыла, высоты стойки шасси и емкости топливной системы. Резервировать же тягу двигателей, объем фюзеляжа, прочность конструкции обычно нецелесообразно.

При любых методах планирования всегда приходится учитывать возможность реализации намеченных модификаций в дальнейшем посредством минимальных изменений конструкции самолета. Создание же резервов таит в себе определенное противоречие: с одной стороны, они утяжеляют конструкцию и тем препятствуют достижению максимальной эффективности, с другой — отсутствие резервов усложняет решение задачи модификации базового самолета. Известно, что одно ценное качество самолета обычно достигается за счет частичного ущемления другого. Нельзя, видимо, создать самолет, емкий для модификаций и одновременно обладающий максимальной эффективностью.

Процесс планирования модификаций основан, следовательно, на поисках компромиссных решений и на определении минимальных, экономически целесообразных весовых потерь ради создания резервов. Эти потери влияют на экономичность малых самолетов в меньшей степени, что можно объяснить большей коммерческой отдачей у них и меньшим коэффициентом роста взлетной массы. Следовательно, межконтинентальные ДМС целесообразно проектировать с более строгим подходом к созданию резервов.

Вопрос о резервировании особенно в количественном представлении, весьма сложен, поскольку связан с основными требованиями, обеспечивающими длительную летную жизнь самолету и большой его тираж. К этим требованиям относятся: а) высокая надежность систем и безопасность полета, б) экономичность эксплуатации, регулярность движения, в) перспективность развития.

2.3.1. О целесообразности резервирования тяги двигателей

Резервировать тягу двигателей нецелесообразно. Чтобы показать это, укажем некоторые пути увеличения тяги. Например, замена двигателей, которая относится к числу малых модифика-

ций. Однако можно увеличивать тягу и без их замены, поскольку они обладают потенциальной возможностью наращивать тягу путем модификации на базе сохранения газогенератора, т. е. рост тяги можно планировать при разработке базового двигателя.

Напомним небольшой факт из истории модификаций. В поисках новых проектировочных решений были предложены схемы с числом двигателей 2,5 и 3,5, т. е. с бустерным двигателем, имеющим меньшую тягу, чем основные, с использованием его либо в течение всего полета, либо при взлете и посадке. Последнее более целесообразно, но могло быть реализовано лишь на самолетах, полноразмерные двигатели которых по высотной характеристике удовлетворяли требованиям к крейсерованию модифицированного самолета с увеличенной массой без изменения эшелона крейсерования. Дополнительная масса такой силовой установки с бустерным двигателем значительно меньше, чем при увеличении тяги двигателей с масштабным увеличением их основных размеров. Кроме того, масса самолета снижается из-за возможного удаления вспомогательной силовой установки (ВСУ), функции которой может выполнять бустерный двигатель. Подобная схема в 3,5 двигателя была реализована в 1968 г. на одной модификации самолета «Трайдент» [19].

Для обеспечения высоких значений основных летных характеристик и экономической эффективности самолета необходимо строгое соответствие двигателя и планера. И если у базового самолета это соответствие оказалось чрезмерно строгим — без перспективы повышения удельных нагрузок на крыло, то увеличение тяги для сохранения взлетно-посадочных характеристик с ростом взлетной массы очередной модификации приведет (из условия крейсерования на заданной высоте) к необходимости увеличения площади крыла в том случае, если эта площадь выбрана без резерва.

В истории модификаций известны случаи, когда при сохранении возможности наращивания тяги повышать величину взлетной массы не удавалось из-за ограниченности возможностей крыла, площадь которого хотя и была выбрана с резервом, но исчерпала свои возможности при развитии проекта, а двигатель, заменивший предыдущий, располагал тягой, допускавшей повышение взлетной массы в большей степени, чем площадь крыла.

2.3.2. Резервирование площади крыла

Целесообразно резервировать площадь крыла, т. е. выбирать ее с некоторым завышением, позволяющим в дальнейшем увеличивать удельную нагрузку (кг/м^2). Это позволяет создавать в последующем модификации с малыми конструктивными изменениями.

С возрастом взлетной и посадочной масс самолета при модификации изменяются длина сбалансированной взлетно-по-

садочной полосы (ВПП), градиент скорости V_y/V_2 и скорость захода на посадку (изменение происходит в меньшей степени, если тяга двигателей при этом возрастает, и в большей, если сохраняется неизменной). Однако выбранная с резервом площадь крыла позволяет эксплуатировать модифицированные самолеты с аэродромов заданного класса и сохранять принятый эшелон крейсирования. Базовый же самолет будет располагать несколько лучшими (чем заданные) взлетно-посадочными характеристиками. Следовательно, некоторая переразмеренность крыла не бесполезна и для базового самолета. В то же время известно, что чем выше нагрузка на крыло, тем эффективнее самолет в целом. Однако увеличивать площадь крыла при модификации в значительных пределах весьма сложно. Это связано с ростом нагрузок на всю силовую конструкцию крыла и, следовательно, с потребностью ее усиления. Увеличение площади крыла в практике создания модификаций имело место при разработке модификации Боннг-707—320, приращение площади крыла составило $\Delta S = 31 \text{ м}^2$ (см. рис. 1.8), и у модификации DC-10—30 — всего на 9 м^2 . Интересное решение было принято при разработке семейства DC-10—60: увеличение площади крыла на $\Delta S = 16,2 \text{ м}^2$ привело к возрастанию нагрузок, а усиления удалось избежать (подробнее см. п. 3.2.4).

Существует возможность ограничения площади крыла путем повышения его несущих свойств на взлетно-посадочных режимах, средствами механизации, но при этом частично теряются преимущества, даваемые высоким коэффициентом подъемной силы из-за возрастания массы самолета (вследствие усложнения конструкции крыла и роста аэродинамического сопротивления). Кроме того, проблема заключается не в простом увеличении максимальной подъемной силы, а в том, чтобы получить максимально возможный C_y при одновременном достижении высокого аэродинамического качества на взлете. Таким образом, решение альтернативного вопроса о выборе глубоко механизированного крыла или крыла большей площади следует проводить с учетом конкретных условий: назначения и размеров самолета и конфигурации крыла.

Примером служит один из современных самолетов, у которого трехзвеньевые закрылки занимают три четверти размаха крыла, а на передней кромке расположены предкрылки и щитки Крюгера. Благодаря столь высокой степени механизации был получен $C_y = 2,5$ в посадочной конфигурации, но при этом аэродинамическое качество не превышало 5, в то время как при ограниченном отклонении закрылка на взлете $C_y = 2,0$ аэродинамическое качество может достигнуть 10. Другой пример — Фоккер F-28, где вместо применения сложной механизации предпочтение отдано площади крыла, что при умеренном удлинении обеспечило те же преимущества, но с меньшим увеличением массы крыла и без усложнения конструкции.

Целесообразную степень механизации крыла можно находить с помощью весовых эквивалентов, справедливых для самолетов с определенными значениями энерговооруженности и нагрузки на крыло. Подход к решению этой довольно общей задачи может быть различным. Один, предложенный А. А. Бадягиным [2] заключается в определении величины весового эквивалента изменения C_v на 0,1. Он показывает предел целесообразных весовых издержек. Другой путь непосредственного решения заключается в определении возможного прироста взлетной массы путем повышения механизации при условии сохранения ВПП. Понятно, что часть прироста взлетной массы покрывает увеличение массы конструкции, связанное с механизацией крыла (с учетом коэффициента роста [20]). Но большая его часть позволяет повысить массу коммерческой нагрузки или запас топлива, что и должно подтверждать экономическую эффективность повышения механизации передней и задней кромок крыла.

Проблема площади усложняется при выборе крыла для самолетов малой дальности полета *. На самолетах большой дальности удастся использовать крейсерские возможности практически любого крыла (размеры которого выбраны из условий взлетно-посадочных характеристик) путем выбора высоты полета, соответствующей максимальному значению аэродинамического качества. Дело в том, что влияние удельной нагрузки на крыло p на весовые характеристики и на дальность полета самолетов различных классов неодинаково. Для короткорейсовых, обычно двухдвигательных, самолетов оно невелико. Объясняется это тем, что изменение p в сторону увеличения (путем уменьшения площади крыла), с одной стороны, вызывает снижение взлетной массы $\Delta m_0 (\Delta S)$, так как уменьшает массу крыла и выгодно увеличивает C_v крейсерское, с другой — вызывает увеличение взлетной массы, так как приводит к росту относительной площади миделя фюзеляжа F_ϕ и гондол F_r ; $\frac{F_\phi + F_r}{S} = \bar{F}$ и увеличивает размер, а следовательно массу силовой установки $\Delta m_{с.у}$ и запас топлива Δm_r . В итоге возможно такое положение, когда отрицательное и положительное влияния изменения p на величину взлетной массы взаимно компенсируются:

$$\sum \Delta m_0 = -\Delta m_0 (\Delta S) + \Delta m_0 (\Delta m_{с.у}) + \Delta m_0 (\Delta m_r) = 0.$$

Значительное завышение площади крыла и снижение p на тех же короткорейсовых самолетах (обычно с небольшим эшелонном крейсировании) может оказаться вредным как из условия сопротивления, так и из условия достижения весовой эффективности.

* При равной взлетной массе чем больше дальность полета, тем меньше площадь крыла, так как удельную нагрузку на крыло от взлетной массы можно допустить большую у дальнего самолета при равной удельной нагрузке от посадочной величины массы.

Заметим, что влияние завышения площади на короткорейсовых самолетах зависит от конкретных условий и не всегда оказывается вредным. Например, если высота полета не превышает 6000 м, то издержки невелики. Если же она достигает 8000—9000 м, то при увеличении площади крыла в небольших пределах (на 10—15%) крейсерская эффективность ($M_{кр}K$) может даже возрасти, так как качество (при том же $M_{кр}$) увеличится на 3—4% вследствие уменьшения относительной величины миделя. Однако соответствующее уменьшение запаса топлива (при $L = \text{const}$) не компенсирует увеличения массы пустого снаряженного самолета ($m_{п.сн}$). Последнее вызывается не только увеличением площади крыла и связанной с этим площади оперения, но также утяжелением фюзеляжа вследствие увеличения размеров оперения и нагрузок на него. Таким образом, выбор крыла для двухдвигательного самолета действительно приобретает особую остроту: излишняя площадь, как и лишняя масса, вредна, а недостаток ее может привести к не менее печальным последствиям — самолет будет или бесперспективным для развития модификаций, или (в случае просчета в определении $m_{п.сн}$ или K) непригодным для эксплуатации с заданного класса аэродромов.

Следовательно, выбор площади крыла должен производиться на основе тщательного и всестороннего исследования с учетом неизбежного роста массы снаряженного самолета (и увеличения при этом взлетной массы) в процессе проектирования [20] и планирования модификаций.

Для иллюстрации сказанного о выборе тяги двигателей и площади крыла приведем несколько примеров из истории создания пассажирских самолетов и развития их модификаций.

1. Выбор площади крыла с некоторым завышением для самолета Ил-18 позволил в процессе развития проекта изменить его характеристику грузоподъемности по дальности с 10 т, транспортируемых на 2000 км, до 13,5 т — на 2700 км и повысить при этом взлетную массу с 52,3 до 61 т, а при очередной модификации — до 64 т с целью увеличения дальности до 3700 км. Рационально выбранная площадь крыла позволила увеличить производительность в 1,6 раза и сохранить при этом условия базирования (класс аэродрома).

2. Аналогично на Ил-62 было выбрано крыло с завышением, что позволило сдать в эксплуатацию самолет с характеристикой 23 т коммерческой нагрузки, транспортируемой на дальность 6700 км при проектном значении 20 т — на 4500 км. Соответственно взлетная масса была увеличена со 152 до 161 т, а при модификации (Ил-62М) — до 165 т.

3. Размеры самолета Ту-154 определились ориентацией на существующий (к началу проектирования самолета) двигатель конструкции Н. Д. Кузнецова (уже установленного тогда на Ил-62). Площадь крыла была выбрана в хорошем соответствии с тягой этого двигателя. Все это привело, во-первых, к созданию

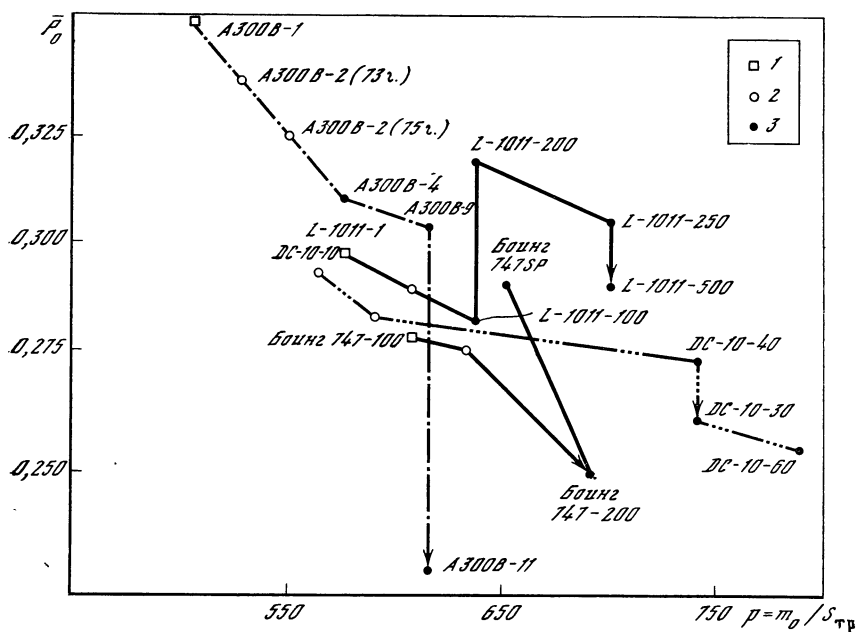


РИС. 2.5. Изменение основных параметров самолета тяговооруженности ($\bar{P}_0$) и удельной нагрузки на крыло (p) в процессе проектирования и разработки модификаций: проектные (1) и фактические (2) данные базового самолета, данные только пассажирских модификаций (3) (грузовых и грузопассажирских не приведено).

более крупнотоннажного самолета, чем его предшественники в этом классе самолетов (что соответствует закономерности развития пассажирских самолетов) и, во-вторых, к созданию резервов для разработки модификации, число пассажирских мест при которой было повышено со 152 до 180 (см. рис. 1.2).

4. У семейства модификаций DC-10—60* удельная нагрузка на крыло была повышена до 790 кг/м² против 590 кг/м² базового самолета DC-10—10.

5. Другие примеры из зарубежной практики авиастроения приведены на рис. 2.5, который иллюстрирует изменение основных параметров (удельной нагрузки на крыло p и тяговооруженности самолета P_0) и показывает, что площадь крыла обычно выбирается с резервом. Это позволяет при дальнейшем развитии самолета (росте его производительности) и при создании

* Это семейство модификаций предусматривает три разновидности с различной длиной вставок в фюзеляж и с различным назначением самолетов. Их по аналогии с DC-8 предполагалось назвать: DC-10—61 — для внутренних перевозок (со вставкой до 12,2 м, числом пассажиров до 500, без изменения площади крыла базового самолета); DC-10—62 — для дальних рейсов (со вставкой 7,9 м, с увеличенной площадью крыла, с активным управлением), в проекте DC-10—63 комбинируется увеличение длины фюзеляжа на 12,2 м, новое крыло и большая (чем у DC-10—62) взлетная масса.

модификаций увеличивать взлетную массу, повышая удельную нагрузку на крыло. Легко заметить, что при непрерывном и значительном возрастании последней тяговооруженность самолетов в большинстве случаев изменяется незначительно. Это объясняется отмеченной ранее возможностью наращивания тяги двигателей, при проектировании которых обычно создают определенные резервы (наибольшими возможностями наращивания тяги обладают двигатели с большей степенью двухконтурности).

Интересна еще одна закономерность: в проектах почти всех представленных на рис. 2.5 самолетов энерговооруженность при отказе одного из двигателей составляла $0,19 \approx 0,20$. Полная энерговооруженность этих самолетов поддерживалась при модификации примерно на одном уровне. Исключением из устойчивого постоянства сохранения энерговооруженности при приросте удельной нагрузки является лишь изменение ее величины у самолета А-300 (см. рис. 2.5). Объяснить это можно прежде всего его двухдвигательной схемой силовой установки, в то время как у остальных представленных самолетов число их составляет 3 и 4. Выбор тяги вследствие этого был выполнен, видимо, с некоторым завышением. Резкий скачок тяги (на последнем участке соответствующей кривой) объясняется увеличением у этой модификации числа двигателей до 4.

Другим исключением (см. рис. 2.5) является скачкообразное возрастание энерговооруженности и уменьшение удельной нагрузки у модификации Боинг-747 SP [35]. Фирма, создавая дальнюю модификацию, уменьшила массу коммерческой нагрузки и пустого самолета, что (даже при увеличении запаса топлива) привело к снижению взлетной массы. Тяга двигателей и площадь крыла были сохранены без изменения. Энерговооруженность у представленных на рис. 2.5 самолетов сохранилась примерно на одном уровне или даже постоянной путем наращивания тяги или замены двигателей. Последнее встречается достаточно часто. Так, в прошлом на самолете Боинг-707 при его модификациях двигатели заменяли 9 раз.

Следует заметить, что рост удельных нагрузок как в процессе развития проекта самолета, так и создания его модификаций, характерен вообще для большого числа самолетов различных поколений.

Понятно, что с возрастанием удельных нагрузок и снижением энерговооруженности изменяется потребная длина сбалансированной ВПП (рис. 2.6). Однако при рациональном выборе значений этих двух параметров для базового самолета при его проектировании аэродромные условия (т. е. длину ВПП) для его модификаций обычно удается сохранить.

Представляет, видимо, интерес исторический пример поиска оригинального решения задачи о выборе крыла с завышением и минимальными, при этом, весовыми издержками (правда, неизвестно о реализации подобного решения). Для случаев, когда

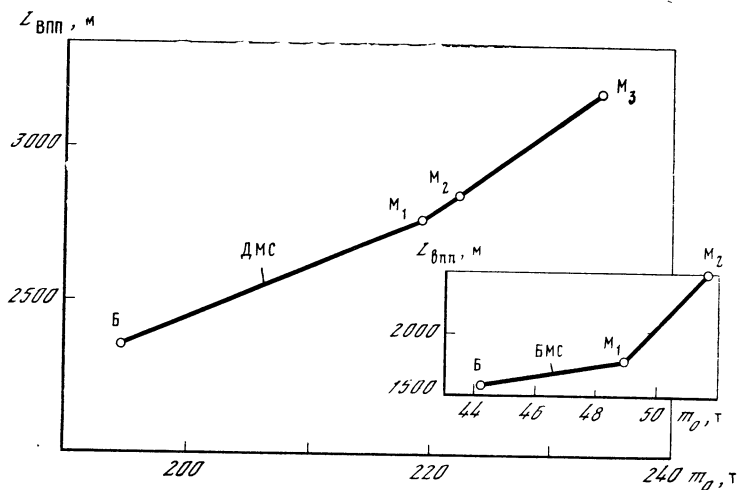


РИС. 2.6. Длина взлетно-посадочных полос дальних магистральных самолетов (ДМС) и ближних (БМС)

Б — базовые самолеты; M_1 , M_2 , M_3 — модификации

потенциал развития модификаций исчерпывался требованиями взлетно-посадочных характеристик, предлагалось воспользоваться способом увеличения площади крыла при модификации самолета путем устройства отклоняющих по размаху крыла концевых щитков. При крейсерировании они прижаты к поверхности крыла, образуя утолщенный профиль, а на малых скоростях поворачиваются на 180° . Таким образом, шарниры отклоняемых концов не нагружаются в полете с большой скоростью в отличие от крыла изменяемой стреловидности. Утверждали, что «платная нагрузка типичного самолета с двумя двигателями, взлетная масса которого ограничена характеристиками, соответствующими одному работающему двигателю, увеличится примерно на 50% при использовании отклоняемых концов крыла» [37].

2.3.3. О целесообразности резервирования объемов фюзеляжа

Резервировать размеры фюзеляжа, так же как и тягу двигателей, нецелесообразно как с точки зрения рационального проектирования, так и эксплуатации.

Завышение объема фюзеляжа снижает весовую эффективность, поскольку приводит или к уменьшению плотности компоновки, или к более многоместному базовому самолету, чем это представляется необходимым по прогнозам и технико-экономическим обоснованиям выбора оптимального размера самолета. Если достоверность потребной пассажироместимости не вызывает сомнений и в конце концов подтвердится, то резерв объема

фюзеляжа приведет к снижению экономической эффективности самолета, поскольку избыточный объем утяжеляет самолет и повышает себестоимость перевозок. В то же время последующее увеличение длины фюзеляжа при модификации (когда появится потребность в увеличении числа мест) не является проблемой и относится к числу малых модификаций.

Эксплуатационные недостатки самолета с завышенными размерами фюзеляжа таковы:

— при нормальной плотности компоновки салонов завышение числа пассажирских мест против потребного приводит к снижению коэффициента пассажирозагрузки и, следовательно, повышает себестоимость эксплуатации (несмотря на то, что порог рентабельности при этом снижается) или снижает частоту рейсов;

— уменьшение плотности компоновки может удержать коэффициент пассажирозагрузки на среднем установившемся уровне, но снижает экономичность эксплуатации из-за избыточной массы самолета (связанной с завышением размеров фюзеляжа).

Нецелесообразность резервирования объема достаточно очевидна, но следует коснуться и другой стороны вопроса, менее ясной. Дело в том, что при выборе пассажироместимости, влияющей на общие размеры самолета, всегда возникают сомнения в достоверности прогнозов. Этим и объясняется тенденция завышения размеров фюзеляжа, а следовательно и самолета *. Практика часто подтверждает некоторое занижение прогнозов. Ведь прогнозировать рост объема перевозок приходится минимум на 10—12-летний период, если отсчитывать от начала предэскизной разработки (в том числе 4—5 лет на разработку базового самолета, 2—3 года на создание минимального парка и примерно 4 года — до появления модификации).

Покажем влияние завышения длины фюзеляжа на весовые данные. Так, масса отсека фюзеляжа с $d=6$ и $\Delta l_{\phi}=1$ м с интерьером, креслами, изоляцией и коммуникациями составляет 650—700 кг. Увеличение взлетной массы самолета с учетом коэффициента роста (значение которого при $m_r=25$ —30% равно 2,0—2,5) достигает 1700 кг. И это только при $\Delta l_{\phi}=1$ м. Столь значительная величина, напомним, получается при условии выполнения (при проектировании базового самолета) правила констант: удельной нагрузки на крыло, тяговооруженности

* Стайнер, вице-президент фирмы Боинг, отмечая (в период разработки самолета Боинг-747), что фирма всегда создавала самолеты большей пассажироместимости, чем это казалось необходимым, сказал: «Наиболее благоприятными годами своей жизни я считаю те, когда я работал над большими самолетами под аккомпанемент утверждений прессы и конкурентов, что наш самолет будет слишком велик» («Флайт», 28.04.70). Во всех случаях фирма была права, но шло с определением пассажироемкости Боинг-747, видимо, был допущен просчет, — самолет оказался переразмеренным. Причиной этому в какой-то степени было стремление использовать двигатели с большой тягой, спроектированные для разрабатываемого по конкурсу ВТС.

и относительного запаса топлива. При модификации самолета эти правила не сохраняются и возрастание массы самолета неизмеримо меньше, а увеличение длины фюзеляжа лежит в следующих пределах: на узкофюзеляжных СМС Боинг-727—200 и ДМС DC-8—61 $\Delta l_{\text{ф}} = 6,1$ и $11,8$ м; на широкофюзеляжных ДМС DC-10—61 и DC-10—62 $\Delta l_{\text{ф}} = 12,2$ и $8,1$ м.

Таким образом, избыточный объем фюзеляжа приводит к вредному завышению массы самолета, в то время как завышение площади крыла (с соответствующими весовыми издержками) не является бесполезным. Это, подчеркнем еще раз, справедливо при условии достоверности прогнозов, на которых основаны требования к самолету.

Модификации с удлиненными фюзеляжами эксплуатируют, как правило, на линиях протяженностью, равной расчетной дальности (см. рис. 1.6 и раздел 1.1) или даже меньшей. При полетах на большую дальность (с большим запасом топлива) допустимая коммерческая нагрузка (из условия взлетной массы) составляет 40—50% максимального ее значения. В результате самолет, обремененный относительно большим и тяжелым фюзеляжем, совершает полет полупустым. Это несоответствие увеличивается по мере роста пассажироместимости базовых самолетов или их модификаций. Заметим, что масса неиспользуемой в дальних полетах части фюзеляжа по своей величине соизмерима с величиной нагрузки, транспортируемой в этой части фюзеляжа.

2.3.4. Резервирование высоты стоек шасси (или посадочного угла)

Высоту стоек шасси целесообразно выбирать с некоторым завышением с целью создания резервного угла касания земли хвостовой частью фюзеляжа при посадке (рис. 2.7). Это позволяет при модификации увеличивать длину фюзеляжа без увеличения высоты стойки шасси. Весовые издержки при таком резервировании невелики, поскольку величина этого угла изменяется с увеличением длины лишь хвостовой части фюзеляжа, а последняя (из условия центровки самолета) возрастает не более чем на 0,5 общей длины вставки. Следовательно, резервный угол и завышение стойки шасси невелики. Возможны случаи увеличения длины фюзеляжа при отсутствии резервного угла.

2.3.5. Резервирование объемов топливной системы

Создавать преднамеренно избыточную емкость не приходится, она обычно образуется произвольно. Целесообразны лишь минимально конструктивные устройства в резервных объемах крыла, пригодных в дальнейшем для увеличения емкости.

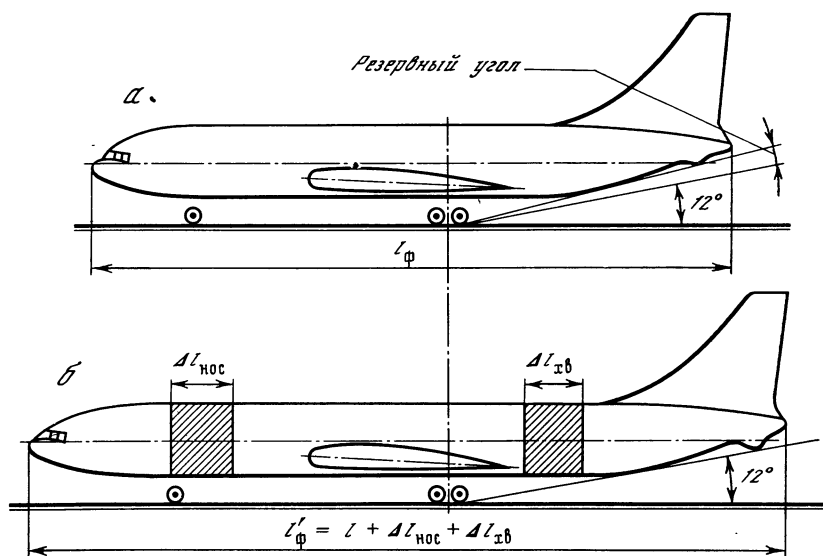


РИС. 2.7. Резервирование посадочного угла для удлинения фюзеляжа при его модификации

2.3.6. О целесообразности резервов прочности конструкции

Создавать запасы прочности вряд ли целесообразно. Практика показывает, что высокоэффективная конструкция создается как раз при проектировании на заниженные нагрузки. При увеличении взлетной массы в последующих модификациях удается использовать естественные прочностные резервы, обычно обнаруживаемые при статических испытаниях независимо от подхода к разработке силовой конструкции. Весовой потенциал увеличивается в наибольшей степени при обнаружении запасов прочности крыла, так как производить усиление этой части самолета сложнее, чем других, а главное, эти резервы могут быть использованы для увеличения площади крыла у последующих модификаций. Правда, естественные резервы прочности не всегда равномерно распределены; кроме того, в одних частях самолета их удастся обнаружить, а в других — нет. Однако местные усиления, как правило, не являются сложными. Следует отметить, что резервами прочности, если они обнаружены, не всегда удастся воспользоваться с целью модификации самолета. Например, в тех случаях, когда одна из проектных характеристик при испытании самолета не подтвердилась из-за просчета в определении массы пустого самолета или аэродинамического качества. Так случилось при создании самолета Боинг-737: вследствие просчета в определении лобового сопротивления резервы прочности пришлось использовать при повышении взлетной массы с целью

увеличения запаса топлива, необходимого для обеспечения проектной гарантированной дальности полета. Но и среди хорошо спроектированных самолетов, пожалуй, мало таких, производительность которых не удалось бы повысить за счет естественных резервов прочности силовой конструкции.

Интересным является принятое в свое время при разработке проекта семейства модификаций решение фирмы «Макдонелл—Дуглас». Конструкторы пытались избежать необходимости усиления силового набора крыла при резком увеличении взлетной массы на 37,0% * и, следовательно, других расчетных нагрузок, а площади крыла — всего лишь на 4,9%, т. е. на 16,2 м² (удельная нагрузка на крыло возрастала с 606 до 792 кг/м²). Такое повышение действующих нагрузок не могло быть реализовано за счет каких-либо резервов (они были бы слишком велики). Избежать усиления силового набора планировалось применением активного управления для снижения нагрузок. Проблема базирования решалась путем добавления двух колес к подфюзеляжной главной опоре шасси.

Концепция проектирования с **весовым резервом** [20] прямого отношения к планированию модификаций не имеет, но все же при выборе площади крыла следует исходить из проектного значения взлетной массы, учитывающего коэффициент весового резерва. Природа последнего обусловлена особенностями процесса проектирования и не связана с вопросами планирования модификаций.

В заключение следует сказать о **двух** противоречивых **предпосылках проектирования**, которые можно выделить, понимает-ся, условно, так как дело обстоит несколько сложнее.

Первая из них — стремление к наибольшей эффективности базового самолета, и, следовательно, выбор всех размеров в строгом соответствии с заданной производительностью и классом ВПП путем оптимизации основных параметров (например, по минимальной себестоимости перевозок или по максимальной топливной эффективности). При этом следует учитывать неизбежное возрастание массы конструкции при проектировании, закономерность возрастания которой рассматривается в работе [20]. В таком случае создание модификации возможно за счет естественных (непланируемых) резервов или путем глубоких модификаций.

Вторая предпосылка — для дальнейшего развития самолета с минимальными издержками — создание резервов. Последнее может показаться противоречащим основному правилу проектирования оптимального самолета, заключающемуся в минимизации массы (при заданной производительности), стоимости самолета и стоимости эксплуатации. Однако если рассматривать тех-

* Приведенная модификация была задумана как вторичная, исходным для которой должен был послужить не базовый DC-10—10, а первичная модификация DC-10—30. Прирост же здесь указан относительно базового самолета.

нико-экономические характеристики не единичного самолета в базовом варианте, а рентабельность парка самолетов в целом с их модификациями и в течение длительного срока эксплуатации, то второй путь окажется предпочтительным. Вообще же процесс планирования модификаций — это непрерывный ряд компромиссных решений между эффективностью базового самолета и возможностями его модификаций. Альтернативная постановка этого вопроса вряд ли целесообразна.

2.4. Метод модульного проектирования модификации

Метод модульного проектирования заключается в одновременной разработке семейства самолетов с одинаковыми значениями многих из основных размеров и на основе применения проектировочных решений в общности аэродинамики и компоновки, систем оборудования и управления, конструкции и технологии. (Требования общности являются основными, но могут быть реализованы различными путями, в различных объемах и сочетаниях.) Этот же метод, но называемый блочным, применяется в двигателестроении. На базе единого газогенератора создается целое семейство двигателей (подразделяемых на различные блоки) с широким диапазоном тяг. В станкостроении аналогичный метод называется агрегатированием. Все эти методы — разновидности идеи унификации.

Семейство самолетов при таком проектировании как бы образуется на основе унифицированных частей конструкции из взаимозаменяемого комплекса агрегатов и систем, выполняющих аналогичную функцию. Не унифицируются только те части конструкции, которые и отличают каждую данную модификацию от базового самолета.

При модульном проектировании базовым самолетом следует считать тот, размеры и параметры которого оптимизируются. У модификаций некоторые из них могут оказаться не вполне оптимальными.

Общими при таком проектировании могут быть:

- двигатели с изменением их числа или тяги;
- крыло в целом или часть его (по размаху), а также кесон с сохранением или изменением прочности конструкции путем увеличения или уменьшения толщины обшивки, в зависимости от увеличения или уменьшения расчетных нагрузок;

- аналогично в отношении оперения и фюзеляжа. Можно сохранить, например, обводы фюзеляжа и, следовательно, одинаковыми будут монтажи всех систем. Можно применить на модификациях едиными лишь отдельные его части (отсеки, расположенные по длине), например носовую и хвостовую части фюзеляжа при изменении длины его цилиндрической части и т. д.

При сопоставлении понятий модификации и модульности можно предположить некоторое несоответствие, ибо модификации преследуют цель многообразия, а модульность — однообра-

зия или наибольшей преемственности, что является решением проблемы унификации агрегатов и систем оборудования. Однако противоречие это кажущееся. Путем модификаций достигается или создание гаммы самолетов (т. е. совокупности самолетов с различными характеристиками), или улучшение характеристик базового самолета с ростом (как правило) производительности. Описываемый метод позволяет использовать наибольшее число элементов конструкции и систем оборудования при разработке семейства модификации и, следовательно, создать многообразие самолетов, с различными характеристиками, но с однотипной конструкцией и едиными системами.

Существенное значение имеет качественная оценка преемственности (или в данном случае степени модульности) и выбор соответствующего критерия. За последний следует, видимо, принимать не весовое, а стоимостное выражение. Это можно подтвердить осредненными статистическими данными, из рассмотрения которых следует:

- относительная величина массы конструкции (в %) примерно в 1,8—2 раза больше ее относительной стоимости, выраженной также в процентном отношении;

- относительная стоимость (в %), а следовательно и трудоемкость систем оборудования и систем силовой установки, напротив, весьма значительна при небольшой величине их массы.

Из этого следует, что при проектировании целесообразно разрабатывать едиными для всего семейства модификаций следующие устройства: пилотские кабины, бортовые системы оборудования и силовой установки, системы управления самолетом и его агрегатами, запасные части и т. п. В итоге будет обеспечена идентичность материальной части (как для экипажа, так и для технического персонала), а также наземных технических средств обслуживания таких самолетов на земле и в полете.

Таким образом, замена крыла или двигателей, или частичное изменение длины фюзеляжа на одной из модификаций не исключает модульного метода проектирования, наибольший эффект от применения которого достигается в первую очередь от сохранения общими для всех модификаций систем оборудования и управления.

Рассматриваемый метод зародился вместе с тенденцией к созданию самолетов широкого диапазона дальности, обладающих примерно равной рентабельностью при эксплуатации на линиях различной протяженности. Последнее, правда, возможно лишь при условии различной плотности пассажирского потока. Например, аэробус или суперэробус, созданный для средних или дальних магистральных линий с пассажироместимостью, соответствующей прогнозируемому уровню пассажироперевозок, и рентабельный при коэффициенте пассажирозагрузки $k_{п.з}=0,6—0,65$, может быть использован (примерно с той же экономической отдачей) на коротких линиях с более интенсивным пасса-

жирским потоком, приводящим к повышению $k_{п.э}$ до 0,8—0,9. В другом случае (при сохранении $k_{п.э}=0,6—0,65$), целесообразность следует из возможности эксплуатации того же самолета, но с повышенным числом пассажирских кресел при более плотной их компоновке. Правда, коэффициент загрузки зависит от числа предлагаемых мест, тем не менее сказанное остается справедливым. Возможно и другое, например, эксплуатация более многочисленных дальних самолетов на коротких линиях с целью разгрузки аэропортов путем уменьшения частоты движения.

Понятно, что тенденция к созданию аэробусов широкого диапазона дальностей обусловлена высокой стоимостью самих аэробусов, что препятствует созданию большой гаммы разнотипных самолетов для линии с различной протяженностью. Но эта же причина препятствует широкой экономически целесообразной эксплуатации дальних самолетов на коротких линиях (с умеренным пассажиропотоком). С целью разрешения этого противоречия появился и развивается метод модульного проектирования.

Экономические преимущества семейства пассажирских модификаций на основе единого базового самолета даже при частичных весовых и иных издержках весьма значительны и при изготовлении, и при эксплуатации. Они достигаются снижением затрат на проектирование, испытание, серийное производство и обслуживание, а также затрат производственно-технических и научно-экспериментальных ресурсов. При этом эффект достигается благодаря общности большей части чертежей, определенной части расчетов и результатов продувок, статических, повторных и летных испытаний. На производстве сохраняется большая часть оснастки (стапели, шаблоны стыковочные, шаблоны разжгутовки и др.), стоимость которой значительна даже в сравнении с высокой стоимостью современных самолетов. При эксплуатации существенно сокращается номенклатура запасных частей и различного наземного оборудования.

Из сказанного следует:

— при создании семейства модификаций применение метода модульного проектирования возможно как при одновременном, так и при последовательном проектировании;

— на основе данного метода можно создавать не только семейство модификаций, но даже гамму самолетов одного назначения, но различного класса, т. е. самолеты с резко отличающимися характеристиками величины коммерческой нагрузки по дальности полета. В этом и есть основное отличие метода модульного проектирования от ранее принятой практики создания модификаций. Другое отличие можно заметить в последовательности разработки модификаций.

При модульном проектировании целесообразна, видимо, одновременная разработка не только семейства модификаций, но и гаммы самолетов, и создание их с некоторым опережением одних ради выявления резервов прочности и использования для последующих модификаций.

Если у некоторых самолетов из семейства (вследствие унификации) отдельные параметры или характеристики могут оказаться и не наилучшими, то суммарный экономический эффект при определенных условиях все же может быть значительным. В то же время известно, что суть модификаций заключается не только в создании семейства самолетов, но и в усовершенствовании каждого из них с целью удержать длительное время на уровне непрерывно возрастающих требований, с тем, чтобы их пассажироемкость повышалась по мере роста спроса и увеличивалась дальность его полета при появлении в этом необходимости. Следовательно, при одновременном создании семейства самолетов каждый из них в свою очередь может служить базовым для дальнейших модификаций.

В заключение кратко обобщим преимущества и недостатки метода модульного проектирования модификаций.

Преимущества данного метода:

— сохранение всей внутренней компоновки пассажирских салонов, кабины экипажа, разводки всех проводок и увязки оборудования (поэтому не нужно проводить большие конструкторские работы и изготавливать полноразмерный макет);

— в основном сохраняются система управления, все принципиальные схемы систем самолета, а иногда и силовая установка. При этих условиях затраты на разработку составят небольшую часть от полной стоимости разработки базового самолета. Сохраняется в основном производственная оснастка (стапели, шаблоны разжгутовки, стыковочные шаблоны и т. д.), стоимость которых значительна. Это позволяет изготовить агрегаты для различных модификаций самолета в одном производственном потоке. Существенно и улучшение условий эксплуатации, сокращение номенклатуры запасных частей, инструмента, агрегатов и наземного оборудования, что снижает прямые эксплуатационные расходы.

Недостатки метода модульного проектирования:

— возможная неоптимальность аэродинамических и весовых характеристик модификаций, приводимая к некоторому увеличению себестоимости перевозок.

Изменение числа двигателей при проектировании модульных модификаций с уменьшением тоннажа в значительной степени снижает указанные выше преимущества, полученные в связи с сохранением систем, проводок и т. п. При этом надо либо менять мощность агрегатов питания электросистемы, системы кондиционирования, концепцию дублирования и соответствующие проводки и их монтажи, либо принимать недостаточно рациональный вариант этих систем на базовом самолете. Сохранение же числа двигателей на модификациях с уменьшенной взлетной массой приводит к переразмеренности по тяге и к определенным экономическим издержкам.

Таким образом, существуют две противоположные тенденции: уменьшение расходов вследствие унификации; их увеличение

вследствие отклонения от оптимальных параметров в каждой модификации. Следовательно, применять модульный метод нужно экономически обоснованно с учетом потребного числа самолетов каждой модификации. Преимущества унификации зависят от объема серийного производства.

2.5. Ограничения модификаций пассажирских самолетов

При разработке модификаций появляются неизбежные физические ограничения в области прочности конструкции, аэродинамики компоновки и размерности самолета. Эти ограничения зависят от видов модификаций и объема изменений. Они различны для: 1) unplanned, 2) planned модификаций, 3) в случае применения метода модульного проектирования.

Примеры. 1. Изменение размеров крыла относится к наиболее сложному из видов модификаций. Если при увеличении площади крыло не заменяют полностью (рис. 1.8), а увеличивают его размах (см. рис. 1.7), то изменяются его многие аэродинамические параметры, а потребная прочность возрастает. Правда, при современных разработках подобных модификаций последнего удастся избежать путем оборудования самолета системой активного управления снижением нагрузок. Увеличение площади крыла нарушает и соответствие его с площадью оперения (что влияет на устойчивость и управляемость) и приводит к необходимости увеличить площадь оперения (см. рис. 1.8).

2. Увеличение длины фюзеляжа — наиболее распространенный вид модификаций — ограничено, главным образом, появлением туннельного эффекта в салонах вследствие нарушения соответствия между длиной фюзеляжа и размерами его поперечного сечения, характеризуемое величиной удлинения ($\lambda_{\text{ф}}$). Определенная соразмерность площади крыла и фюзеляжа может быть выражена отношением $l_{\text{ф}}/\sqrt{S_{\text{кр}}}$, изменяющимся в функции длины фюзеляжа.

Аэродинамических ограничений этот вид модификаций не встречает (эффективность оперения возрастает). Вопросы прочности довольно просто решаются, если фюзеляж удлиняют, а если его укорачивают, то решение прочностных вопросов связано со значительными изменениями конструкции вследствие необходимости снижения прочности, т. е. устранения избыточной массы почти всего силового каркаса.

У unplanned модификаций увеличение длины фюзеляжа ограничивается высотой стоек шасси, определяющей (вместе с длиной хвостовой части фюзеляжа) нормируемую величину посадочного угла.

3. Увеличение высоты стойки шасси, иногда необходимое при увеличении длины фюзеляжа, или замена колес (при значительном возрастании взлетной массы) ограничены размерами ниш для них в крыле и фюзеляже. Подобные изме-

нения или значительны, или даже невозможны. Поэтому целесообразно выбирать высоту стойки с некоторым резервом для планируемых модификаций.

4. Меньше всего ограничений (или их вообще нет) при разработке модификаций, связанных с заменой двигателей, правда, установке новых двигателей со значительным увеличением размеров может препятствовать лимитируемая (чтобы избежать засасывания песка) величина зазора от нижнего обвода гондолы до земли. Затруднений обычно нет и при замене систем оборудования (при расширении емкости топливной системы, при устройстве килевого топливного бака).

2.6. Дальнейшее развитие модификаций

Тенденция к созданию самолетов широкого диапазона дальностей в период разработки аэробусов была обусловлена их высокой стоимостью, что в то же время препятствовало созданию большой гаммы разнотипных самолетов для линий различной протяженности. Но это же является одной из причин, препятствующих широкой экономически целесообразной эксплуатации дальних самолетов на коротких линиях с умеренным пассажиропотоком.

С наступлением за рубежом энергетического кризиса и резким ростом цен на топливо, относительная доля расходов на которое возросла более чем вдвое, тенденция создания самолетов широкого диапазона дальностей утратила свою привлекательность.

При разработке самолетов четвертого поколения появилась другая тенденция более гибкого согласования размеров самолета с потребностью конкретных линий, что приводит к заметному снижению себестоимости эксплуатации. Поэтому метод модульного проектирования (который зародился в период разработки самолетов третьего поколения) свое полное развитие получит при создании самолетов четвертого поколения. Он в наибольшей степени соответствует решению проблем, связанных с появлением новой тенденции. Применение этого метода в дальнейшем хорошо согласуется с реализацией последних научно-технических достижений. Новое при использовании этого метода в дальнейшем — комплексный подход к реализации научно-технических достижений и в разработке принципиально новых, так называемых систем активного управления, значительном сокращении удельного расхода топлива двигателями, ослаблении шума на местности, создании аэродинамических профилей с суперкритическим обтеканием и новых композиционных материалов. Последние два фактора, а также автоматизация управления, значительно снизят расход топлива на единицу производительности. Они также приведут к снижению массы самолета, что в свою очередь будет способствовать снижению расхода топ-

лива. Решение этих задач приведет к значительному повышению их технической эффективности, а в совокупности с новым методом модульного проектирования — к значительному снижению себестоимости эксплуатации.

При разработке самолетов четвертого поколения и проектировании семейств их модификаций столь сложной проблемы как теперь энергетическая, пожалуй не возникало. Скорость полета, проблемы весовая, композиционных материалов и другие стали играть подчиненную роль. Решение их подчинено значительному снижению расхода топлива на единицу производительности (на 30—40%). Другую достаточно острую проблему — снижение стоимости разработки и стоимости серийных самолетов, можно решить путем разработки семейства модификаций различных классов на базе одних (или модифицированных) двигателей, одного типоразмера крыла и т. п., т. е. с помощью максимальной унификации.

Решение перечисленных проблем потребовало нового подхода к разработке высокоэкономичных двигателей, аэродинамики крыла, силовой конструкции, создания систем активного управления. Причем основными проектировочными критериями эффективности становятся уже не весовой показатель и себестоимость эксплуатации, а топливный, и цена не только самолета в целом, но и каждого из его агрегатов.

2.7. Техничко-экономическое обоснование планируемых модификаций

В настоящее время экономические обоснования новой техники стали важнейшей составляющей частью проектирования и вообще создания самолета.

Для оптимизации сложных решений проектирования современной авиационной техники недостаточны методы параметрического анализа, основанные на различных критериях, которые позволяют судить лишь об отдельных видах эффективности самолета*. Показатели себестоимости перевозок обладают более широкой областью применения и создают представление (более полное, чем другие критерии) о располагаемой эффективности данного самолета. Однако они не учитывают динамики требований линий, так как основаны на сложившихся в каждый конкретный момент среднестатистических значениях различных экономических показателей. Таким образом, методы параметрического анализа и определения себестоимости эксплуатации при проектировании семейства модификаций необходимы, но недостаточны. При исследовании целесообразности модификации также нельзя ограничиваться сравнительной оценкой себестои-

* Различают несколько видов эффективности самолета и его частей, например, транспортная, производственно-техническая, весовая, экономическая и т. п. [19].

мости перевозок (т·км или пассажирокилометра) проектируемого и эксплуатируемых самолетов на основе определения полной себестоимости или прямых эксплуатационных расходов (ПЭР).

При планировании модификаций на основе экономического критерия рекомендуется рассматривать не только единичный самолет, но и весь парк и даже транспортную систему в целом. Кроме того, полезно учитывать динамику экономических параметров производства и эксплуатации: стоимость самолета, двигателей, их ремонта; объем годового выпуска самолетов; изменение по времени парка самолетов и годового их налета и т. п. А при оценке целесообразности малых или глубоких модификаций следует учитывать издержки, связанные с перестройкой производства.

Знание теоретических основ этих методик и их отличительных особенностей поможет понять физический смысл решаемых задач планирования и причины появления самих модификаций.

Методы экономического исследования разрабатывались непосредственно для решения задач, связанных с планированием модификаций пассажирских самолетов, за исключением метода динамического моделирования А. В. Гличева, разработанного для исследования широкого круга вопросов проектирования, производства и эксплуатации различных видов техники и технических систем в целом. Метод Гличева отличается своей универсальностью, поэтому с его помощью очень удобно решать задачи планирования модификаций, в результате чего получается график, наглядно иллюстрирующий целесообразность планирования модификаций: он показывает окупаемость издержек планирования, основанного на резервировании, конечно, весьма умеренном*.

2.7.1. Постановка задач планирования модификаций

Применение методов, естественно, связано с постановкой задач, которые существенно различны.

Постановка и решение задачи о модификациях пассажирских самолетов зависят от момента ее возникновения: 1) на стадии проектирования базовых самолетов или 2) при их эксплуатации. В первом случае разрабатываются планируемые модификации, во втором — непланируемые.

Целесообразность планирования модификаций основывается на информации или прогнозах, позволяющих: 1) определить потребное число самолетов на начало и конец эксплуатации; 2) выяснить потребное число модификаций с оптимизированной последовательностью; 3) на основе первых двух положений разработать экономические обоснования оптимального соотношения числа базовых самолетов и числа их модификаций.

* Здесь показана основа метода Гличева, подробно он изложен в работе [7].

Для упомянутых в п. 3 обоснований необходима разработка технико-экономической модели с помощью вычислительной техники. При моделировании сравниваются самые различные варианты парка самолетов и всевозможные планы их модификации. В результате определяется наиболее рациональный парк самолетов и дается обоснование планов их модификаций. Упомянутая технико-экономическая модель должна описывать взаимосвязь характеристик и параметров самолетов, а также учитывать все виды затрат на проектирование, изготовление, эксплуатацию и модификацию парка самолетов.

Заметим, что затрата на создание опытного самолета, на научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР), а также на запуск в серийное производство, т. е. затраты, не связанные непосредственно с изготовлением каждого последующего серийного самолета, составляют значительную сумму. При исследованиях они включаются в стоимость самолета и окупаются, по утверждению зарубежного экономиста Стерми [28], выпуском примерно 250 самолетов. Число это называется порогом рентабельности. При числе заказов ниже его значения разработка самолета не окупается. Порог рентабельности в значительной степени зависит от типоразмера конкретного самолета и уровня цен.

Исследования, учитывающие все эти затраты, и связанные с определением потребной пассажироместимости проектируемых самолетов или с планированием модификаций, основаны за рубежом на тщательном изучении рынка. Там сложилась относительно новая наука, называемая маркетинг, изучающая методы определения потребности рынка и методы управления торговлей.

2.7.2. Комплексное экономическое исследование эффективности технических систем на основе динамического моделирования (Метод А. В. Гличева)

Модификации целесообразно планировать с учетом условий эксплуатации и потребностей в развитии парка самолетов, т. е. в масштабах воздушно-транспортной системы. Это исследование может быть основано на методе А. В. Гличева [7] и состоять из двух частей: 1) построение модели исследуемого процесса (создание самолета и его модификаций, серийное производство и эксплуатация), 2) решение модели и анализ результатов.

Технико-экономические модели — своеобразные формы абстрагирования и обобщения действительности. Они позволяют изучать количественную форму функциональной зависимости, существующей между переменными факторами исследуемого процесса. Модель, выражая не всю сумму факторов и составляющих, а наиболее типичные представления о нем, обычно отличается от самого моделируемого экономического процесса.

В общем смысле под моделью понимается реальная или мысленная конструкция какого-либо процесса или явления, отображающая наиболее существенные и характерные черты объекта исследования.

Модели, применяемые при решении задачи методом Гличева, отражают медленное протекание экономических процессов во времени и учитывают длительность периода, в течение которого функционирует в народном хозяйстве тот или иной вид техники, в данном случае авиационной. Достоверность результатов при моделировании зависит от качества модели процесса, от количества принятых во внимание факторов, параметров и условий, влияющих на процесс. Модель должна учитывать как параметры процесса, так и наиболее существенные различия между ними, что позволяет отличать данный процесс от всех других, подобных ему. Правильно построенная модель позволяет, с одной стороны, делать конкретные выводы о структуре и важнейших закономерностях развития создания и использования технической (транспортной) системы, с другой — производить необходимые расчеты по определению ее экономических и технических показателей.

Построение модели исследуемого процесса А. В. Гличев разграничил на следующие этапы:

1. Постановка задачи. Учет народнохозяйственных ситуаций, в которых могут создаваться и использоваться технические системы.

2. Выбор целевой функции модели.

3. Разработка алгоритмов вычисления целевой функции.

4. Составление программы вычислений на ЭВМ количественных значений целевой функции.

5. Подготовка исходных данных для расчетов по составленной программе.

Экономическую целесообразность модификаций пассажирского самолета определяют экономической эффективностью на основе двух подходов к проектированию: первый из них заключается в проектировании наиболее оптимального самолета без планирования модификаций; при втором подходе — разработка самолета как базового, на основе которого планируются модификации или даже одновременное проектирование их семейства.

В последнем случае базовый может оказаться, как уже отмечалось, неоптимальным, вследствие планирования модификаций на основе метода резервирования и оптимальным — на основе метода модульного проектирования.

Таким образом, можно количественно оценить целесообразность резервирования и предельных его значений.

Пример: рассмотрим формулировку самой задачи.

В отличие от обычного расчета себестоимости эксплуатации, который ведется в функции дальности полета или для конкретных воздушных линий и соответствующей рейсовой ско-

рости. Согласно данному методу расчет ведется по средним значениям дальности полета, интенсивности эксплуатации, рейсовой скорости полета, коэффициента загрузки.

Каждая из этих величин оказывает влияние на величину целевой отдачи, выбор параметров самолета, его производительность, общее число необходимых самолетов (включая резервные).

Другая и наиболее важная отличительная особенность данного метода — толкование целевой отдачи, за которую Гличев принимает объем транспортной работы, выполненной всеми самолетами данного типа за весь период их эксплуатации.

Для исследования экономической эффективности двух подходов к проектированию рекомендовано принимать следующие ситуации.

Ситуация 1. Создается самолет А (без планируемых модификаций), поступает в серийное производство, а затем при эксплуатации в течение заданного числа лет образуется парк потребного числа самолетов.

Ситуация 2. Разрабатывается самолет Б и при этом планируется первая модификация В. За тот же период образуется такой же парк самолетов, но часть его составляют базовые самолеты А, а часть — модификации В.

Основная особенность метода — принимаемые критерии эффективности.

1. Показатель годовой рентабельности производственных фондов:

$$K_{p.p.i} = \frac{(a_{\tau i} - a_i) \Pi_{\text{час } i} T_{\Gamma i} N_i}{B_{п.ф.i}} \left(\frac{\text{руб. приб}}{\text{руб. п. ф}} \right), \quad (2.1)$$

где $a_{\tau i}$ — тариф на 1 т·км в i -м году; a_i — себестоимость 1 т·км в i -м году; N_i — среднегодовое количество самолетов, эксплуатируемых в i -м году; $\Pi_{\text{час } i}$ — средняя часовая производительность одного самолета в i -м году; $T_{\Gamma i}$ — средний годовой налет одного самолета в i -м году; $B_{п.ф.i}$ — среднегодовая величина производственных фондов в i -м году.

2. Показатель полной эффективности — отношение результатов транспортной работы самолетов (в натуральной или стоимостной форме) ко всем затратам, связанным с созданием и применением самолетов данного типа. Отношение прибыли, получаемой в результате транспортной работы самолета, ко всем затратам названо показателем полной рентабельности $K_{п.р.i}$:

$$K_{п.р.i} = \left(\sum_{i=1}^{i=\tau} (a_{\tau i} - a_i) \Pi_{\text{час } i} T_{\Gamma i} N_i \right) / \sum_{i=1}^{i=\tau} (B_{п.р.i} + B_{из.i} + B_{эк.i}) \times \left(\frac{\text{руб. приб}}{\text{руб. затр}} \right), \quad (2.2)$$

где $B_{п.р.i}$ — затраты на создание опытных образцов самолета в i -м году; $B_{из.i}$ — затраты на серийное изготовление самолетов данного типа в i -м году; $B_{эк.i}$ — затраты на эксплуатацию самолетов данного типа в i -м году; $t_э$ — число лет эксплуатации самолетов данного типа; τ — количество лет создания и эксплуатации самолетов данного типа.

Отношение результатов транспортной работы в натуральной форме ко всем затратам названо показателем удельной производительности. Он рассчитывается по формуле

$$K_{y,ли} = \left(\sum_{i=1}^{i=t_э} \Pi_{час.i} T_{г.i} N_i \right) / \left[\sum_{i=1}^{i=\tau} (B_{п.р.i} + B_{из.i} + B_{эк.i}) \right] \left(\frac{\text{т. км (пасс. км)}}{\text{руб. затрат}} \right). \quad (2.3)$$

Каждый из показателей экономической эффективности может служить в качестве целевой функции при исследовании эффективности транспортных самолетов, так как отвечает требованиям, предъявляемым к целевой функции. Наилучшему показателю эффективности будет соответствовать более эффективный вариант транспортной работы самолета.

Приведенные формулы, имея общий характер, представляют собой математическое выражение физического смысла самого метода. Для выполнения расчетов автор метода привел рабочие формулы и алгоритмы [7].

2.7.3. Экономическая оценка модификаций самолета методом С. Н. Кукушкиной [12]

Если метод А. В. Гличева может быть использован в период планирования модификаций, то метод С. Н. Кукушкиной [12] предназначен для прогнозирования стоимости и времени на основе оценки не абсолютного уровня затрат и величины циклов (разработки, изготовления, эксплуатации), а их изменения относительно аналогичных показателей базового самолета, который она именует прототипом. Поэтому за основу прогнозной оценки экономических показателей модификаций она полагает целесообразным принять один из сопоставительных или сопоставительно-нормативных подходов, применяемых для приближенных экономических расчетов. Иначе говоря, рассматриваемый метод базируется на методе переводных коэффициентов и статистическом. При этом Кукушкина исходит из того очевидного положения, что модификации представляют как раз тот случай в практике экономического прогнозирования, когда имеется база для расчетов со сложившимися экономическими показателями — временными и стоимостными.

Сопоставительные и сопоставительно-нормативные методы предполагают наличие определенного (с достаточной степенью точности) уровня показателя времени и стоимости затрат по

базовому изделию и соответствующих корректировочных коэффициентов, учитывающих особенности формирования показателей по рассматриваемому изделию.

Если предыдущие методики основаны на исследованиях в масштабах транспортной системы или парка самолетов, то С. Н. Кукушкина исследует факторы, влияющие на экономическую эффективность модификаций конкретного самолета. Она исходит из того, что специфика формирования абсолютных стоимостных, временных и структурных показателей модификаций обуславливается в первую очередь и в наибольшей степени (наряду с характером модификаций) преемственностью или новизной конструкции. Применение уже отработанных конструктивно-технических решений, заимствование у самолета-прототипа принципиальной конструктивной и аэродинамической схемы, ряда деталей, узлов и агрегатов позволяет рассматривать конструкцию модификации, условно состоящей из двух частей — заимствованной у самолета-прототипа и оригинальной. Их соотношение заимствованной и оригинальной частей дает представление о степени преемственности и степени новизны конструкции модификации.

Основная формула, в общем виде выражающая идею метода, определяет величину затрат на разработку (изготовление) модифицированного самолета: $c_m \approx c_0' k_1 k_2$, где c_0' — фактические (нормативные) затраты на разработку, (изготовление) прототипа с учетом устранения непроизводительных затрат; k_1 — коэффициент, учитывающий степень отличия модифицированного самолета от прототипа и специфические условия его разработки (изготовления); k_2 — коэффициент, учитывающий совершенствование методов разработки (изготовления) изделий, форм и методов организации производства за период между сроками разработки (изготовления) модифицированного самолета и его прототипа (коэффициент, учитывающий рост производительности труда).

Коэффициент k_1 отражает влияние на изменение уровня затрат эксплуатационных и конструктивно-технологических, а также специфических производственных факторов. Степень преемственности и новизны изделия принято выражать соответственно коэффициентами $k_{пр}$ и $k_{нов}$.

В случае применения переводных коэффициентов показатели новизны или преемственности могут быть определены как средние переводные коэффициенты, исчисленные по совокупности изменяющихся параметров (конструктивных элементов) с учетом удельной значимости изменения каждого параметра (конструктивного элемента) для общего показателя новизны:

$$k_{нов} = \sum_{i=1}^n \beta_i k_{ni}, \quad (2.4)$$

$$k_{пр} = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i k_{при}, \quad (2.5)$$

где β_i — удельные значимости изменения каждого параметра

(конструктивного элемента); k_{ni} — частный коэффициент новизны (частный переводной коэффициент), исчисленный по i -му изменяющемуся параметру (конструктивному элементу); β_0 — удельная значимость неучтенных компонентов.

Таким образом, себестоимость разработки (изготовления) модифицированного самолета может быть представлена в виде

$$c_m = f(x_i, y_i) k_1 k_{np} k_{ocv} + f(x_i, y_i) k_2 k_n k_{\Delta y_i}, \quad (2.6)$$

где $f(x_i, y_i)$ — уровень себестоимости прототипа, сложившийся под действием эксплуатационных, технико-конструктивных и производственных факторов, свойственных прототипу и условиям его разработки (изготовления); k_{ocv} — коэффициент, характеризующий степень освоения преемственной части конструкции модификации; $k_{\Delta y_i}$ — коэффициент, характеризующий изменение условий разработки (изготовления) модифицированного самолета по сравнению с условиями разработки (изготовления) прототипа.

Преемственность и новизна обуславливают действие всех остальных (производных) специфических для модификаций факторов, которые можно подразделить на общие, характерные для всех стадий жизненного цикла модифицированного самолета, и конкретные, проявляющиеся только на определенной стадии или этапе создания модификаций.

К общим факторам С. Н. Кукушкина относит степень отработанности конструкции, которая тем выше, чем выше степень преемственности [12]. Специфические для отдельных этапов жизненного цикла модификаций факторы определяют особенности формирования затрат на этих этапах.

На этапе опытно-конструкторской разработки модификации преемственность конструкции позволяет использовать уже разработанные для прототипа чертежи по заимствованным элементам конструкции отдельных агрегатов, узлов, групп оборудования, тогда как для оригинальных элементов осуществляется весь объем проектировочных работ.

В заключение перечислим задачи, которые могут быть решены с помощью методик экономических исследований:

- 1) определение экономически целесообразного количественного соотношения базовых самолетов и их модификаций в общем парке пассажирских или транспортных самолетов, 2) прогнозирование (на стадии эскизного проектирования) последовательности поступления и распределения во времени модификации самолетов данного парка, 3) определение целесообразности модификации эксплуатируемых самолетов с учетом остаточного срока их эксплуатации, 4) выполнение сравнительного анализа самолетов различных схем и компоновок, а также различных способов их модификаций, 5) определение целесообразного срока эксплуатации самолетов при значительном росте объема перевозок в рассматриваемый период времени.

2.8. Критерии параметрического анализа эффективности модификаций

2.8.1. Виды эффективности и методы анализа технико-экономического совершенства

Уровень технического совершенства модификации как и базового самолета оценивается совокупностью технико-экономических критериев и определяется на основе анализа эффективности. При этом рассматриваются следующие виды эффективности: экономическая, энергетическая (или топливная), транспортная и весовая*, и используются следующие методы: 1) сравнительный анализ на основе прототипа, 2) статистический анализ, 3) параметрический анализ, основанный на системе критериев, 4) аналитическое исследование, 5) качественная оценка.

При **сравнительном анализе** за базу сравнения принимают самолет-прототип, высокая эффективность которого известна. При выборке прототипа необходимо выполнение правила сопоставимости. В случае существенных различий в схемах, характеристиках и параметрах применяется метод приведения (оценка массы конструкции, связанной с этими различиями). Для модификаций прототипом служит как базовый самолет, так и однотипные модификации равноразмерных самолетов.

При **статистическом анализе** базой сравнения служат значения критериев большого числа однотипных самолетов того же класса. В этом случае учитываются закономерности изменения величины критериев с изменением одной из основных характеристик самолета, например, его взлетной массы или дальности полета.

Анализ, основанный на системе критериев, приводит к наиболее объективным выводам о различных видах эффективности самолета, поскольку вести сравнение по единому показателю, который бы характеризовал все свойства в их совокупности, обычно не удается. Задача формирования единого показателя технического совершенства весьма сложна и пока не получила решения. Поэтому рекомендуется многокритериальная система. Под термином «система критериев» понимается совокупность взаимодополняющих величин, каждая из которых характеризует отдельные свойства самолета и его частей.

Аналитическое исследование основано на сопоставлении теоретически найденных зависимостей с фактическими (статистическими) данными.

Качественная оценка основана на сопоставлении показателей эффективности конкретного самолета с данными, полученными на основе анализа исторического роста, технического и, в

* Подробная классификация видов эффективности, предложенная В. И. Козловским, приведена в работе [19].

частности, весового совершенства конструкций и самолета в целом.

За базу сравнения в случае применения трех последних методов рекомендуется принимать данные большого числа однотипных самолетов.

2.8.2. Критерии

Критерии подразделяют на общие (интегральные), выражающие многие свойства самолета в целом, и частные, выражающие отдельные свойства самолета или его частей. Их подразделяют и по функциональным признакам в соответствии с перечисленными выше видами эффективности (критерии экономической, энергетической, транспортной и весовой эффективности).

Ни один из критериев, которых достаточно много, однозначно не характеризует рассматриваемый вид эффективности. Например, одни из весовых критериев определяют связь массы и прочности, другие — массы и производительности, иные — массы и геометрических размеров и т. п. Самолеты с примерно равной себестоимостью перевозок могут приносить резко отличающуюся часовую (или годовую) прибыль. Следовательно, наиболее полные и объективные выводы о том или ином виде эффективности модификаций и базовых самолетов можно получить лишь на основе системы критериев.

К критериям экономической эффективности относятся:

1) себестоимость эксплуатации (или перевозок), определяемая на основе различных методов и метода нормативных ставок (себестоимость выражается в коп./т·км, коп./пасс·км), 2) условная часовая и рейсовая прибыль, 3) коэффициент рентабельности, 4) приведенные затраты, 5) порог рентабельности, который выражается соотношением

$$k_{п.р} = \frac{n_{пасс.рент}}{n_{пасс.мах}} 100\% \quad \text{или} \quad k_{п.р} = \frac{a'_{100}}{a_{\tau}} 100\%,$$

где $n_{пасс.рент} = A' L_{пр} / \Pi_{\phi} V_p$, $a'_{100} = A' 100 / m_{к.н} L_p$ — себестоимость перевозок при 100%-ной загрузке; A' — стоимость летного часа, руб/ч, $L_{пр}$ — практическая дальность полета, км; a_{τ} , Π_{ϕ} — тариф и цена билета; V_p — рейсовая скорость, км/ч; 6) стоимость единицы рейсовой ($c_{пр}$) или часовой ($c'_{пр}$) производительности

$$c_{пр} = \Pi_{\phi} / m_{к.н} L_{пр} \quad \text{или} \quad c'_{пр} = \Pi_{\phi} / m_{к.н} V_p, \quad (2.8)$$

где $m_{к.н}$ — масса коммерческой нагрузки, Π_{ϕ} — цена самолета.

Критерии энергетической или топливной эффективности ($k_{т.э}$ и $k'_{т.э}$) выражают расход топливной энергии на единицу производительности (т·км или пасс·км) и учитывают удельный расход топлива двигателями, аэродинамическое качество самолета

та, массу пустого снаряженного самолета:

$$k_{т.э} = m_t / (n_{\text{пас.мах}} L_{\text{тех}}) \text{ (г/пас} \cdot \text{км)}, \quad (2.9)$$

$$k'_{т.э} = m_t / (m_{к.н.мах} \cdot L_{\text{тех}}) \text{ (г/т} \cdot \text{км)}, \quad (2.10)$$

где m_t — запас топлива на старте; $L_{\text{тех}}$ — техническая дальность полета; $k_{т.э}$ — первый критерий следует вычислять для точки, соответствующей дальности полета с коммерческой нагрузкой, равной $m_{к.н} = 100 \cdot n_{\text{пас}}$, второй критерий — для расчетной дальности полета с $m_{к.н} = \text{мах}$.

Выбор приведенных условий вычисления критериев топливной эффективности определяется следующим.

1. Находить значение первого критерия для расчетной точки с максимальной массой коммерческой нагрузки некорректно, поскольку у различных самолетов коэффициент коммерческой нагрузки колеблется в значительных пределах:

$$k_{к.н} = m_{к.н} / n_{\text{пас}} = 90—145 \text{ кг/пас.} \quad (2.11)$$

Кроме того, увеличение максимальной массы коммерческой нагрузки (при сохранении числа пассажиров) приводит к повышению экономической эффективности и в то же время ухудшает показатель топливной эффективности, если первый критерий определять для расчетной точки с максимальной массой коммерческой нагрузки.

2. Выбор технической (а не практической) дальности полета исключает влияние различного по величине навигационного запаса топлива при сравнении эффективности различных самолетов.

Графических зависимостей, выражающих связь энергетического критерия с какой-либо характеристикой самолета, для одновременного сопоставления многих самолетов найти пока не удалось. Сопоставления топливной эффективности модификации с базовым самолетом показаны на рис. 1.12 и 1.13. (Для критериев, выражающих другие виды эффективности, удается найти зависимости и выразить их графически, что будет показано ниже.)

Транспортная эффективность — понятие новее других. Она характеризуется работоспособностью и производительностью самолета [18] и выражает соответствие этих величин весовому и аэродинамическому совершенству самолета.

Критерии транспортной эффективности выражают связь: 1) между массой снаряженного самолета и его производительностью, 2) между средствами, затрачиваемыми на достижение производительности, и величиной последней.

Простейшие из этих критериев выражают массу снаряженного самолета, приходящуюся на единицу производительности:

$$t_1 = \frac{m_{п.сн}}{(m_{к.н} L_t)} \left(\frac{\text{кг}}{\text{т} \cdot \text{км}} \right), \quad t'_1 = \frac{m_{п.сн}}{(n_{\text{пас}} L_t)} \left(\frac{\text{кг}}{\text{пас} \cdot \text{км}} \right). \quad (2.12)$$

Значения этих критериев меняются по мере изменения нагрузки и дальности полета. Поэтому для прямого сравнения по этим критериям необходимо, чтобы самолеты имели одинаковые нагрузку и дальность полета. Поскольку такого совпадения характеристик у различных самолетов практически не бывает, то уровень технического совершенства приходится выявлять с помощью графических зависимостей.

Физические связи критериев эффективности с основной характеристикой самолета наиболее точно выражаются гиперболой с отличающимися по величине коэффициентами для каждого поколения самолетов (рис. 2.8 и 2.9). На этих графиках иллюстрируется рост транспортной эффективности модификаций.

При одной и той же дальности полета самолеты с различной грузоподъемностью обладают и различными массами снаряженных самолетов, поэтому значения рассматриваемых критериев располагаются на одной гиперболе в том случае, когда отношения дальностей полетов к целевой нагрузке находятся в определенном диапазоне. Вследствие этого точки с различными соотношениями дальности полета и массы коммерческой нагрузки сгруппировались в трех зонах.

Об эффективности самолета по этому критерию можно судить по отклонению значения критерия от статистической зависимости (для базовых самолетов и модификаций одного и того же поколения) при совпадающем отношении дальности к нагрузке.

Более общий критерий транспортной эффективности выражает связь между производительностью и средствами ее достижения:

$$t_{\text{тр.эф}} = k_V (m_{\text{кн}} L_{\text{тех}} V_{\text{кр}}) / (m_{\text{т}} m_{\text{п.сн}}),$$

$$\text{или } t_{\text{тр.эф}} = k_V (m_{\text{кн}} V_{\text{кр}}) / (q_L m_{\text{п.сн}}), \quad (2.13)$$

где $k_V = V_{\text{р}} / V_{\text{кр}}$ — коэффициент, учитывающий отношение рейсовой скорости полета к крейсерской; $q_L = m_{\text{т}} / L$ — километровый расход топлива кг/км.

Следовательно, данный критерий обобщенно учитывает топливную и весовую эффективность самолета на основе его производительности.

Критерий транспортной эффективности введен для преодоления недостатков отдельных критериев, подробно анализируемых в работе [14], и выражает взаимозависимость основных факторов, на которые не влияют условия эксплуатации. Величина этого критерия тем больше, чем больше величина работы $(m_{\text{кн}} \cdot L_{\text{тех}} \cdot \text{т} \cdot \text{км})$ при полете с наимыгоднейшей крейсерской скоростью, минимальными расходом топлива и массой пустого снаряженного самолета.

Авторы работы [14] преобразовали выражение (2.13), обозначив все члены уравнения, кроме q_L через $\bar{\Pi}$ и получили $t_{\text{тр.эф}} = \bar{\Pi}_{\text{п.сн}} / q_L$.

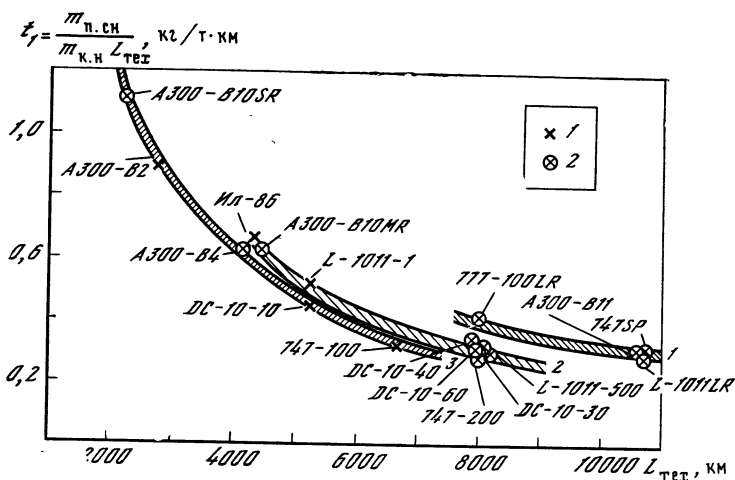


РИС. 2.8. Критерий транспортной эффективности, выраженный зависимостью массы снаряженного самолета, приходящейся на один т·км, от дальности полета

1 — $L_{тех}/m_{к.н.} > 0,25$; 2 — $L_{тех}/m_{к.н.} = 0,12 \dots 0,20$; 3 — $L_{тех}/m_{к.н.} < 0,12$

I — базовые самолеты; 2 — модификации

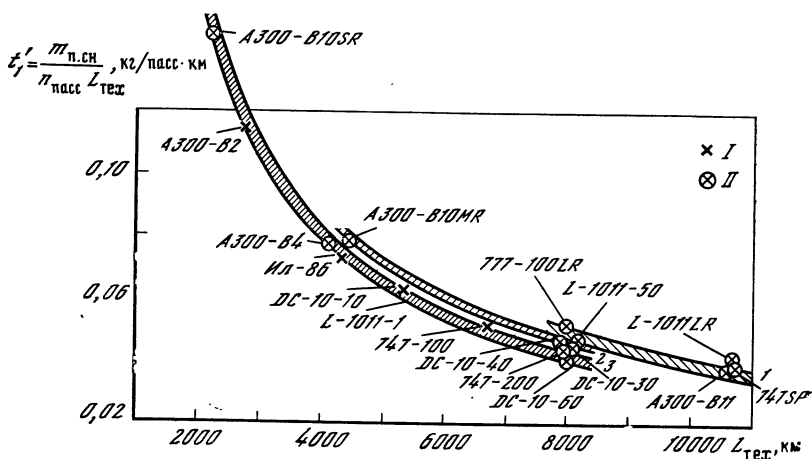


РИС. 2.9. Критерий транспортной эффективности, выраженный зависимостью массы снаряженного самолета, приходящейся на один пассажирокилометр, от дальности полета

I — $L_{тех}/m_{к.н.} = 30 \dots 50$; 2 — $L_{тех}/m_{к.н.} = 20 \dots 25$; 3 — $L_{тех}/m_{к.н.} < 20$

I — базовые самолеты; II — модификации

Далее они пишут: «... критерий транспортной эффективности В. М. Шейнина, равный удельной производительности, деленной на километровый расход топлива, учитывает все необходимые факторы: весовое и аэродинамическое совершенство самолета и экономичность двигателей. Однако область применения критерия ограничена возможностью сравнения машин с одинаковой полетной массой».

Это справедливое замечание относится практически ко всем критериям эффективности. Действительно, их значение меняется по мере изменения или взлетной массы, или иной характеристики самолета. Это положение наглядно подтверждают приведенные ниже графики. Поэтому сравнивать самолеты по величине какого-либо критерия можно при строгих условиях сопоставимости, подробно изложенных в работе [21]. Для более объективных выводов об эффективности самолетов следует пользоваться графическими зависимостями, выражающими изменение величины критерия в функции или взлетной массы, или дальности полета, или иных характеристик, физическая связь которых с применяемым критерием наиболее очевидна.

Критерий М. Л. Миль для определения экономичности транспортного вертолета с точки зрения расхода топлива фактически представляет собой системы двух критериев. О них М. Н. Тищенко, А. В. Некрасов и А. С. Родин [14] пишут: «Рассматривая два аппарата с одинаковой производительностью, М. Л. Миль предложил использовать в качестве критерия величину $L_{\text{в.у}}$, равную условной эквивалентной дальности, которую может пролететь рассматриваемый летательный аппарат, если вся полезная нагрузка в нем будет заменена топливом:

$$L_{\text{в.у}} = m_{\text{п.н}} V_{\text{кр}} \cdot 10^3 / m_{\text{т.ч}}, \quad (2.14)$$

где $m_{\text{п.н}}$ — полная нагрузка, включающая груз и топливо, кг, $m_{\text{т.ч}}$ — часовой расход топлива, кг/ч.

Этот критерий учитывает весовое и аэродинамическое совершенство аппарата и совершенство двигательной установки. Однако условия его применения, связанные с изучением предельной дальности, могут вызвать затруднения. Действительно, из двух вертолетов (например, с одинаковым значением $L_{\text{в.у}} = 1800$ км на меньших дальностях) один из них перевозит гораздо меньшие грузы, однако в силу высокого аэродинамического качества и хороших характеристик двигателя по расходу топлива имеет высокое значение критерия. Чтобы преодолеть этот недостаток, М. Л. Миль ввел еще один критерий — величину C_L , показывающую, сколько топлива необходимо затратить для выполнения транспортной работы в 1 т·км:

$$C_L = (1000 m_{\text{т}} / m_{\text{гр}} L) + \Delta C_{L \text{ вис}},$$

где $m_{\text{т}}$ — топливо, потребное для полета на дальность, $\Delta C_{L \text{ вис}}$ — затраты топлива в режиме висения [14].

В таком виде критерий позволяет определить топливную эффективность при любой дальности, но перестает отражать весовое совершенство летательного аппарата, что также ограничивает область его применения. М. Л. Миль, считая топливную эффективность важнейшим параметром, писал, что этот критерий учитывает не только экономику, но и вполне весомое требование обеспечения транспортных средств топливом.

Таким образом, характеризуя весьма важное (например, в условиях энергетического кризиса) качество вертолетов, критерий C_L не в полной мере отражает весовое совершенство, а критерий $L_{a.y}$ — величину перевозимого груза, и поэтому в общем случае для оптимизации параметров транспортных вертолетов их применять неудобно.

Критерий транспортной эффективности грузовых и пассажирских вертолетов, предложенный М. Н. Тищенко, А. В. Некрасовым и А. С. Родиным [14], представляет собой отношение удельной производительности к удельному расходу топлива. Он учитывает три основных фактора: аэродинамическое качество (K), удельный расход топлива в крейсерском режиме ($c_{e,кр}$) и потери мощности двигателя, присущие схеме рассматриваемого аппарата. Автор назвал этот критерий приведенной производительностью

$$\bar{P}_{к.э.в} = \bar{P}_{п.в}/\bar{q}_в,$$

где $\bar{P}_{п.в}$ — удельная производительность вертолета, определяемая уравнением, аналогичным (2.13), выведенным для пассажирских самолетов:

$$\bar{P}_{п.в} = k_V (m_{гр}VL)/m_T,$$

$q_в$ — удельный расход топлива, определяемый уравнением

$$\bar{q}_в = q_в/m_0 = c_{e,кр}/(0,27k_VK\xi) \quad \text{или} \quad \bar{q}_в = m_T/m_0L,$$

где ξ — коэффициент использования мощности и КПД двигателя.

За критерией весовой эффективности силовых установок принимают коэффициент ($k_{c.y}$), выражающий отношение массы ($m_{c.y}$) силовой установки (без агрегатов и систем, не закрепленных непосредственно на пилонах) к массе двигателей:

$$k_{c.y} = (m_{c.y} - m_{т.с} - m_{упр.дв} - m_{в.с.у})/m_{сух.дв},$$

где $m_{т.с}$ — масса топливной системы, $m_{упр.дв}$ — масса системы управления двигателями, $m_{в.с.у}$ — масса вспомогательной силовой установки, $m_{сух.дв}$ — масса сухого двигателя [21].

Критерий $k_{c.y}$ обычно выражают через массу сухого двигателя, его значения в этом случае для большого числа четырехдвигательных самолетов находятся в пределах 1,56—1,76. Однако это выражение имеет существенный недостаток, ибо в числителе

его учитывается масса реверсеров ($m_{\text{рев}}$), самолетных агрегатов ($m_{\text{с. аг}}$) и элементов шумоглушения канала воздухозаборника ($m_{\text{э. ш}}$), которые не только не воспринимают нагрузки, но сами нагружают силовую конструкцию. Более точным критерием следует считать отношение массы силовой установки к массе снаряженного двигателя ($m_{\text{сн. дв}}$), т. е. двигателя с установленными на него реверсивными устройствами, самолетными агрегатами, маслосистемой и другими несиловыми элементами [21]:

$$k'_{\text{с. у}} = (m_{\text{с. у}} - m_{\text{т. с}} - m_{\text{упр. дв}} - m_{\text{в. с. у}}) / m_{\text{сн. дв}}, \quad (2.17)$$

$$m_{\text{сн. дв}} = m_{\text{дв}} + m_{\text{рев}} + m_{\text{с. аг}} + m_{\text{э. ш}}. \quad (2.18)$$

Пределы значений этого критерия учитывают не только весовое совершенство конструкции силовой установки, но и ее схемные особенности: для самолетов с кормовой (типа Ил-62М) и смешанной (типа ДС-10—30) компоновкой двигателей этот критерий должен иметь большую величину, а для подкрыльевой установки двигателей — меньшую. Значение $k'_{\text{с. у}}$ несколько выше у самолетов с большим выносом двигателей относительно передней кромки крыла и ниже при малом выносе.

Критерии весовой эффективности базовых самолетов и их модификаций включают все виды весовой отдачи и удельные значения массы. Математическое выражение критериев выявляет связь между видами коммерческой нагрузки и массой самолета или его частей, а также массой и размерами или нагрузками, действующими на конструкцию.

Весовая отдача, длительное время считавшаяся основным критерием весовой эффективности пассажирских самолетов, — неисчерпывающий показатель весовой эффективности. Это объясняется главным образом тем, что повышение топливной эффективности ведет к автоматическому (по уравнению весового баланса самолета) росту относительной массы снаряженного самолета (т. е. падению величины полной отдачи) и относительной массы коммерческой нагрузки (отдачи по коммерческой нагрузке). Кроме того, высокая топливная эффективность зачастую достигается за счет роста массы снаряженного самолета.

Весовую отдачу в качестве критерия весовой эффективности допустимо применять при следующих условиях: однотипность сравниваемых самолетов, примерно равное отношение величин $L_{\text{тех}}$ и $n_{\text{пас}}$, использование зависимостей изменения весовой отдачи по взлетной массе или дальности полета.

Один из наиболее простых и распространенных критериев весовой эффективности — зависимость, связывающая значение массы снаряженного самолета с величиной целевой нагрузки:

$$t_2 = m_{\text{п. сн}} / m_{\text{к. н}}, \quad t_2' = m_{\text{п. сн}} / n_{\text{пас}}. \quad (2.19)$$

Этот критерий не позволяет судить об уровне технического совершенства, так как не учитывает дальности полета, оказывающей существенное влияние на размеры крыла, прочность и

массу снаряженного самолета. Рекомендуется использовать две графические зависимости: $t_2'(L_{\text{тех}})$ (рис. 2.10) и $t_2'(n_{\text{пас}})$ (рис. 2.11).

На графике (рис. 2.11) пунктиром нанесена зависимость, найденная теоретически, а точки, соответствующие модификациям, образуют достаточно узкую зону, подтверждая и точность расчетов, и эффективность модификаций.

Другое объяснение значительному разбросу значений критерия (рис. 2.10) можно найти, построив зависимость $m_{\text{пуст}}/n_{\text{пас}} = f(S/n_{\text{пас}})$, где $m_{\text{пуст}}$ — масса пустого самолета, S — площадь крыла.

Чем больше значение $S/n_{\text{пас}}$, тем больше и величина $m_{\text{пуст}}/n_{\text{пас}}$, что подтверждает рост весовой эффективности с ростом удельных нагрузок на крыло.

Критерий, выражающий связь между массой снаряженного самолета и его размерами, называется поверхностной плотностью самолета $q_{\text{п. сн}} = m_{\text{п. сн}}/S_{\text{ом}}$, где

$$S_{\text{ом}} = 2(S + S_{\text{по}} + S_{\text{в. о}}) + S_{\text{ф}}. \quad (2.21)$$

Здесь $S_{\text{ом}}$, $S_{\text{ф}}$ — омываемые поверхности самолета и фюзеляжа, S , $S_{\text{го}}$, $S_{\text{во}}$ — площадь крыла, горизонтального и вертикального оперения.

Эта зависимость представлена на рис. 2.12. Аналогичный критерий можно применять при анализе эффективности конструкции планера модификаций. Значения его также группируются в зависимости от удельной нагрузки на крыло.

Профессор В. С. Пышнов, предложивший ряд интересных параметрических зависимостей, нашел, что связи между многими из них весьма устойчивы. Из одной такой зависимости легко получить критерий для сопоставления эффективности базового самолета и некоторых видов модификаций:

$$m_{\text{п. сн}}/\sum P_0 = k_{\text{п}} l^{1/3},$$

где $\sum P_0$ — суммарная тяга всех двигателей при взлете, l — размах крыла [13].

Весовую эффективность частей базовых самолетов и их модификаций часто определяют с помощью критериев, представляющих собой весовые соотношения (или относительные массы). Эти критерии, как и весовая отдача, утратили свои значения по тем же причинам (см. выше). Сохранила значение лишь относительная величина массы шасси, и то очень условно.

Если и применять критерии, выражающие относительные массы, то при строгом выполнении условий:

— значения относительной величины массы топлива $\bar{m}_{\text{т}}$ для всех сопоставляемых самолетов на графике $\bar{m}_{\text{т}} = f(L_{\text{тех}})$ должны лежать в узком диапазоне;

— значения удельных нагрузок на крыло также должны лежать в узком диапазоне.

$$\bar{z}_2' = \frac{m_{\text{п.сн}}}{n_{\text{пасс}}}, \text{ кг/пасс}$$

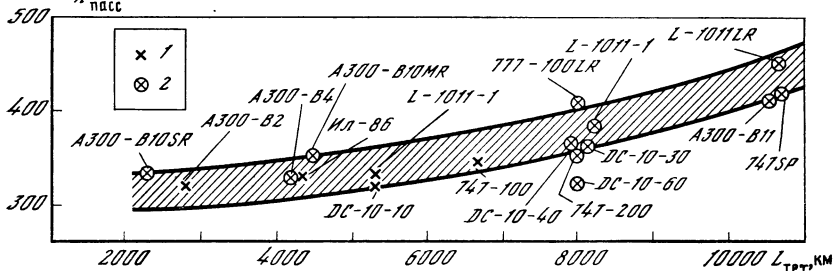


РИС. 2.10. Критерий весовой эффективности, выраженный зависимостью массы снаряженного самолета, приходящейся на 1 пассажира, от дальности полета
1 — базовые самолеты; 2 — модификации

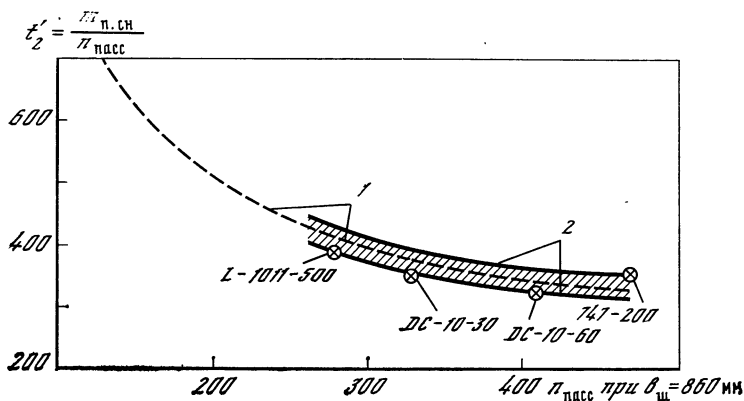


РИС. 2.11. Весовая эффективность модификации самолетов примерно равной дальности полета

1 — теоретическая кривая; 2 — зона статистических данных основных модификаций

$$q = \frac{m_{\text{п.сн}}}{S_{\text{ом}}}, \text{ кг/м}^2$$

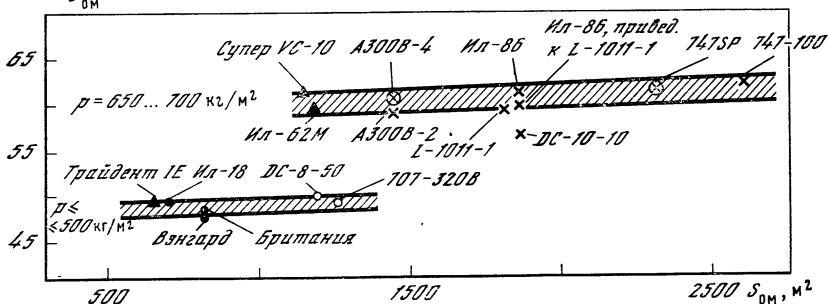


РИС. 2.12. Зависимость весовой эффективности от омываемой поверхности самолета

При выполнении этих условий относительные величины масс лежат в достаточно узком диапазоне для самолетов одного типа и одного технического уровня.

Для сравнения весовой эффективности конструкции частей модификации и базового самолета рекомендуется критерий эффективности планера $t_{пл}$, отражающий несущую способность планера,

$$t_{пл} = (m_{к. н} + m_{об}) / m_{пл},$$

где $m_{к. н}$, $m_{об}$, $m_{пл}$ — масса коммерческой нагрузки, оборудования и конструкции планера.

Этот критерий наглядно показывает, что для дальних модификаций с уменьшением длины фюзеляжа и коммерческой нагрузки (при сохранении площади крыла) нагруженность массы конструкции планера, а следовательно, и его весовая эффективность резко снижаются.

Другими критериями весовой эффективности частей самолета являются: 1) поверхностные плотности крыла, фюзеляжа, оперения, 2) относительный вес шасси, 3) отношение массы силовой установки (без массы топливной системы и ВСУ) к массе двигателей (величина, выражающая это отношение для большого числа самолетов, лежит в узких пределах).

Масса оборудования в значительно меньшей степени зависит от размеров несущих поверхностей и нагрузок. Ее величина больше характеризуется назначением самолета, его производительностью. Поэтому за критерий весового совершенства оборудования лучше всего принимать массу оборудования, приходящуюся либо на единицу производительности, либо на единицу целевой нагрузки. Рассматривать изменение этого критерия удобно в функции или дальности полета, или величины целевой нагрузки.

2.8.3. Сравнение эффективности модификаций и базовых самолетов

Ниже изложены основные условия сопоставимости и показана необходимость правила проведения (подробнее в работе [21]).

1. Судить об эффективности самолетов при сравнительной оценке можно, сопоставляя лишь самолёты одного технического уровня (одного поколения).

2. При критериальном анализе необходимо рассматривать только техническую дальность полета, так как сравнение по практической дальности искажает результаты исследования вследствие разницы в топливных резервах у различных самолетов.

3. Число пассажиров всех сопоставляемых самолетов нужно учитывать при одинаковом уровне комфорта, т. е. при равном для всех самолетов шаге установки кресел и примерно равном размере проходов между рядами.

4. Если сопоставляемые самолеты отличаются взлетно-посадочными характеристиками или проектировались на основе различных требований, то при сравнении необходимо выполнять правило приведения, оценивая эти требования на основе пересчета.

Эти (и подобные им) условия сопоставимости могут изменяться в зависимости от задачи выполняемого анализа.

Выводы. 1. Приведенные здесь критерии различных видов эффективности предложены и описаны еще в 1962 г. Широко применяться они ($k_{т.э}$, $k'_{т.э}$ и t_1 , t_2) стали лишь в середине 70-х годов. Правда, отдельными авторами они были замечены несколько раньше ($t_{тр.эф}$ в [1, 14], $k_{т.э}$ в [7]).

2. Изложение основных сведений об этих критериях приведено здесь с целью анализа эффективности экономически усовершенствованных модификаций пассажирских самолетов второго и третьего поколений. Именно дальние модификации, которые были найдены вполне экономически эффективными (при эксплуатации на линиях предназначения), по весовым показателям оказались не эффективными. Аналогичный вывод можно сделать и по некоторым другим критериям. Эти противоречия и являются, в частности, причиной различного отношения к некоторым модификациям.

3. Положение п. 2 подтверждает мысль, что ни один критерий однозначно не характеризует эффективность самолета, его экономическое, весовое или аэродинамическое совершенство, его технический уровень. Следовательно, необходима система критериев, с тем, чтобы из нее выбирать те, которые нужны для данной постановки задачи.

4. Не все известные критерии* могут применяться для анализа эффективности модификаций, не все они могут быть включены в систему критериев. Известны, например, в общем неплохие показатели, представляющие собой отношение суммарной тяги двигателей $\Sigma P_0/n_{пас}$ и площади крыла к числу пассажиров $S/n_{пас}$, а также графическая зависимость между ними. Применение этих соотношений, характеризующих собой связь размерности самолета и числа пассажиров, при сопоставлении эффективности базовых самолетов с их модификациями приводит к выводу о меньшей эффективности модификаций. На самом деле они более экономически эффективны, но при эксплуатации на тех линиях, для которых они создаются. Следовательно, эти соотношения не могут служить критериями. С их помощью можно лишь найти причины более низкой эффективности отдельных самолетов. Это подтверждает известное положение: каждый критерий (как и каждый коэффициент) выражает собой определенные физические закономерности, проявление (и, следовательно, применение) которых обуславливается конкретными условиями.

* Систематизация и классификация их приведены в работе [21].

5. Если критерий М. Л. Миля «не представляется удобным применять в общем случае для оптимизации параметров транспортных вертолетов» [14], то критерий, заданный уравнением (2.13), применяется для оптимизации параметров гражданских самолетов и может быть использован при анализе эффективности модификаций.

6. Анализ эффективности для модификаций, результаты которого приведены на графиках (рис. 2.8—2.12), иллюстрирует рост эффективности и показывает, что экономическая и топливная эффективность всех видов модификаций возрастает в сравнении с эффективностью базового самолета.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ИСТОРИЯ МОДИФИКАЦИЙ

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

НЕКОТОРЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Краткий анализ тенденции развития пассажирской авиационной техники послужит связующим звеном между изложением теории и описанием практики разработки и эксплуатации модификаций на различных этапах их истории. Кроме того, изучение указанных тенденций имеет важное значение для раскрытия темы модификаций.

В развитии авиационной и других видов техники можно различить три этапа и условно называть их этапами возникновения, становления и совершенствования. Они органически связаны между собой, не имеют четких границ во времени, но каждому из них свойственны свои главные направления, свои задачи. Так, на первом этапе центральной задачей было практическое осуществление самого полета. Все остальное решалось лишь в объеме, необходимом для решения этой задачи. Второй этап отличался стремлением к достижению приемлемых значений основных характеристик. Третий — это этап анализа и осмысления накопленного опыта и использования его для повышения всех видов эффективности самолетов. Следовательно, первый был этапом качественно новых явлений в технике, второй — этапом их количественного, но стихийного роста, а третий — этапом достаточно планомерного повышения технического совершенства (по времени он наиболее продолжителен).

В различные периоды последнего этапа из большого числа решаемых проблем выделялись основные и определяющие. Принципиально новые проблемы в развитии авиации встречаются нечасто. Обычно известные и, казалось бы, решенные проблемы достигают определенной остроты и требуют кардинально новых решений. Но в ряде случаев разрабатываются новые пути достижения более высоких характеристик. Иллюстрацией к первому случаю может являться весовая проблема, которая приобрела теперь исключительное значение, а ко второму — проблема

дальности с попыткой управления аэродинамическими течениями, с разработкой систем активного управления с целью сокращения до минимума расхода топлива. Таким образом, проблема дальности теперь заключается не столько в достижении ее наибольшего значения, сколько в преодолении заданной дальности полета с минимальной затратой топлива.

3.1. Этапы развития пассажирских самолетов

Многие тенденции, как и закономерности, прослеживаются через все этапы истории авиации, некоторые — лишь в отдельные ее периоды. При изучении тенденций развития авиационной техники обычно принято пассажирские самолеты подразделять на поколения. Поскольку подобная классификация в своем строгом разграничении не сложилась, попытаемся выделить основные признаки каждого из них.

3.1.1. Особенности самолетов различных поколений

Поколения пассажирских самолетов с газотурбинными двигателями отличаются в первую очередь типом этих двигателей. Так, самолеты первого поколения имели в основном турбовинтовые (ТВД), а также одноконтурные турбореактивные двигатели (ТРД), самолеты второго — двухконтурные (ДТРД) при умеренной степени двухконтурности ($n_{с.д} \leq 2$), а двигатели самолетов третьего поколения обладают высокой степенью двухконтурности ($n_{с.д} > 5$). К другим отличиям относятся: 1) схема размещения двигателей, например, на корме фюзеляжа, которая впервые появилась на самолете «Каравелла» французской фирмы «Сюд-Авиасьон» и была повторена почти всеми самолетами второго поколения. В дальнейшем эту схему (в чистом виде, а не в смешанном) не применяли; 2) техническое совершенство систем бортового оборудования (поколениям самолетов примерно соответствуют и поколения радиотехнического и навигационного оборудования, которые различаются как элементарной базой, так и принципиально иными схемными решениями). Оборудование самолетов первого поколения в основном базировалось на лампах, второго — на полупроводниках, а третье поколение отличается интегральными схемами, комплексными системами, вычислительной техникой; 3) сечение фюзеляжа — диаметр до 4 м присущ самолетам первого и второго поколения, а диаметр 5,5—6,5 м — широкофюзеляжным самолетам третьего поколения.

Перечисленные признаки в основном внешние, отличительные. Главное же — в значительном увеличении производительности и, следовательно, экономической эффективности, в повышении уровня аэродинамического и весового, конструктивного и технологического совершенства самолетов каждого последующего поколения.

Если согласиться с приведенным выше определением признаков различных поколений, то надо признать и следующее: новая модель самолета всегда определяет появление нового поколения, но обратное необязательно, т. е. самолетами нового поколения могут быть и модификации, созданные на базе самолетов предыдущего поколения.

Самолеты четвертого поколения, новые модели которых находятся в стадии проектирования, будут отличаться в основном двигателями, аэродинамической компоновкой крыла и оборудованием. Двигатели будут легче, более экономичными, менее шумными. Крылья, отличающиеся большим удлинением и новой профилировкой, будут создавать значительно большую подъемную силу. Экономичность двигателей и высокое аэродинамическое качество крыла существенно снизят расходы топлива. Новые системы оборудования полностью автоматизируют полет и посадку; обобщенная информация о работе всех систем повысит безопасность полета, этой же цели будут служить цветные радары, более точно показывающие погодные условия. И, наконец, разрабатывается целый комплекс систем активного управления с целью снижения массы конструкции и расхода топлива. Из числа других, также достаточно актуальных, следует назвать проблему воздействия самолета на окружающую среду. Но главной проблемой создания самолетов четвертого поколения является энергетическая. Все остальные играют подчиненную роль.

Новое поколение самолетов приведет к качественному, а не к количественному, как это было в прошлом, скачку производительности, размеров и тоннажа; скорость полета несколько снизится. Иначе говоря, развитие пассажирской авиации в процессе создания самолетов четвертого поколения будет основано на эволюционных усовершенствованиях. Существенный скачок может произойти лишь с появлением турбовинтовентиляторных двигателей или с решением проблемы замены углеводородного топлива жидким водородом.

Для достижения необходимых решений при создании самолетов четвертого поколения недостаточно простое увеличение размеров самолета — требуются принципиально новые схемы, внедрение новых технических решений, использование самых последних достижений в различных областях науки и техники.

Другой особенностью является разработка самолетов лишь средней пассажировместимости (до 200 пас.). К ним относятся проекты узкофюзеляжных двухдвигательных самолетов класса СМС и трех или четырехдвигательных самолетов класса ДМС. Не исключается возможность появления таких самолетов с широким или «полушироким» фюзеляжем, допускающим размещение семи кресел в ряду с двумя проходами. (К первому этапу разработки зарубежных самолетов четвертого поколения относятся Боинг-767, европейский аэробус А-310—200 и модификацию Локхид L-1011—400.)

Можно различать и другие общие и частные отличительные особенности самолетов различных поколений (о них будет рассказано при рассмотрении тенденций развития). Однако названные признаки являются основными и наиболее очевидными.

Следует сказать еще об одном достаточно общем вопросе: включают ли поколения самолеты всех классов, т. е. полную гамму?

Каждое из поколений не содержит полной гаммы. Так, среди самолетов первого поколения с реактивными двигателями не было БМС и самолетов местных линий. В числе самолетов третьего поколения нет самолетов класса ДМС с умеренным числом пассажиров (до 200 чел.), т. е. самолетов, необходимых для многих линий с невысокой плотностью пассажирского потока. Именно это объясняет успешную эксплуатацию самолетов Ил-62М и Боинг-707—320В и их дальнейшее производство в эпоху широкофюзеляжных самолетов. И лишь в четвертом поколении появятся самолеты им на замену.

При создании самолетов каждого из перечисленных поколений решалось большое число проблем, но главной всегда оставалась проблема эффективности. При создании самолетов первого поколения эффективность достигалась наибольшей скоростью полета при экономически оправданных расходах топлива, в период создания самолетов второго поколения — созданием двухконтурных наиболее экономичных двигателей и повышением плотности компоновки салонов (введение экономического класса), при разработке самолетов третьего поколения — резким увеличением пассажироместимости, а также повышением комфорта с целью привлечения пассажиров.

Приведенное здесь подразделение пассажирских самолетов на четыре поколения не общепринято. В печати, в частности, американской, встречается классификация, в которой все узкофюзеляжные самолеты относят к первому, широкофюзеляжные — ко второму, а проектируемые — к третьему поколению. Если разграничение (в нашем случае) узкофюзеляжных реактивных самолетов на два поколения в какой-то степени условно, то выделение турбовинтовых (в первое поколение) вполне правомерно. Условно в том смысле, что некоторые модификации реактивных самолетов первого поколения по приведенным выше признакам могут быть отнесены ко второму поколению, как и некоторые модификации широкофюзеляжных — к четвертому (по американской классификации — к третьему).

Причина подразделения на три, а не четыре поколения в том, что в США, если не считать неудачного самолета Локхид «Электра» (быстро снятого с эксплуатации), других турбовинтовых самолетов не было. В европейских странах и в Советском Союзе было много моделей почти во всех классах. Так, **самолеты местных линий** Ан-24 и «Потез-842», самолеты **класса БМС** — Фоккер «Френдшип», Викиерс «Вайкаунт», Авро-748, **класса СМС** — Ил-18, Ан-10, Викиерс «Вэнгард», **класса ДМС** — Ту-114,

Бристоль «Британия». Многие самолеты имели модификации, большой тираж и долгие годы находились в эксплуатации. Переход к турбореактивным (узкофюзеляжным) самолетам — бесспорно большой качественный и количественный скачок. Это подтверждает правомерность подразделения самолетов с газотурбинными двигателями на четыре поколения.

3.1.2. Примеры из истории разработки самолетов и модификаций первых поколений

В начале 50-х годов в трех странах примерно параллельно велась разработка турбовинтовых самолетов: в Советском Союзе — Ил-18 конструкции С. В. Ильюшина с 4 двигателями, АИ-20 конструкции А. Ивченко. В Англии фирма «Виккерс» проектировала самолет «Вэнгард» с 4 двигателями «Тайн-II» Mk-506. В США фирма «Локхид» разрабатывала самолет «Электра» с 4 двигателями Аллисон-501—Д13А.

В те годы в зарубежной печати много писали о соревновании «Большой тройки». Если продолжать эту мысль, то в соревновании выиграл самолет Ил-18, тираж изготовления которого составил многие сотни экземпляров. По меткому выражению одного из западных журналистов, Ил-18 был рабочей лошадкой всех восточных авиакомпаний, кроме того он широко эксплуатировался и во многих других странах. Что касается самолета «Вэнгард», то число заказов на него было крайне ограничено (не превышало 44 шт.) и этим все сказано.

Самолет Локхид «Электра» потерпел ряд тяжелых катастроф по конструктивным причинам (недостаточная прочность). После этого его основной гражданский вариант был снят с производства. Удачными из зарубежных турбовинтовых самолетов были «Вайкаунт» (Англия) и «Фоккер» F-27 (Голландия). Они эксплуатировались многие годы, но принадлежат к другому классу, чем рассматриваемый самолет.

Соревнование интересно протекало в процессе создания самолетов. Каждая из трех фирм стремилась создать конкурентоспособный самолет и с этой целью не раз повышала производительность будущего самолета еще на стадии его проектирования. Так, массу коммерческой нагрузки самолета Ил-18 еще в этот период дважды повышали и каждый раз на 20%. Однако главное заключалось в стремлении достичь основной цели, поставленной Генеральным конструктором С. В. Ильюшиным — создать самолет с экономической эффективностью, позволяющей снизить стоимость билета до стоимости железнодорожного.

В числе упомянутых турбовинтовых не назван самолет Ан-10 конструкции О. К. Антонова. Он строился с небольшим опережением по времени относительно Ил-18, но это самолет иного типа: многоцелевой для использования его, в случае необходимости, под перевозку крупногабаритных грузов. Вследствие этого у него фюзеляж имел большой диаметр, для удобства по-

грузочно-разгрузочных работ самолет имел схему высокоплана (у тех трех — схема низкоплана), соответствующие схемы шасси и оперения. И несмотря на все это, коллектив, создавший этот самолет, тоже участвовал в соревновании, улучшая характеристики в процессе проектирования.

Первый самолет с реактивными двигателями был «Комета», создан в классе СМС английской фирмой «Де Хевилленд». Судьба его схожа с судьбой самолета «Вэнгард», широкого применения он не получил. Однако нельзя забывать, что при создании «Кометы» впервые создавался герметичный фюзеляж. Конструкторы встретились с новыми явлениями усталостной прочности и с эффектом повторных нагрузок. Знания и опыт были получены в результате ряда трагических воздушных катастроф. Вследствие этого конструкция последних модификаций подверглась значительным изменениям, а базовые самолеты были поставлены «на прикол». Этот опыт был реализован при создании самолетов Ту-104 и Ил-18, Дуглас ДС-8 и Боинг-707 и всех последующих.

Первым отечественным реактивным самолетом, поступившим в серийное производство и в эксплуатацию, был Ту-104 конструкции А. Н. Туполева. Он был создан в очень короткие сроки, чему способствовало туполевское направление в отечественном самолетостроении — проектирование пассажирских самолетов на базе существующих военных самолетов. «Ту-104 с двумя турбореактивными двигателями АМ-3 А. А. Микулина был только удачной переделкой военной машины — бомбардировщика Ту-16. Он не мог в полной мере удовлетворить требованиям Аэрофлота прежде всего по экономичности» [24]. Самолеты с ТРД того времени, отличавшиеся большим расходом топлива, не могли конкурировать с турбовинтовыми.

Что касается туполевского направления в самолетостроении, то оно имело в 1920—1930 гг. своих предшественников и в нашей промышленности и за рубежом (см. гл. 6), но дальнейшего развития не получило. А. А. Туполев [25] объяснил это следующим: «Технические требования к боевой и пассажирской машины — вот требования, выполнить которые иногда трудно, взяв за основу бомбардировщик. Вот и выходит, лучше затратить больше времени и средств на создание новой машины, чем расплачиваться за все выгоды переделки худшими коммерческими показателями пассажирского самолета».

В этом же коллективе были созданы своеобразные модификации: масштабированная модификация Ту-124 базового самолета Ту-104; глубокая модификация Ту-134, для которой базой послужил Ту-124.

Первым полностью оригинальным реактивным самолетом, созданным в этом ОКБ, явился Ту-154 — самолет второго поколения с двухконтурными реактивными двигателями. При его разработке было заложено много прогрессивных идей, применение

большое число нововведений, найдено оптимальное сочетание площади крыла и тяги двигателей. В результате он оказался весьма эффективным и емким для разработки модификаций.

Напомним и другой факт из истории создания реактивного самолета, аналогичный в какой-то мере созданию Ил-18, но несколько драматизированный. Забегая немного вперед, заметим, что создание реактивной авиации, в противоположность поршневой, начиналось со средне- и крупнотоннажных самолетов, и лишь затем создавались малотоннажные для коротких магистральных и для местных линий.

Когда был создан достаточно большой парк самолетов с газотурбинными двигателями, Ил-18, Ту-104, Ан-10, а за рубежом Дуглас DC-8, Боинг-707, Сюд-Авиасьон «Каравелла», Веккерс «Виконт», Бристоль «Британия» и их модификаций, на коротких линиях продолжали летать самолеты с поршневыми двигателями Ил-12, Ил-14, Дуглас DC-3, выполняющие большой объем перевозок. В связи с этим возникла острая потребность в создании реактивных самолетов класса БМС и местных линий. Это оказалось сложным делом. За рубежом объявлялось много проектов «на замену DC-3», а в СССР — на замену Ил-14, но создать действительно достойных преемников DC-3 даже на стадии проекта долгое время не удавалось. Поэтому продолжали разрабатывать модификации поршневых самолетов. Так, самолеты Ил-14 были сняты с таких линий, как Москва—Адлер (их заменили Ил-18) и переведены на более короткие с одновременным увеличением числа пассажирских мест с 27—32 до 36—40.

В чем же заключалась сложность? Прежде всего в том, что получить весовую отдачу, необходимую для достижения высокой экономичности, на самолетах малого тоннажа неизмеримо труднее, чем на средних или тяжелых потому, что удельную нагрузку на крыло приходится принимать умеренной из-за аэродромных требований, а относительная величина массы оборудования слишком высока. Кроме того, трудно совместить такие два фактора, как малые эксплуатационные расходы на т·км и малую дальность полета. Причина высокой себестоимости коротких рейсов — частые посадки, существенно увеличивающие простой самолета, уменьшающие налет и препятствующие эффективному использованию рабочего времени экипажа. Уменьшение количества налетанных пассажиро-километров за год снижает рентабельность, аэропортовые расходы приходится относить к меньшему годовому доходу. При дальних рейсах рентабельность повышают увеличением пассажирских мест, но это, как правило, не оправдывает себя на линиях малой протяженности, где частота рейсов должна быть высокой.

Сложность создания реактивного самолета для местных линий, пригодного для эксплуатации на грунтовых аэродромах ограниченного размера, с одной стороны, и необходимость замены поршневой техники, с другой, привели к тому, что в середине 60-х годов в США был организован конкурс на лучший само-

лет этого класса. Ни один из девяти проектов конкурса не выдержал. Такой самолет был создан А. С. Яковлевым. Оригинальный и перспективный Як-40 получил широкое применение на местных линиях в Советском Союзе и во многих странах мира.

3.1.3. Особенности проектирования гражданских самолетов будущих поколений и их модификаций

С вводом в эксплуатацию самолетов третьего поколения ведется значительная работа по повышению всех видов эффективности гражданских самолетов. Одновременно существенно увеличиваются стоимость топлива, расходы на исследование и разработку, возрастают требования не только к эффективности, но и многие другие, в частности, касающиеся воздействия самолетов на окружающую среду. Это объясняет замедление темпов разработки новых моделей гражданских самолетов и вызывает появление модификаций самолетов, выпускаемых серийно и даже снятых с производства. Одновременно разрабатываются новые подходы к решению экономических проблем, изучаются методы повышения эффективности топлива и возможность применения новых его видов.

Тенденции развития самолетов и их модификаций порождают новые концепции проектирования, которые в плане обратных связей влияют на развитие авиационной техники.

Так, оптимизация параметров крыла самолета по минимуму взлетной массы уступила место оптимизации по топливной эффективности (при заданной дальности полета). Это привело: 1) к значительному снижению расхода топлива; 2) к выбору конфигурации крыла самолета, заметно отличающейся от традиционной; 3) к увеличению массы конструкции, которое частично компенсируется изменением некоторых параметров.

Выбор основных размеров самолета базировался, как известно, на двух параметрах — удельной нагрузке на крыло и тяговооруженности самолета, значения которых определялись в функции летных и взлетно-посадочных характеристик, задаваемых техническими условиями для его проектирования. В конце 70-х годов (в период разработки пассажирских самолетов четвертого поколения) в связи с обострением на западе энергетического кризиса традиционный подход оказался ограниченным и недостаточным.

Появился третий фактор, определяющий облик самолета и способствующий решению топливной проблемы, — это системы активного управления, точнее — целый комплекс систем. При этом речь не идет об эволюции самолета, а о системах управления внутренними свойствами самолета: распределением нагрузок, устойчивостью, маневренностью, скоростью флаттера и т. п. Почти все они приводят к уменьшению расхода топлива: одни через снижение сопротивления и повышение аэродинами-

ческого качества, другие — уменьшением размеров самолета, снижением потребной прочности конструкции и, следовательно, ее массы. Уменьшение запаса топлива в свою очередь приводит к уменьшению размеров самолета и его массы, а это дополнительно снижает расход топлива, т. е. процесс носит прогрессирующий характер. Комплексное применение систем активного управления, оптимизация аэродинамической компоновки крыла по критерию топливной эффективности, значительное снижение расходов топлива ведет к снижению стоимости самолета и стоимости его жизненного цикла.

Известны следующие основные направления разработки систем активного управления:

1) обеспечение полета с уменьшенными запасами статической устойчивости (создание искусственной устойчивости);

2) уменьшение нагрузок, действующих на конструкцию (при полете в турбулентной атмосфере) с целью повышения ресурса самолета;

3) уменьшение коэффициента эксплуатационных перегрузок;

4) уменьшение нагрузок на конструкцию крыла при маневре;

5) повышение критической скорости флаттера;

6) улучшение комфорта (уменьшение перегрузок в кабине экипажа и пассажирских салонах) при полете самолета в турбулентной атмосфере;

7) повышение маневренности самолета и создание новых форм управления его движения путем использования наряду с традиционными органами управления дополнительных управляющих поверхностей;

8) обеспечение хороших характеристик устойчивости и управляемости на всех режимах полета, что позволяет осуществлять полеты в большем диапазоне углов атаки и при больших значениях C_x .

Первая из систем, улучшая балансировку самолета, приводит к повышению аэродинамического качества и, следовательно, к снижению расхода топлива. Последующие четыре системы приводят к снижению расхода топлива уменьшением массы самолета. Для самолетов различного класса указанные выше системы могут иметь неравноценную значимость и использоваться для получения различных преимуществ. Для тяжелых самолетов, например, основной задачей активных систем является уменьшение массы конструкции при условии выполнения заданных тактико-технических требований.

Обобщая сказанное, подчеркнем: 1) многие из перечисленных систем приводят к снижению массы конструкции и топлива и к изменению размеров и параметров самолета; 2) комплексное применение систем оказывает существенное влияние на облик проектируемых пассажирских и грузовых самолетов; 3) некоторые из этих систем можно устанавливать и на модификациях (см. п. 3.2.4) (они не влияют на их облик, но повышают эффективность).

Для снижения массы и расхода топлива в широких масштабах ведутся поиски новых материалов и главным образом перспективных композиционных. Это позволит уменьшить размеры самолета и расход топливной энергии при одновременном росте производительности.

Из сказанного следует, что топливная проблема привела к необходимости создания двигателей со значительно меньшим удельным расходом топлива, крыла со значительно более высоким аэродинамическим качеством, конструкции самолета со значительно большей весовой эффективностью.

Возникшая проблема стоимости самолета должна решаться путем, если не снижения, то, по крайней мере, ограничения стоимости одного кг самолета. Величина этого показателя в прошлом значительно и скачкообразно возрастала с каждым поколением самолета. Это привело к необходимости:

- комплексного моделирования потребного типоразмера не только единичного самолета, но и целого парка;

- рассмотрения широкого диапазона значений летно-технических характеристик (а следовательно, и параметров самолета) и переоценки важности (в прошлом весьма эффективного) увеличения скорости полета и в дальнейшем некоторого ее снижения ради уменьшения расхода топлива;

- разработки проектов и создания целого семейства самолетов при максимальной унификации (уже нельзя ограничиваться рамками одного базового самолета, разработка ведется в масштабах целого семейства модификации на основе метода модульного проектирования, который облегчит решение ряда проблем, но является одной из причин увеличения периода предварительных исследований и разработок).

Развивается и другое направление, не столь глобального характера как упомянутые выше, но имеющего существенное экономическое значение. Речь идет о принятии любых проектировочных и конструктивных решений на основе экономического критерия минимальной стоимости. Это направление не ново, но приобретает теперь весьма широкие масштабы и соответственно новые формы.

Дело в том, что стоимость самолета, двигателей, запчастей (и стоимость ремонтов, связанная с этим), иначе говоря, амортизационные отчисления — значительная и все возрастающая часть эксплуатационных расходов. В связи с этим появляется тенденция ограничения цены самолета на уровне формирования технических требований (ТТ). Иначе говоря, включение в ТТ требования к цене* будущего серийного экземпляра, задавае-

* Напоминаем, что до последнего времени в технические требования включалось ограничение по себестоимости эксплуатации, т. е. себестоимость т·км или пассажиро·км. В случае роста стоимости самолета (которая корректировалась по мере разработки проекта) рост величины себестоимости мог парироваться путем увеличения коммерческой нагрузки.

мого к разработке самолета. Из этого вытекает потребность в разработке системы лимитировать стоимости каждой части самолета, агрегатов, узлов, а также систем оборудования подобно повсеместно действующей системе весовых лимитов.

3.2. Тенденции развития гражданской авиационной техники

Двум рассмотренным выше направлениям развития гражданской авиационной техники свойственны такие общие закономерности и тенденции:

- непрерывное увеличение производительности всех последующих моделей самолетов (одного и того же класса в каждом из поколений);

- значительный рост производительности при создании экономически усовершенствованных модификаций;

- систематическое снижение расходов топлива на единицу производительности, особенно при проектировании самолетов четвертого поколения.

Это приводит к постоянному росту экономической эффективности базовых самолетов и их модификаций, а в конечном счете к снижению стоимости единицы производительности.

К основным тенденциям развития гражданской авиационной техники, определяющим рост производительности, относятся: 1) непрерывный рост тоннажа и размеров самолетов каждого класса (т. е. примерно одной дальности полета), 2) рост грузоподъемности, пассажировместимости, 3) рост скорости и дальности полета.

Можно назвать и много других тенденций. Одни из них действуют на всех этапах истории авиационной техники (например, уменьшение числа стыков), другие — лишь на конкретных исторически ограниченных этапах развития (снижение внутрикабинного шума на самолетах с ТВД), а затем отмирают.

Проектирование самолетов, основанное на изучении закономерностей и тенденций развития, а также на технико-экономических исследованиях, является прогрессивным и позволяет создавать перспективные самолеты, емкие для разработки модификаций, ибо тенденции развития отражают объективные изменения на воздушном транспорте (например, рост объема перевозок, потребность транспортировки багажа при себе и т. п.).

3.2.1. Рост тоннажа самолетов

Тенденция роста тоннажа самолетов, определяющая прогрессивное возрастание их производительности, носит двойственный характер, он происходит плавно в пределах одного поколения пассажирских самолетов и скачкообразно при переходе от поколения к поколению (рис. 3.1), основным отличительным признаком которых, как уже отмечалось, являются типы двигателей,

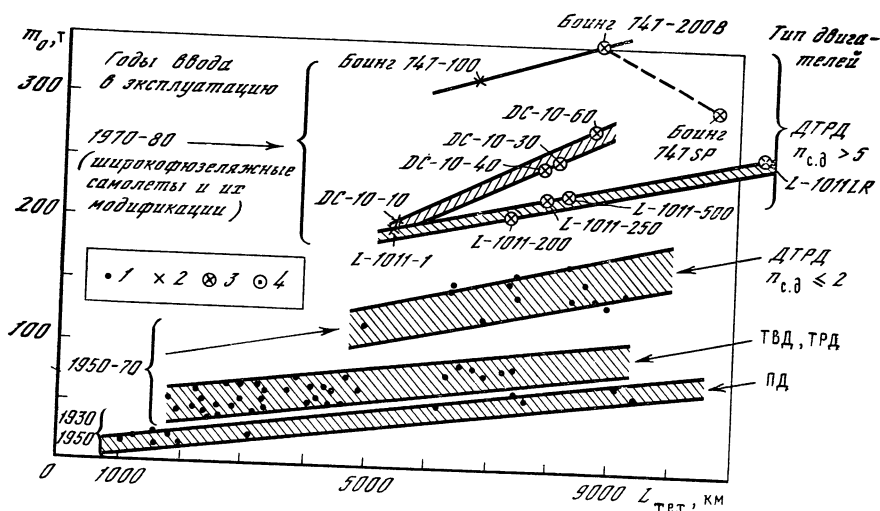
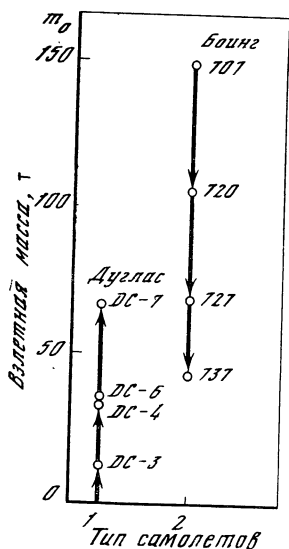


РИС. 3.1. Рост тоннажа базовых узкофюзеляжных (1) и широкофюзеляжных самолетов (2) и модификаций широкофюзеляжных самолетов (3)

РИС. 3.2. Последовательность развития пассажирских самолетов с ПД (1); с ТРД и ДТРД (2)



указанные на этом графике. Там же показаны примерные периоды (или хронологические рубежи) появления и эксплуатации самолетов различных поколений.

Следует отметить влияние модификаций (выделенных на этом графике) на рост тоннажа.

Если тенденцию роста тоннажа и другие особенности рассматривать хронологически, то в период поршневых двигателей тоннаж возрастал: вначале разрабатывались самолеты для ближних магистральных линий (БМС), затем для средних (СМС) и только потом для дальних (ДМС). Развитие, следовательно, шло от легких, как их тогда называли, к тяжелым самолетам.

Развитие газотурбинной пассажирской авиации началось созданием турбовинтовых СМС — «Виконт», «Британия», Ил-18, Ан-10, «Вэнгард», «Электра» со взлетной массой 50—80 т. Затем проектировались БМС: «Френдшип», «Авро-748», «Геральд», Ан-24, «Макдонелл», «Гольфстрим», «Потез» и многие другие с

массой 12—25 т. В классе дальних магистральных самолетов с ТВД был построен один тип — Ту-114.

Эксплуатация турбореактивных самолетов — в основном ДМС (межконтинентальных) — началась примерно с 1958 г., тогда турбовинтовые уже занимали значительное место в общем парке пассажирских машин (в странах ИКАО *, например, в это время было 418 самолетов с ТВД и всего лишь 12 с ТРД). Возможность проектирования коротко- и среднерейсовых реактивных самолетов, способных конкурировать с турбовинтовыми, появилась лишь после создания двухконтурных и турбовентиляторных двигателей.

В период появления реактивной пассажирской авиации развитие шло в противоположном направлении (рис. 3.2). Подчеркнем, что это справедливо лишь в случае, если рассматривать процесс развития в хронологической последовательности. Если же проследить развитие каждого из классов пассажирских самолетов, то легко заметить действие основной тенденции — непрерывный рост тоннажа и производительности.

Чем можно объяснить развитие реактивных самолетов от крупнотоннажных к малотоннажным? Дело заключается в следующем:

- чем больше реактивный самолет, тем легче получить высокую весовую эффективность;

- чем больше грузоподъемность и число пассажирских кресел на самолете, тем выше топливная эффективность самолета (тем ниже значение критерия $m_t/n_{\text{пас}}L_{\text{тех}}$);

- чем больше тоннаж самолета, тем больше его дальность, а следовательно, и рейсовая скорость полета.

Все три фактора существенно влияют на достижение высокой экономической эффективности.

Легко возразить: эти факторы справедливы для самолетов и с поршневыми, и с турбовинтовыми двигателями. Это действительно так, однако для турбореактивных самолетов значение их неизмеримо возросло вследствие значительно больших расходов топлива реактивными двигателями первых поколений в сравнении с поршневыми и ТВД. Не случайно у таких самолетов, как Ил-18 и Виккерс «Вайкаунт» (оба с ТВД), топливная, а следовательно, и экономическая эффективность оказалась значительно более высокой, чем у первых реактивных самолетов того же поколения Де Хэвилленд «Комета» и Ту-104, несмотря на большую скорость их полета.

* ИКАО — ICAO (международная организация гражданской авиации).

3.2.2. Рост размеров самолета

По мере роста тоннажа пассажирских самолетов росли и геометрические их размеры (лишь в меньшей степени) вследствие роста, и притом значительного, удельных нагрузок на крыло *. Заметим, что наибольший рост последних наблюдается как раз при создании модификаций, что убедительно иллюстрирует график на рис. 3.3.

Наглядной иллюстрацией роста размеров самолета может служить рис. 3.4, на котором (в отличие от рис. 3.1 и рис. 3.3) приведены самолеты одного класса, в то время как на рис. 3.1 классы самолетов не разграничены. За рубежом развитие происходило аналогично, что хорошо видно из рассмотрения однотипных русских и зарубежных самолетов (табл. 3.1). Скачок за тридцатипятилетний период развития иллюстрируется рис. 3.4.

Основными проблемами проектирования всегда являлись размер самолета и масса его конструкции. Отметим также непосредственную связь этих двух факторов. Понятие «размер» самолета включает не только линейную протяженность отдельных элементов и зависящие от нее площади и объемы, но в равной степени именно массу самолета, которая в наибольшей степени отражает динамику изменения его размерности. В этом легко убедиться, если проследить изменения этих двух факторов в процессе исторического развития авиации. Так, в период с 1903 по 1980 г. (т. е. начиная от «Флаера») размах крыла увеличился в 6 раз, его площадь — в 10 раз, а взлетная масса более чем в 1000 раз, поскольку удельная нагрузка на поверхность крыла возросла более чем в 100 раз и имеет тенденцию дальнейшего роста.

Проблемы размера и массы самолета были наиболее сложными на всех этапах развития авиационной техники и приобрели в 60-е, 70-е годы наибольшую остроту в связи с резким ростом масштабов самолета и появлением энергетического кризиса.

Вопросы комфорта, надежности систем, безопасности полета, ресурса конструкции тоже тесно связаны с весовой проблемой.

Рост взаимовлияния этих проблем объясняется главным образом строго закономерным изменением весовых соотношений в общем весовом балансе самолета при увеличении его размера. Это изменение не должно препятствовать повышению эффективности. В то же время положительное решение почти всех перечисленных проблем связано с возрастанием массы, что не способствует росту эффективности.

Где же кроется кардинальное решение? Как раз в развитии модификаций, которые приводят к росту производительности.

* Размеры фюзеляжа росли в большей степени, так как они непосредственно связаны с ростом пассажировместимости и грузоподъемности.

ТАБЛИЦА 3.1. Сравнение основных геометрических данных и характеристик одноклассных магистральных отечественных и зарубежных самолетов средней дальности полета

Характеристика	Самолеты с ПД		Самолеты с ТВД		Самолеты с ТРД		Самолеты с ДТРД	
	Ил-14	DC-3	Ил-18В	«Вэнгард-953»	Ту-154	Бонинг-727-100	Ил-86	Локхид L-1011
Взлетная масса, кг	17 500	12 700	61 200	64 000	92 000	72 575	206 000	195 000
Площадь крыла по трапеции, м ²	100	91,7	140	142	180	139, 8	330	321
Удельная нагрузка на крыло, кг/м ²	175	138	423	451	511	519	624	607
Размах крыла, м	31,7	29,0	37,4	36,0	37,55	32,92	48,06	47,24
Поперечные размеры фюзеляжа, м	2,8	2,7	3,5	3,5×4,14	3,8	3,7×4,33	6,08	5,97
Данные базового самолета								
число пассажирских мест	32	21	89—100	139	152	131	350	345
дальность полета практическая, км *	700	560	2700	2780	2800	3300	3400	4000
Данные последней модификации								
число пассажирских мест	36	—	110—122	139	180	189	—	280
дальность полета практическая, км	800	—	3 700	3300	1500	1830	—	7000
Наименование модификаций	Ил-14М	—	Ил-18Д	«Вэнгард-952»	Ту-154В	Бонинг-727—200	—	L-1011—500

* При $m_k = m_{max}$.

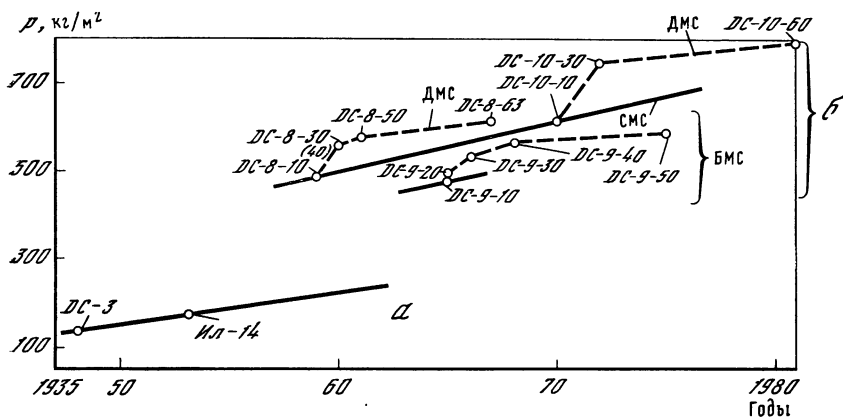


РИС. 3.3. Уровень удельных нагрузок на крыло базовых самолетов (1) и их модификаций (2)

а — самолеты с ПД; б — самолеты с ТРД и ДТРД

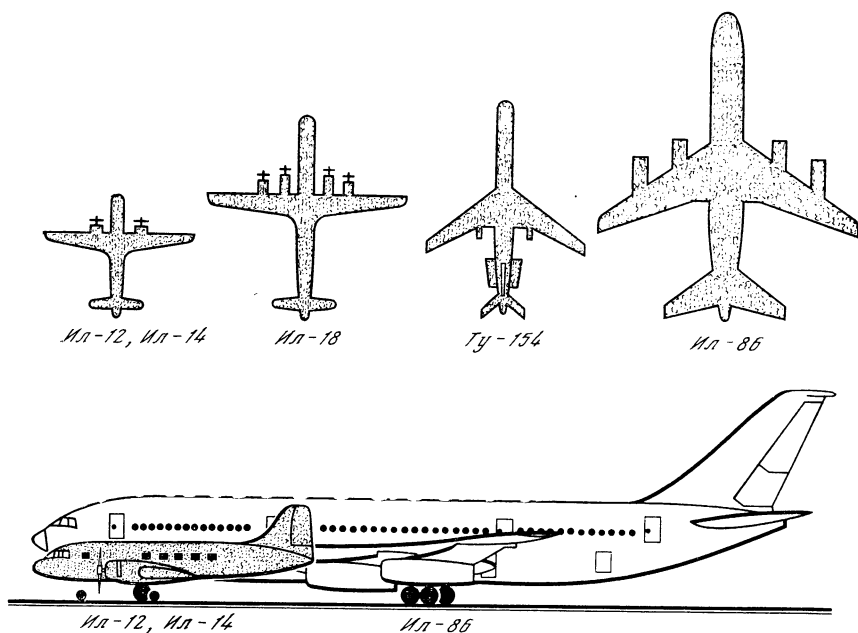


РИС. 3.4. Рост размеров СМС, предназначенных для линий с высокой плотностью пассажирского потока типа Москва — Адлер

Подтвердить это положение можно, рассмотрев роль экономического фактора в развитии модификаций, анализируемую в разделе 2.6.

3.2.3. Рост грузоподъемности и пассажировместимости самолетов

Основная причина роста тоннажа и размеров самолета — необходимость наращивания грузоподъемности и пассажировместимости, с целью повышения производительности и экономичности гражданской авиационной техники, что в свою очередь характеризуется снижением: массы самолета, приходящейся на единицу производительности; стоимости единицы производительности (см. раздел 2.6); себестоимости эксплуатации.

Рост пассажировместимости снижает расход топлива на пассажирокилометр (см. 2.6) и, следовательно, повышает экономичность, улучшает все ее показатели. И грузоподъемность, и пассажировместимость, и тоннаж самолета имеют аналогичный характер роста (см. рис. 3.1). Значения растут плавно у самолетов одного технического уровня по мере роста дальности полета и скачкообразно при появлении самолетов последующих поколений. Отметим, что с каждым поколением число пассажирских мест и масса коммерческой нагрузки возрастают примерно вдвое (при рассмотрении предельных их значений (см. табл. 3.2)).

ТАБЛИЦА 3.2. Рост грузоподъемности и пассажировместимости [24]

Виды нагрузки	Самолеты первого поколения		Самолеты второго поколения		Самолеты третьего поколения	
	Ту-104	Ил-18	ТУ-154	Ил-62	ИЛ-86	L-1011
Масса коммерческой нагрузки, т	10,0	13,5	18,0	23,0	42,0	39,5
Число пассажирских мест	100	100	184	168—189	350	330

Если анализировать в пределах 1947—1977 гг., то грузоподъемность возросла в 15—20 раз (Ил-12 транспортировал 2700 кг, Ил-86—42 000 кг). В табл. 3.2 приведены данные самолетов, наиболее типичных как для отечественной, так и зарубежной пассажирской авиации, и не рассматривается Боинг-747, самый большой из существующих. Он является исключением и скорее примером переразмеренного самолета, о чем шла речь в разделе 1.6.

Заметим, что пассажировместимость в период поршневой авиации росла одновременно с увеличением дальности полета (т. е. с появлением новых классов магистральных самолетов), а в период газотурбинной пассажирской авиации росла у самолета

тов всех классов. Особенно ярко проявляется тенденция роста пассажировместимости при разработке модификаций.

Таким образом, размеры и тоннаж пассажирских самолетов непрерывно возрастают с увеличением грузоподъемности и пассажировместимости. Рост же последних вызван: 1) необходимостью повышения экономической эффективности воздушного транспорта, 2) потребностью удовлетворения роста перевозок и в то же время снижения интенсивности движения на воздушных линиях, 3) необходимостью разгрузки аэропортов. Главная из целей — экономичность.

3.2.4. Снижение массы модификаций эксплуатируемых и проектируемых самолетов

В современных решениях вечно существующей и неизменно острой весовой проблемы можно различать две тенденции. Своеобразный характер этих тенденций отражается прежде всего в основных различиях между базовыми самолетами и их модификациями: разработка первых из названных имеет целью создать качественно новые самолеты с производительностью, значительно большей, чем у предшествующих моделей. Это достигается реализацией большого числа нововведений, а также значительным увеличением размеров самолета. Разработка же модификаций чаще всего не предполагает ни первого, ни второго.

Тенденция снижения массы или удержание ее от возрастания при модификации самолетов определяется стремлением к повышению удельной производительности. Средства для ограничения роста массы весьма различны и по своему характеру, и по своему количественному влиянию на массу конструкции. В прошлом эффективность модификаций повышалась за счет весовых издержек, приводивших к увеличению массы самолета. Понятно, что производительность росла в большей степени, чем масса, и поэтому весовая и экономическая эффективности возрастали. Теперь ставится задача достигнуть еще большего эффекта путем нахождения оптимального компромисса.

В любом случае речь может идти только о поиске компенсирующих облегчений, поскольку рост производительности, как и в прошлом, связан с весовыми издержками. Такой путь был принят конструкторами фирм «Локхид» и «Макдонелл—Дуглас» при разработке модификаций «Тристар-500» (укороченный) и DC-10—62 (удлиненный). Достигнутый эффект подтверждает известное положение о том, что практически нет самолета, который нельзя было бы облегчить, правда здесь уже в несколько ином смысле. Эти примеры интересны тем, что фирмы по-разному компенсировали весовые издержки, неизбежные при модификации.

На самолете L-1011—500 была увеличена тяга двигателей на 15%, взлетная масса примерно на 15% (30 т), максимальная коммерческая нагрузка на 16% (6 т), а масса пустого самолета

практически не изменилась. Последнее было достигнуто уменьшением длины фюзеляжа на 4,1 м и путем различных облегчений.

На модификации ДС-10—62 фюзеляж удлинен на 8,1 м. Увеличение пассажировместимости — эффективное средство снижения расхода топлива на пасс·км и прямых эксплуатационных расходов. Рост взлетной массы привел к необходимости увеличения тяги двигателей на 10% и площади крыла путем увеличения размаха на 4,2 м. Чтобы сохранить конструкцию крыла и его массу, в проекте предусмотрена установка системы активного управления для снижения нагрузок. В противном случае они возросли бы и вследствие роста взлетной массы, и увеличения площади и размаха крыла.

Тенденция создавать модификации без увеличения массы пустого самолета на основе компенсирующих облегчений порождена в конечном счете стремлением экономить топливо. Теперь все проектировочные идеи подчинены одной цели — снижению расхода топлива на единицу производительности.

В последнее время заметно развитие тенденции снижения массы при проектировании самолетов будущих поколений на основе нового подхода к решению проектировочных задач. Если раньше ради скорости полета переходили к тонким стреловидным и более тяжелым крыльям, теперь наблюдается иное. Удлинение крыла (ради снижения расходов топлива), приводящее к росту массы его конструкции, компенсируют уменьшением стреловидности и увеличением толщины профилей.

Напомним, что при проектировании широкофюзеляжных самолетов весовая отдача была принесена в жертву комфорту, который был достигнут значительным снижением плотности компоновки пассажирских салонов (т. е. увеличением объема фюзеляжа, приходящегося на одного пассажира). Подобное снижает весовую эффективность в значительной степени, если принимать во внимание действие коэффициента роста взлетной массы [20]. Упомянутое было не единственной, но, пожалуй, главной причиной обострения весовой проблемы в то время.

Весовая проблема при разработке самолетов четвертого поколения обострилась вследствие иных причин. Дело в том, что в прошлом оптимизация основных размеров и параметров самолета велась на основе минимизации его массы, т. е. на основе весового критерия. При определении параметров самолетов четвертого поколения критерием оптимизации стал энергетический (расход топлива на единицу производительности), что приводит к некоторому повышению массы самолета. В то же время одним из эффективных направлений снижения расхода топлива является как раз уменьшение массы самолета.

Причинами роста массы являются удлинение (λ) крыла (о чем уже упоминалось), увеличение площади крыла ради повышения аэродинамического качества (уменьшается относительная величина миделя фюзеляжа), переразмеренности площади

крыла на отдельных самолетах семейства модификации ради наибольшей унификации.

Для дальнейшего снижения массы самолета (а не только ради компенсации ее увеличения вследствие перечисленных и иных причин) ведутся исследования направлений, порождающих новый подход в решении основных положений проектирования самолета, разработки его конструкции и расчета ее на прочность. К этим направлениям относятся:

- разработка систем активного управления, оказывающих влияние на облик самолета и приводящих к снижению массы конструкции (уменьшение размеров оперения и действующих на него нагрузок, а следовательно, и нагрузок на фюзеляж, уменьшение статических и флаттерных нагрузок на крыло самолета);

- разработка композиционных и других материалов;

- новый метод расчета на прочность (так называемый метод конечно-элементной идеализации), создающий широкие возможности минимизации массы путем комплексного подхода к расчету на прочность крыла, фюзеляжа и других частей самолета (а не минимизации массы каждой из них в отдельности, как это происходило в прошлом).

3.2.5. Рост скорости полета

Тенденция роста скорости, как и рассмотренные выше, является всеобщей и постоянной. Рост крейсерской скорости происходит плавно при сохранении типа двигателей (благодаря повы-

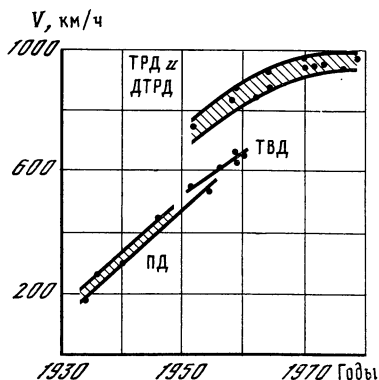


РИС. 3.5. Рост скорости полета в развитии авиации

шению аэродинамического совершенства самолета) и скачкообразно при переходе от одного типа двигателей к иному (рис. 3.5). Точнее говоря, с каждым поколением реактивных пассажирских самолетов скорость полета увеличивалась на величину, примерно соответствующую 0,05 М. Исключением будут, видимо, самолеты четвертого поколения, у которых скорость полета не возрастет, а возможно несколько снизится ради уменьшения расхода топлива на единицу рейсовой производительности.

Скорость увеличивали у самолетов средней и большой дальности полета, ибо для БМС средства достижения больших скоростей экономически не оправдываются. Поэтому количественные скачки у самолетов различных классов не равны по величине; у БМС за период с 1935 до 1980 г. скорость полета возросла в

2,5—3 раза, а у ДМС, если учитывать сверхзвуковые пассажирские самолеты, — в 8 раз.

Заметим, что скорость в противоположность грузоподъемности, пассажировместимости и дальности полета, при модификации самолетов сохраняется примерно в тех же пределах.

3.2.6. Развитие интерьера пассажирских салонов самолетов и их модификаций

В начальный период реактивной авиации появился стиль с претензией на некоторую роскошь и излишество. Примером этого были салоны базового варианта Ту-104, в просторных помещениях которых были размещены всего 50 кресел с очень малой плотностью. Но вскоре же появились его модификации со значительной перекомпоновкой и увеличением числа мест вначале до 75, а затем и до 100 в том же объеме.

Вместе с ИЛ-18 в отечественной авиации появился новый вид интерьера, получивший название «стиля приятной простоты». Вариации этого стиля были широко распространены на зарубежных и отечественных самолетах первых двух поколений. На модификациях этих самолетов с сохранением того же интерьера производилось повышение плотности компоновки путем уменьшения шага ($b_{\text{ш}}$) размещения кресел. Вслед за салонами с креслами первого класса ($b_{\text{ш}}=1020$ мм) появился так называемый туристский класс ($b_{\text{ш}}=860-920$ мм), затем экономический класс ($b_{\text{ш}}=810$ мм), и, наконец, класс повышенной плотности ($b_{\text{ш}}=750$ мм). Таким образом, на модификациях самолетов первых двух поколений повышение экономической эффективности достигалось при некотором снижении комфорта. Наоборот, при создании аэробусов высокая эффективность достигалась, в частности, путем повышения комфорта и уменьшения плотности компоновки с целью привлечь пассажиров и повысить коэффициент пассажирозагрузки многоместных самолетов.

С появлением самолетов третьего поколения появился новый вид интерьера, получивший название «широкофюзеляжный интерьер». Суть его связана не столько с размерами салонов, сколько с новым стилем. «Широкофюзеляжный» интерьер был успешно применен на модификациях эксплуатируемых самолетов и с узким фюзеляжем: в СССР на самолете Ил-62М, а в США — на Боинге-707—320В.

3.2.7. Проблема топливной эффективности

Со времени появления авиационной техники снижение расхода топлива стало неизменной заботой конструкторов. И дело не только в том, что расход большой массы топлива приводит к увеличению одной из наиболее значительных статей прямых эксплуатационных расходов, он приводит, кроме того, к увеличению размеров, а следовательно, и стоимости самолета. А все

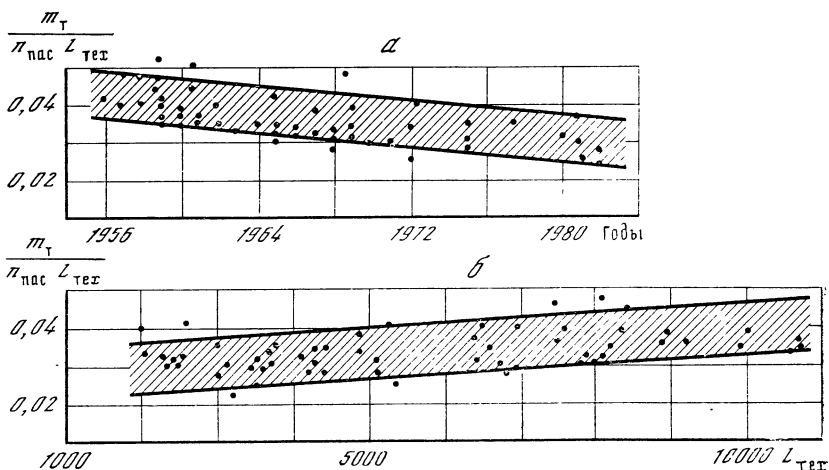


РИС. 3.6. Изменение расхода топлива в процессе развития гражданской авиации (а) и по мере увеличения дальности полета (б)

вместе заметно увеличивает стоимость перевозок и порождает тенденцию снижения расхода топлива в процессе развития гражданской авиации, которая иллюстрируется рисунком 3. 6, а. На этом графике нанесены данные самолетов всех классов и тем не менее снижение расхода топлива очевидно, несмотря на то, что при большей дальности полета увеличивается расход топлива на единицу производительности (рис. 3.6, б) даже у самолетов одного технического уровня.

Повышение всех видов эффективности, и топливной в частности, было основным направлением в период создания пассажирских самолетов всех поколений. Однако такой остроты топливная проблема никогда в прошлом не достигала. Не случайно все вопросы современного проектирования подчинены решению именно этой проблемы, и от каждого из направлений ее решения ожидают значительных результатов. К этим направлениям относятся: создание новых двигателей, совершенствование аэродинамики самолета, поиск новых материалов (например, композиционных), использование систем активного управления.

Выбор облика проектируемых машин основывается теперь на сложном компромиссе между требованиями роста производительности и снижения стоимости жизненного цикла, уменьшения эксплуатационных расходов и экономии топлива, а в конечном счете — получения соответствующей нормы прибыли, с одной стороны, и требованиями комфорта, безопасности полета и охраны окружающей среды — с другой. Разрешение этих противоречий и создание экономических самолетов в условиях энергетического кризиса в большей степени чем ранее зависят от масштабов и уровня исследований и разработок. Это увеличивает продолжительность периода поисковых работ и снижает темпы раз-

работки новых самолетов, что способствует появлению большого числа модификаций самолетов предыдущих поколений.

Сказанное относится к решению энергетической проблемы на стадии проектирования самолетов. Однако возможны и эксплуатационные меры, также приводящие к снижению расхода топлива, к которым, например, относятся:

- сокращение числа рейсов с одновременным увеличением числа пассажиров в каждом рейсе, (т. е. использование более вместительных самолетов). При этом резко снижается расход топлива на пассажиро-километр, ибо увеличивается коэффициент пассажирозагрузки;

- снижение крейсерской скорости до предела, соответствующего наибольшей топливной экономичности (полет на оптимальных режимах);

- проведение большей части полета с центровками самолета, близкими к предельно задним, что снижает балансировочное сопротивление и приводит к экономии топлива (на модификации Ил-62М этой цели служит килевой топливный бак);

- широкое использование тренажеров, позволяющее исключить или свести к минимуму число тренировочных полетов;

- усовершенствование процессов планирования рейсов с применением ЭВМ;

- усовершенствование эксплуатационных процедур, уменьшающее расход топлива на земле (например, отключение части двигателей при движении на земле или применение буксировки).

3.2.8. Закономерность роста спроса и предложения суммарного числа пассажирских мест всего парка самолетов

Многие условия эксплуатации самолетов оказывают существенное влияние на развитие авиационной техники. Прежде всего размер самолета, зависящий от грузоподъемности, пассажировместимости и дальности полета (и выражаемый в конечном счете его тоннажем) определяется на основе изучения «рынка самолетов», точнее, потребностей воздушного транспорта. На основе результатов этого изучения формируются технические требования к проектируемым самолетам и их модификациям. Рассмотрим один из факторов, влияющих как на формирование этих требований, так и на успех самолета.

В развитии воздушного транспорта можно наблюдать определенную закономерность изменения спроса и предложения суммарного числа пассажирских мест всего парка самолетов (иначе говоря, периодического появления разрывов между спросом и предложением). Связана эта закономерность, во-первых, с количественным и качественным изменением парка самолетов, во-вторых, с ростом объема пассажирских перевозок.

Указанные изменения носят различный характер, вследствие чего временами наступает несоответствие между спросом на би-

леты и предложением числа мест. Это типично для периодов ввода в эксплуатацию новых поколений самолетов или их многоместных модификаций. (Наибольший разрыв образовался при появлении аэробусов, однако их большие грузовые помещения помогли заполнить образовавшуюся брешь перевозкой грузов). Подобное несоответствие объясняется скачкообразным ростом предложения числа мест (рис. 3.7) и сравнительно плавным ростом объема пассажирских перевозок (или плавным ростом спроса на билеты).

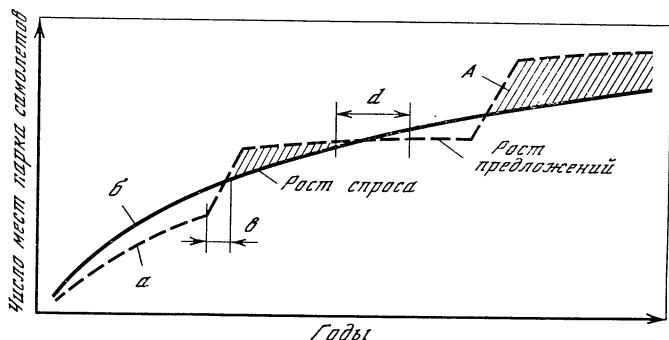


РИС. 3.7. Закономерность роста предложения числа мест парка самолета (а) и объема перевозок (б)

Чем же объяснить скачкообразный характер одной из кривых на рис. 3.7? Прежде всего тем, что пассажироемкость вновь вводимых самолетов выбирают из потребности не начального для них периода эксплуатации, а соответствующей четвертому—пятому году эксплуатации (см. п. 2.3.3) и, следовательно, несколько переразмеренной для начального периода.

За рубежом наибольший разрыв при вводе в эксплуатацию аэробусов (зона А на рис. 3.7) объясняется не только их многоместностью, но и конъюнктурными причинами. Дело в том, что в 60-е годы наблюдался устойчивый 15%-ный годовой прирост объема воздушных перевозок. Если рассматривать больший отрезок времени за период до 1960 г., то объем перевозок возрастал в 4 раза каждые 10 лет. К концу 60-х годов появилась тенденция к снижению темпа перевозок при росте их объема. Вначале причину снижения можно было объяснить тем, что темп роста (%) стал относиться уже к значительно большему суммарному объему перевозок. Дальнейшее резкое падение прироста было следствием общего экономического и особенно энергетического кризисов за рубежом. Прирост годового объема перевозок упал вначале до нуля, затем повысился, но лишь до 7%.

Приведенный график представляет собой упрощенную схему, иллюстриующую суть этой закономерности. В действительности дело обстоит несколько сложнее. Существуют довольно продол-

жительные периоды соответствия пассажироемкости парка самолетов объему перевозок (участки *d* на рис. 3.7). Построить подобный график по фактическим данным, более строго отражающим это явление, к сожалению, весьма сложно, для этого требуется объемный, хорошо систематизированный статистический материал. Характер изменения коэффициента пассажирозагрузки соответствует характеру кривой предложения числа мест. Так, в период одного из скачков в 1957—1961 гг. (участок *b*), когда среднее число кресел в самолете увеличилось с 74 до 124 и размер самолета возрос почти в 2 раза, коэффициент пассажирозагрузки, например, на североатлантических наиболее загруженных линиях снизился с 0,67 до 0,51.

Иным примером служат аэробусы и суперэробусы. В отношении их часто возникает вопрос: не оказались ли широкофюзеляжные самолеты переразмеренными по пассажироемкости? Во всяком случае ошибок в прогнозах допущено, видимо, не было. Значительно больший дисбаланс между предложением и спросом, чем можно было бы ожидать, явился следствием неблагоприятного стечения обстоятельств экономического спада на западе и скачка в росте цен на топливо. Подобных явлений ни конструкторы, ни заказчики не могли предусмотреть, а это и привело к чрезмерно избыточной пассажировместимости.

3.3. Развитие транспортных (грузовых) модификаций пассажирских самолетов

3.3.1. Зарождение грузового воздушного транспорта

В качестве краткой исторической справки заметим, что в 20-е годы грузового воздушного транспорта вообще не существовало. В 1930 г. объем грузовых перевозок на регулярных зарубежных авиалиниях уже составлял 4 млн. т·км. К 1935 г. этот показатель вырос до 8, а к 1938 г. — до 18 млн. т·км. Если показатель 1930 г. принять за единицу, то легко показать темп роста за период с 1930 по 1938 г. А послевоенный рост можно иллюстрировать, приняв за единицу уровень перевозок 1945 г., таблицей 3.3. (Данные для всех стран членов ИКАО без учета перевозок в СССР и КНР.)

Развитие класса грузовых самолетов началось на базе грузовых модификаций пассажирских самолетов с поршневыми двигателями.

В ранние годы развития авиатранспорта (а иногда и сейчас) грузовые воздушные перевозки рассматривались как побочный продукт пассажирских перевозок: грузы, как правило, перевозились в грузовых отсеках пассажирских самолетов.

При появлении грузовых модификаций Боинг-707—320С (а позже DC-8F и особенно DC-8—63F) произошел скачок в развитии грузоподъемности грузовых модификаций, поскольку рейсовая производительность, например, первой из названных моди-

ТАБЛИЦА 3.3

Год	Объем перевозок, млн. т. км	Рост перевозок	Год	Объем перевозок, млн. т. км	Рост перевозок
1945	110	1,0	1970	10 460	94,5
1950	730	6,5	1975	17 240	157,0
1960	2160	19,5			

фикаций возросла в сравнении с грузовой модификацией поршневого самолета DC-7F в шесть раз: грузоподъемность возросла втрое, и дальность полета с максимальным грузом — вдвое. При появлении широкофюзеляжных грузовых модификаций такого скачка не произошло.

Рейсовая производительность грузовой модификации Боинг-747—200F (с массой груза 116,9 т и дальностью полета 6400 км) превышает производительность грузовой модификации Боинг-707—320C (с массой груза 43,6 т и дальностью полета 6317 км) в 2,7 раза.

К 1970 г. реактивные грузовые самолеты полностью вытеснили старые самолеты. Это привело: 1) к резкому снижению стоимости перевозок, 2) к расширенному применению грузовых контейнеров и поддонов, 3) к повышению коэффициента загрузки (с 50% в 1969 г. до 57% в 1977 г.). Два последних фактора привели в свою очередь к дальнейшему снижению себестоимости эксплуатации.

3.3.2. Две тенденции использования объема фюзеляжа

С введением в эксплуатацию больших газотурбинных самолетов определились две тенденции использования объема фюзеляжа при полетах с неполным числом пассажиров. Первая из них привела к увеличению объема багажно-грузовых помещений путем увеличения размера фюзеляжа по вертикальной оси, другая — к появлению быстропереоборудуемых самолетов для перевозки грузов на поддонах в одном из пассажирских салонов. Причиной возникновения этих тенденций явился рост размера самолета, резкое увеличение числа мест и некоторое снижение коэффициента пассажирозагрузки в начальный период эксплуатации. При среднегодовом значении этого коэффициента 0,60—0,65 остаются большие свободные объемы, отсюда стремление к повышению грузовых перевозок, т. е. к максимальному использованию объема фюзеляжа и грузоподъемности самолета.

Поскольку в послевоенные годы (т. е. в период поршневой авиации) объем грузовых перевозок был невелик, то необходимости в создании смешанных или грузовых самолетов для гражданского применения в широком плане не возникало. С грузовыми перевозками справлялись пассажирские самолеты и грузовые

модификации, например, Ил-14Гр. Последующий рост грузового потока хорошо сочетался с развитием больших газотурбинных самолетов, экономичная эксплуатация которых привела к увеличению багажных помещений. Дальнейший рост грузовых перевозок потребовал и специальных грузовых самолетов, которые создавались за рубежом вначале на базе турбовинтовых военнотранспортных, а затем и пассажирских. Примером является транспортная модификация самолета «Британия», разработанная в Канаде и получившая название «Канадер» [33]. При массе 95 250 кг его грузоподъемность достигала 30 000 кг. Грузовые модификации турбовинтовых самолетов появляются в настоящее время на базе тех пассажирских, которые еще не выработали своего ресурса, но уже не могут конкурировать с новейшими реактивными. Доработка сводится к устройству большой грузовой двери, усилению пола и конструкции фюзеляжа. Такой путь использования морально устаревшей техники целесообразен, видимо, и в дальнейшем. Примером такой модификации является самолет Ил-18Т.

Для увеличения багажно-грузовых помещений реактивных пассажирских самолетов второго поколения было увеличено поперечное сечение их фюзеляжа при вытянутой по вертикали форме (это сечение получило название «двойной бульбы»). У большей части турбовинтовых самолетов поперечное сечение имело форму окружности.

Многие из современных самолетов имеют грузопассажирские и грузовые модификации. Это относится к самолетам почти всех классов: межконтинентальным (DC-8F, Боинг-707—320С), среднерейсовым (Боинг-727С) и короткорейсовым (DC-9С). Появление их шло именно в такой последовательности — от больших к малым. При возникновении идеи создания быстропревращаемой грузопассажирской модификации полагали, что она получит развитие лишь в применении к средне- и короткорейсовым самолетам и окажется неприемлемой для дальнорейсовых (межконтинентальных), ибо для достижения наибольшей дальности из проекта выжимают все возможное, а реализация этой идеи связана с определенными весовыми издержками. И действительно, в этом классе в основном оказались грузовые модификации с достаточно широкой областью применения, но существуют и смешанные.

Рассмотренные тенденции будут развиваться и дальше. Бережное обращение с грузом и большая скорость доставки, типичные для воздушного транспорта, наравне с дальнейшим снижением тарифа будут повышать роль грузовых перевозок на самолетах третьего поколения. Становится ясным и другое. В развитии воздушных грузовых перевозок, пожалуй, ни один вновь появлявшийся тип пассажирского самолета не создавал таких технических возможностей как аэробусы и самолеты-гиганты. Их фюзеляжи круглого и очень большого сечения, в которых площадь, занятая креслами, составляет малую долю, имеют большой объем грузовых подпольных помещений и большие

багажные полки. Интересно, что при увеличении числа кресел на Боинг-747 в 2,5 раза (против Боинг-707) объем багажников увеличен в 4 раза. Это, а также грузопассажирские и грузовые модификации аэробусов, привело к очередному скачку в росте объема пассажирских и грузовых перевозок.

Параллельно с разработкой перечисленных модификаций за рубежом разрабатывались военно-транспортные самолеты, применяемые для грузовых перевозок с наилучшим использованием объемов. Схема высокоплана, присущая им, в наибольшей степени отвечает эксплуатационным требованиям к классу грузовых самолетов. Применяемое крыло меньшей стреловидности повышает весовую эффективность, а меньшая скорость полета для перевозки грузов не имеет определяющего значения. По этой же причине на грузовых самолетах турбовинтовые двигатели применялись более длительное время, чем на пассажирских, на реактивные перешли лишь с появлением турбовентиляторных.

Создание транспортных самолетов, используемых и на воздушных аэролиниях, вначале базировалось на лучших образцах пассажирских самолетов. Примером может служить грузовой Ил-14Т, широко применявшийся в народном хозяйстве, на Северном полюсе и в Антарктиде. Затем появились специализированные транспортные самолеты с ТВД, такие, как Ан-12 (СССР), Дуглас DC-133 (США), «Белфаст» (Англия) и другие. Транспортный гигант Ан-22 «Антей», опередивший появление подобной машины за рубежом. А затем были созданы новые базовые транспортные самолеты с турбовентиляторными двигателями: ИЛ-76Т (конструкции Г. Н. Новожилова) [27], породивший ряд высокоэффективных модификаций) [27], а за рубежом — Локхид С-141А.

3.3.3. Некоторые особенности развития грузовых модификаций

Размеры и схема грузопассажирских модификаций, основанных на пассажирских базовых самолетах, остаются теми же. Аэродинамические потери в таком случае исключаются, а весовые, связанные с возможностью переоборудования (в аэродромных условиях) в грузопассажирский или грузовой вариант, сводят к минимуму. Они легко компенсируются использованием быстропереоборудованного самолета для дневных рейсов — в пассажирском варианте, для ночных рейсов или транспортировки грузов в одном направлении — в грузовом варианте, а на линиях с умеренным пассажирским потоком и в межсезонье — в грузопассажирском варианте. Это повышает использование потенциальной грузоподъемности, но экономический эффект достигается, если эти самолеты способны конкурировать с другими видами транспорта в перевозке промышленных и иных грузов.

Грузопассажирские модификации приобретают еще большее значение в период роста стоимости топлива, которое использует-

ся с наибольшей эффективностью при повышении коэффициента загрузки самолета.

Тенденция создания грузопассажирских (превращаемых) и грузовых модификаций пассажирских самолетов с появлением широкофюзеляжных самолетов развивается с более разносторонним использованием грузовых вариантов, а главное с большим объемом конструктивных отличий. Причина этого — резкий рост стоимости разработки и производства современной техники. Ради примера можно сослаться на известные широкофюзеляжные самолеты Макдонелл-Дуглас DC-10, Локхид L-1011 и Боинг-747, стоимость разработки каждого из них — 1,0—1,5 млрд. долл. Полагают, что стоимость разработки усовершенствованного крупнотоннажного грузового самолета теперь составила бы сумму во много раз большую.

Можно предположить, что сокращение столь значительных затрат на разработку грузовых самолетов в какой-то мере компенсирует издержки, связанные с завышенной массой конструкции грузовых модификаций (вследствие большей стреловидности крыла пассажирских самолетов, низкого расположения крыла), а также неоптимальной для грузовых самолетов двухконтурностью двигателей. При условии предварительного планирования грузовой модификации еще на ранней стадии разработки базового пассажирского самолета в конструкции последнего предусматриваются элементы, облегчающие переход к грузовой модификации, но обременяющие основной вариант и снижающие его весовую эффективность.

Сказанное можно рассматривать как развитие концепции многоцелевых самолетов с целью создания пассажирских и грузовых модификаций на основе единого базового самолета. Началом такого направления были самолеты Ан-10 и Ан-12, а примером последнего времени в зарубежной практике являются Боинг-747 и -747—200F [35].

В последнее время за рубежом родилась идея создания многоцелевого самолета в ином плане, а именно такого, который бы наилучшим образом удовлетворял требованиям военно-транспортной и одновременно гражданской грузовой авиации, так называемого «военно-гражданского самолета».

Особенно ярко проявляется тенденция к увеличению размеров и тоннажа грузовых самолетов будущих поколений. Исследуются проекты самолетов с грузоподъемностью 500 т и более, с расположением этого груза в крыле гигантских размеров ради его разгрузки и достижения минимальной массы конструкции.

Какая из этих концепций будет развиваться в дальнейшем, предвидеть трудно, поскольку первая из них является противоречивой, сложной и спорной. Дело в том, что при значительном повышении эффективности вследствие накопления достаточного числа нововведений специализированные самолеты (несмотря на большие начальные затраты) могут оказаться экономичнее переоборудованных. Тем более, что появляется необходимость в пере-

возке крупногабаритных многотоннажных грузов. Экономическая оценка тенденций создания грузовых самолетов на базе пассажирских или (альтернативных этой тенденции) решений о создании оригинальных конструкций основаны на конкретном анализе конкретных условий.

К этим условиям относятся прежде всего дальнейший рост воздушных грузовых перевозок и соответственно потребного размера парка специализированных грузовых самолетов и их грузоподъемности. Сомнения в целесообразности второй тенденции связаны с тем, что объем грузовых перевозок, несмотря на высокий темп роста, еще значительно меньше объема пассажирских перевозок (в т.км). Самолет, используемый как грузовой, имеет в 1,5 (широкофюзеляжный) — 2 раза (узкофюзеляжный) большую грузоподъемность, чем при использовании в качестве пассажирского (не говоря уже о предполагаемых гигантах). Поэтому для обеспечения равного числа пассажирских и грузовых самолетов потребный объем грузовых перевозок должен в 1,5—2 раза превышать объем пассажирских. Если сохранится потребность в малом числе грузовых самолетов, то затраты на разработку нового специализированного самолета не оправдаются. Если принять во внимание иные условия, связанные с прогрессом в развитии как двигателей и самолетов, так и комплексных транспортных систем, то можно предвидеть разработку специализированных грузовых самолетов.



ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

ПРИЧИНЫ ПОЯВЛЕНИЯ МОДИФИКАЦИЙ

4.1. Техничко-экономические факторы

Экономический фактор в истории развития модификаций ярко проявляется, если рассматривать основное противоречие между техническими и экономическими данными самолета при его создании и эксплуатации.

Повышение летно-технических характеристик самолета связано с усовершенствованием двигателя, конструкции планера, систем и оборудования. Все это приводит к удорожанию. Во второй половине 30-х годов стоимость одного кг конструкции самолета составляла 35—40 долл., в конце 60-х годов — 200—250 долл., а во второй половине 70-х годов 1 кг конструкции сверхзвукового самолета «Конкорд» «стоил» около 500 долл. Повышение удельной стоимости самолетов и их технического совершенства приво-

ТАБЛИЦА 4.1. Динамика стоимости разработки пассажирских самолетов

Фирма	Самолет	Тип самолета	Год ввода в эксплуатацию	Стоимость разработки млн. долл
«Дуглас»	DC-3	Поршневой	1936	0,3
«Виккерс»	«Вайкаунт»	Турбовинтовой	1953	11,2
«Дуглас»	DC-8	Реактивный	1959	112,0
«Боинг»	Боинг-747	Широкофюзеляжный	1970	650,0
«Аэроспасьяль» — БАК	«Конкорд»	Реактивный сверхзвуковой	1976	2400,0

дит к скачкообразному увеличению стоимости их разработки (см. табл. 4.1).

Современные самолеты достигли такой степени сложности, что их создание становится экономически недоступным не только для отдельных фирм, но и государств. Разработка самолета «Конкорд» осуществлялась совместными усилиями фирм Великобритании и Франции, широкофюзеляжного самолета А-300В — Франции, ФРГ, Великобритании, Голландии. В создании американского самолета Боинг-767 участвуют Италия и Япония.

В конце 60-х и начале 70-х годов противоречие между техническими и экономическими характеристиками достигло такой остроты, что возникла необходимость в разработке метода «проектирования в пределах заданной стоимости», предназначенного для прогнозирования и управления стоимостью в процессе проектирования и изготовления самолета. Во время проектирования повышенное внимание стали уделять устранению излишних требований к самолету и его отдельным системам, снижению количества комплектующих деталей в отдельных компонентах планера, использованию более дешевых материалов, технологических процессов и т. д.

Обострились противоречия и между экономическими характеристиками самолета. Основные экономические показатели пассажирских самолетов — себестоимость единицы транспортной продукции (себестоимость т·км, пасс·км) и цена (рис. 4.1). Высокое значение себестоимости единицы транспортной продукции (ЕТП) было одной из основных причин трудности сбыта самолетов в начале развития авиастроения. За 1919—1972 гг. прямые эксплуатационные расходы (ПЭР) в расчете на т·км сократились примерно в 15 раз. Одновременно цена самолета возросла примерно в 300 раз. Несмотря на низкое значение ЕТП масштабы использования современных самолетов в ряде стран (характернее для развивающихся) ограничены высокой ценой. В большинстве этих стран основу парка самолетов (особенно обслуживающих внутренние авиалинии) составляют бывшие в использовании

турбореактивные, турбовинтовые и поршневые самолеты (рис. 4.2), цена на которые сравнительно низка.

Указанные противоречия между техническими и экономическими характеристиками, а также между экономическими характеристиками самолета часто разрешаются созданием модификаций.

Конкуренция между самолетами различного назначения. Впервые самолет использовали для сбора разведывательных данных в 1911 г. во время войны между Италией

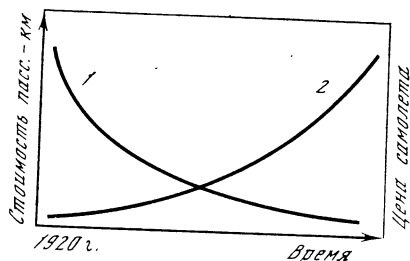


РИС. 4.1. Динамика ЕТП и цены самолетов по годам
1 — себестоимость пасс-км;
2 — цена самолетов

и Турцией. И в начале первой мировой войны он первоначально использовался в качестве разведчика, а несколько позже и бомбардировщика. Высокая эффективность использования самолета для военных целей послужила предпосылкой для создания средств противодействия. Появился самолет-истребитель, в задачи которого входило уничтожение неприятельских самолетов. Для этого истребителю были обеспечены большие скорость, маневренность, потолок, чем у разведчика и бомбардировщика, а также соответствующее вооружение. Это ограничило масштабы полетов разведывательных самолетов и бомбардировщиков. Их эффективность вновь возросла, когда скорость полета и оборонительное вооружение были доведены до уровня скорости и вооружения истребителей.

Таким образом, с появлением истребителей обострилось соперничество между самолетами различного назначения.

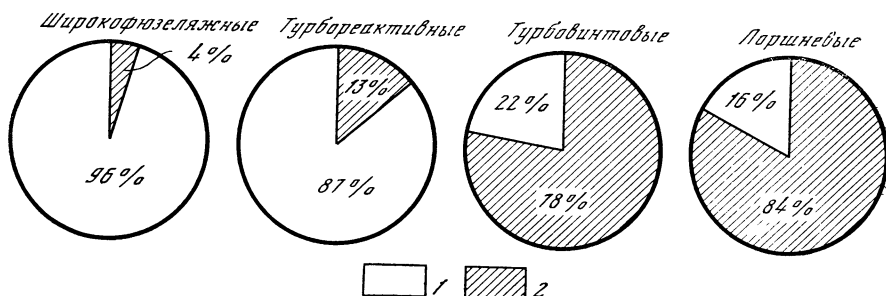


РИС. 4.2. Распределение мирового парка магистральных самолетов в середине 1970-х годов по группам стран

1 — промышленно развитые; 2 — развивающиеся

Чем острее конкуренция в области технических характеристик между различными типами самолетов, тем существеннее роль модификаций, тем более высокими темпами развивается авиационная техника. Это справедливо не только для военной, но и для гражданской авиации.

Конкуренция между авиацией и другими видами техники. Авиация развивается не изолированно от других видов техники. Так эффективное применение самолета в первой мировой войне послужило толчком для создания наземных средств противодействия авиации — зенитных установок. Чем совершеннее зенитные установки, тем выше требования к потолку и маневренности разведывательных самолетов и бомбардировщиков, тем совершеннее устанавливались на них фотооборудование и система бомбометания. Во время первой мировой войны потери самолетов в основном были результатом воздушных боев. В войне 1940 г. Германии с Францией и Великобританией потери от зенитной артиллерии возросли до 20% общих потерь авиации. Во время Великой Отечественной войны потери от зенитной артиллерии приблизились к потерям в воздушных боях [3].

Результат конкуренции авиационной техники с другими видами военной техники во многом влияет на развитие летно-технических характеристик самолета. В частности, уровень технических данных противолодочного самолета в основном предопределяется техническим развитием подводных лодок. Появление ракетных противосамолетных систем привело к сокращению бомбардировочной авиации. К концу первой мировой войны доля бомбардировочной авиации у ведущих капиталистических стран составляла около 15% общей численности ВВС. К 1939 г. она возросла до 40%. В 1978 г. на долю стратегических бомбардировщиков в общей численности боевых самолетов США приходилось около 6%. На сокращение потребности в стратегических бомбардировщиках существенно повлияло появление ракет. Функции тактических бомбардировщиков стали выполнять более маневренные истребители-бомбардировщики.

На развитие гражданской авиации в немалой степени влияло соперничество со стороны морского и наземного видов транспорта. До конца 30-х годов авиация не играла серьезной роли в общей транспортной системе, так как безопасность полета была недостаточной, а эксплуатационные расходы по сравнению с другими видами транспорта — высокими. По мере снижения эксплуатационных расходов (рис. 4.1), повышалась конкурентоспособность гражданских самолетов. К концу 60-х годов по стоимости проезда воздушный транспорт практически приблизился к морскому и наземному. Одновременно со снижением эксплуатационных расходов повышалась безопасность полетов на самолетах (табл. 4.2)*. К середине 1970-х годов воздушный транспорт

* The Aircraft year book for 1937. N. Y., 1938, p. 448; J. Aircraft, 1977, N 12, p. 1159.

ТАБЛИЦА 4.2. Повышение уровня безопасности на различных видах транспорта

Вид транспорта	Количество погибших пассажиров на 100 млн. пасс·км				
	1932	1936	1941	1970	1975
Воздушный	10,0	5,7	1,8	0,12	0,08
Автомобили (и такси)	—	—	1,6	0,1	0,8
Автобусы и ж. д.	—	—	0,16	0,09	0,08

ТАБЛИЦА 4.3. Эволюция основных характеристик поршневых самолетов фирмы «Дуглас»

Самолет (базовый)	Год ввода в эксплуатацию	Пассажиро-вместимость	Крейсерская скорость, км/час	Расчетная дальность, км
DC-1	1933	12	278	—
DC-2	1934	14	300	1100
DC-3	1936	21	300	1150
DC-4	1946	55	325	3000
DC-6	1947	65	450	4800
DC-7	1953	80	510	5400

стал одним из самых безопасных и скоростных видов транспорта. Экономическая эффективность самолетов достигалась не только ростом скорости, но и дальности полета, при увеличении которой легче реализовать потенциальные возможности скорости. В табл. 4.3 тенденция роста дальности полета самолета показана на примере поршневых самолетов фирмы «Дуглас».

С увеличением скорости, дальности и пассажироместности самолета увеличивалась и доля воздушного транспорта в общем объеме перевозок общественными видами транспорта, особенно на протяженных маршрутах. Так, на североатлантических маршрутах, протяженность которых составляет 5000—6000 км, на долю воздушного транспорта в 1948 г. приходилось около 30%, в 1957 г.— 50%, а во второй половине 60-х годов — свыше 90% общего объема пассажирских перевозок. В СССР в конце 60-х годов на маршрутах, связывающих центр с дальневосточным экономическим районом, на долю воздушного транспорта приходилось 84%, а на долю железных дорог 16%, в пассажирообороте с северо-западом соответственно — 73 и 27%, со Средней Азией — 64 и 36% [27а]. В зарубежных странах в начале 70-х годов воздушный транспорт практически монополизировал маршруты большой протяженности.

Расстояние, км	100—500	500—1000	1000—4000	Свыше 4000
Доля воздушного транспорта в общем пассажирообороте, %	4	25	50	98

На маршрутах малой протяженности в связи с удаленностью аэродромов от городов путевая скорость переезда пассажиров составляет около 120—140 км/час. Техническое совершенство самолетов на таких авиалиниях реализуется не полностью. Помимо этого под влиянием сильной конкуренции со стороны наземных видов транспорта возникает необходимость обеспечивать на коротких маршрутах высокую частоту рейсов, что вынуждает авиатранспортные организации использовать на таких маршрутах самолеты относительно небольшой пассажировместимости — в 2—3 раза меньшей, чем пассажировместимость ДМС (рис. 4.3). Таким образом, межотраслевая конкуренция существенным образом влияет на основные характеристики самолета. От степени этой конкуренции возникает потребность в различных типах воздушных лайнеров. В определенных условиях такие потребности могут быть удовлетворены на уровне модификаций.

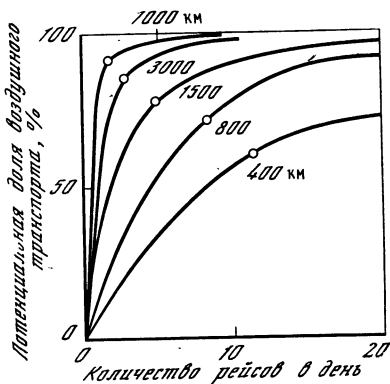


РИС. 4.3. Влияние протяженности авиалиний на частоту рейсов самолетов

○ — оптимальная частота рейсов

Сейчас воздушный транспорт, по существу, стал международным. В довоенные годы воздушные перевозки выполнялись в основном на внутренних авиалиниях. В послевоенные годы доля перевозок зарубежными авиакомпаниями, выполняемых на международных авиалиниях, увеличилась с 37% в 1950 г. до 53,5% в 1978 г. С повышением доли международных перевозок обостряется соперничество между авиатранспортными организациями ведущих капиталистических стран, между транспортными организациями промышленно развитых и развивающихся стран.

ТАБЛИЦА 4.4. Структура и динамика общего объема регулярных перевозок воздушного транспорта стран ИКАО *

Годы	Общий объем перевозок		Пассажиры		Грузы		Почта	
	млн т·км	%	млн. т·км	%	млн. т·км	%	млн. т·км	%
1946	1 660	100	1 440	86,8	120	7,2	100	6,0
1960	12 340	100	9 570	77,5	2 160	17,5	610	5,0
1970	47 750	100	34 300	71,8	10 780	22,6	2670	5,6
1978	97 870	100	71 030	72,6	24 060	24,6	2780	2,8

* Здесь и далее в статистику ИКАО не включены данные по воздушным перевозкам в СССР.

В послевоенные годы постепенно возрастала доля грузовых перевозок в общем объеме перевозок воздушного транспорта (табл. 4.4). В ряде стран образовались авиакомпании, основная сфера деятельности которых — перевозка грузов. Между специализированными авиакомпаниями и авиакомпаниями-монополиями, осуществляющими пассажирские и грузовые перевозки, происходит острая конкуренция на рынке воздушного транспорта. Результаты такой конкуренции существенно влияют на появление модификаций.

4.2. Специализация

В 20—30-х годах специализация многих типов самолетов углублялась: истребители стали подразделяться на истребители-перехватчики, фронтовые истребители и истребители сопровождения и т. д. (рис. 4.4). Одновременно появились и самолеты для новых сфер применения: военно-транспортные, санитарные и т. д. В последнее время возникли совершенно новые типы самолетов — топливозаправщики, противолодочные.

По мере развития военной авиации расширялась и сфера ее применения, но вместе с этим под влиянием возрастающей сложности увеличивалась и стоимость разработки, что создавало благоприятную почву для создания модификаций. Модификации стали рассматриваться как одно из самых эффективных средств решения противоречия между стоимостью разработки самолетов и растущей потребностью в них вооруженных сил.

Аналогично происходит и в гражданской авиации. После первой мировой войны самолеты стали подразделяться на самолеты общего назначения (легкомоторные самолеты) и коммерческие. Первоначально не было сколько-нибудь существенного различия между коммерческой и легкомоторной авиацией. Термин «легкомоторный» самолет в 20-х годах отличался неопределенностью. В 1925 г. в СССР было принято обозначать самолеты с двигателями мощностью до 35 л. с. «авиетками», с двигателями мощностью 35—85 л. с. — легкими самолетами. Однако несколько позже к легким стали относить и самолеты с двигателями мощностью до 300 л. с. и более. Поскольку провести четкую границу между легкомоторной и коммерческой авиацией было трудно, то при определении самолетов учитывали не только мощность двигателей, но и назначение. Легкомоторные, как правило, использовались для аэрофотосъемки, спортивных мероприятий, медицинского обеспечения и т. д. (рис. 4.5).

К середине 50-х годов, с появлением самолетов повышенной дальности, ввели подразделения: ближние магистральные самолеты (БМС), средние (СМС) и дальные (ДМС). В 70-х годах, с развитием воздушных перевозок возникла потребность в самолетах не только с различной дальностью, но и с различной пассажироместимостью (табл. 4.5).

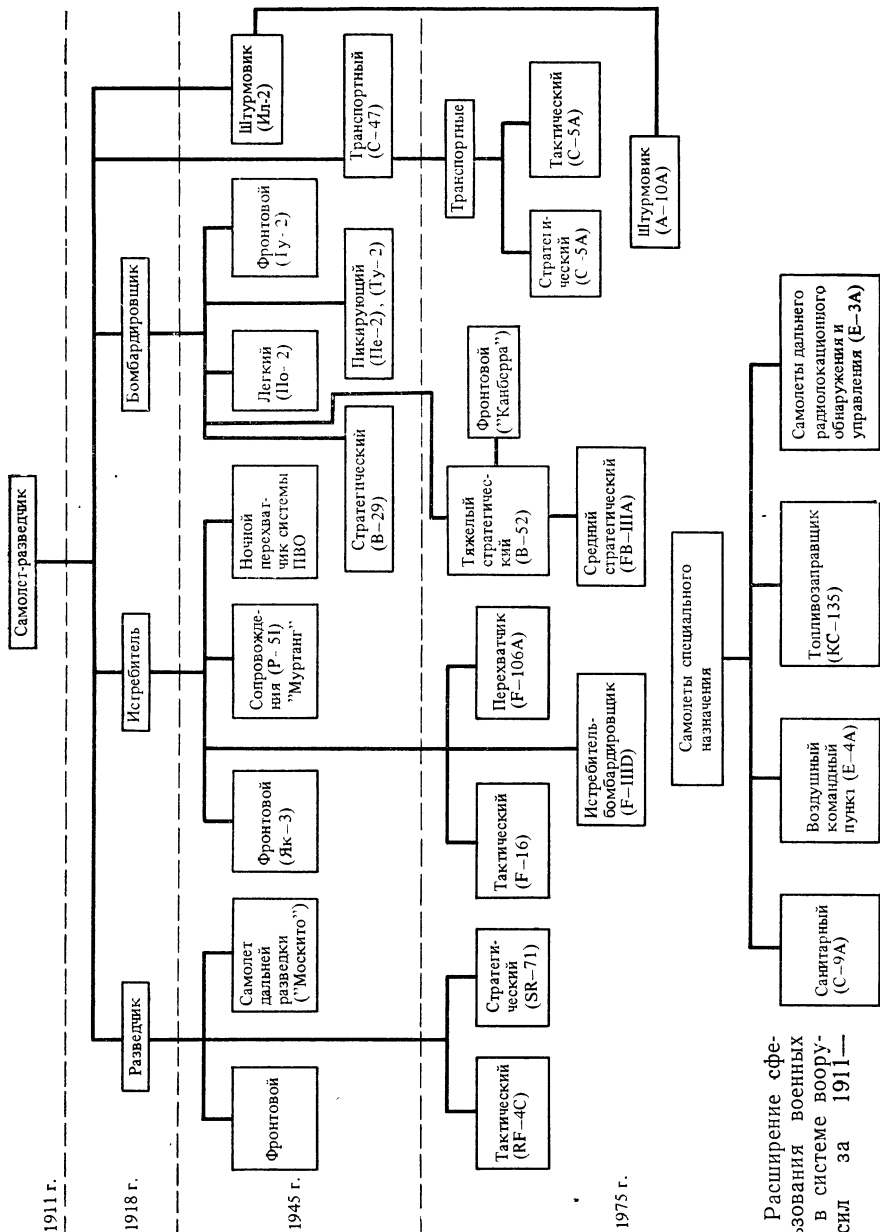


РИС. 4.4. Расширение сферы использования военных самолетов в системе вооруженных сил за 1911—1975 гг.

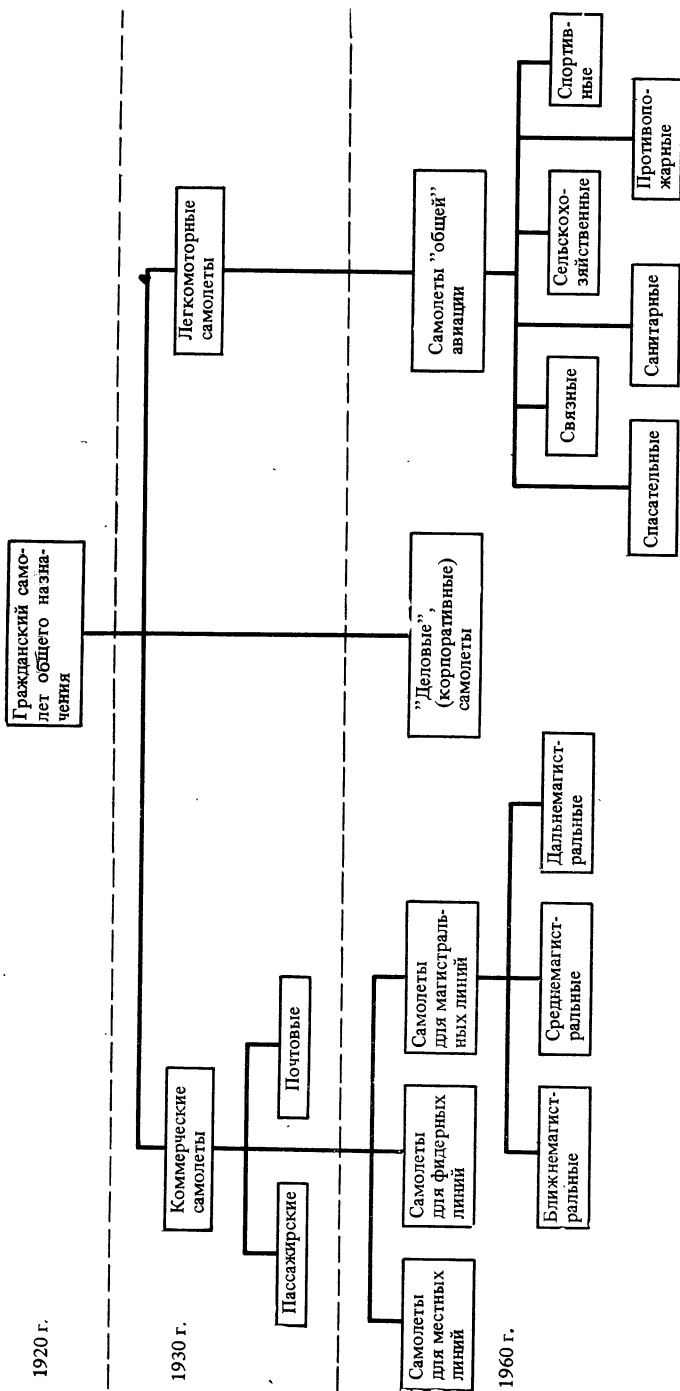


РИС. 4.5. Расширение сферы использования гражданского самолета в народном хозяйстве за 1920—1960 гг.

ТАБЛИЦА 4.5. Распределение современных гражданских турбореактивных самолетов по дальности полета и пассажировместимости

Пассажировмести- мость	БМС	СМС	ДМС
Малая	ТУ-124, ТУ-134 F-28, ВАС-111 DC-9—30 Боинг-737—100	Боинг-727—100 «Трайдент»	Ил-62 Боинг-707 DC-8 VC-10
Средняя	«Меркьюр» DC-9—80	Ту-154Б Боинг-727—200 Боинг-757	DC-10—30 L-1011—500 Боинг-747SP
Большая	A-300B2	Ил-86 L-1011—100 DC-10—10 Боинг-747SR	Боинг-747—200

За 40 лет произошла глубокая эволюция мирового парка магистральных самолетов. В конце 30-х годов самолет DC-3 использовался как на коротких авиалиниях (в вариантах на 21 место), так и на более протяженных (в «спальном» варианте на 14 мест, с промежуточными посадками). В 70-х годах минимальная пассажировместимость БМС составляла 60—70 человек, ДМС — 140—180 человек. По мере развития авиастроения росла стоимость разработки самолетов (табл. 4.1) и повышалась их специализация. Поэтому одна из основных причин повышения роли модификаций связана с растущим противоречием между постоянно увеличивающейся стоимостью разработки самолетов и расширением сферы их применения.

Эволюция мирового парка самолетов зависит не только от технического прогресса в авиастроении и развития воздушного транспорта, но и географического положения отдельных авиатранспортных организаций и экономического потенциала тех стран, в которых они зарегистрированы. Например, в промышленно развитых странах самолет DC-3 используют на местных авиалиниях, в менее-развитых странах этот тип самолета в основном используют на фидерных* авиалиниях, во многих развивающихся странах он еще является основным магистральным самолетом. Неравномерность развития воздушных перевозок по отдельным странам и районам также создает предпосылки для создания модификаций.

* Фидерные — авиалинии, связывающие районные центры с областными.

4.3. Фактор времени

Рост технического совершенства самолетов сопровождается повышением их сложности, что существенно увеличивает сроки создания авиационной техники. В начале развития авиационной промышленности продолжительность создания самолета (период от начала разработки до сдачи в эксплуатацию) составляла 6—12 месяцев. В 20-х годах этот период увеличился до 2—3 лет. Тенденцию увеличения продолжительности разработки самолетов в последующие годы лучше всего проследить на примере продукции одного разработчика. Так, бомбардировщики фирмы «Боинг» (в скобках год поступления на вооружение США) В-17 (1938), В-29 (1944), В-47 (1951), В-52 (1954) были соответственно созданы за 4, 5, 7 и 8 лет. Одновременно с усложнением авиационной техники проходило и углубление ее специализации. До середины 50-х годов каждый последующий отличался от предыдущего типа самолета аналогичного назначения повышенной скоростью, дальностью полета, грузоподъемностью (табл. 4.6).

Аналогичная тенденция наблюдалась и в пассажирской авиации (табл. 4.3).

С конца 50-х годов в деятельности разработчиков стала проявляться иного рода тенденция: каждый последующий тип самолета являлся не развитием предыдущего и создавался не для его замены, а был ориентирован на иную область применения. В табл. 4.7 показана последовательность создания фирмой «Боинг» магистральных реактивных самолетов. Интервал между однотипными машинами в среднем составляет около 15 лет.

ТАБЛИЦА 4.6. Основные характеристики бомбардировщиков фирмы «Боинг»

Самолет	Год ввода в эксплуатацию	Скорость макс., км/ч	Дальность макс., км	Грузоподъемность бомб макс., кг
В-9 поршневый	1931	300	1840	1100
В-17 »	1937	480	5400	2200
В-29А »	1944	580	9300	9000
В-47 реактивный	1952	950	4800	9000
В-52 »	1954	1040	16 000	23 000

ТАБЛИЦА 4.7. Магистральные реактивные самолеты фирмы «Боинг» [33, 35]

Самолет	Год ввода в эксплуатацию	Назначение	Пассажиро-местность	Дальность, км
Боинг-707	1958	ДМС	160	7000
Боинг-727	1964	СМС	130	3500
Боинг-737	1968	БМС	96	2400
Боинг-747	1970	ДМС	400	7000
Боинг-767	1982	СМС	200	3700

В ОКБ А. Н. Туполева в период между двумя СМС Ту-104 и Ту-154 был создан БМС Ту-134, в ОКБ С. В. Ильюшина в период между СМС Ил-18 и Ил-86 был создан ДМС Ил-62. У фирмы «Макдонелл—Дуглас» первоначально был создан ДМС DC-8 (1959 г.), после которого в 1965 г. ввели в эксплуатацию БМС DC-9, а в 1971 г. — СМС DC-10.

Повышение продолжительности материализации проектов (1930—1970 гг.) и одновременное увеличение интервала между разработками самолетов аналогичного назначения создают благоприятные предпосылки для повышения роли модификаций в развитии авиационной техники.

4.4. Причины создания модификаций на современном этапе

Как показывает история развития авиации, темпы обновления продукции в отрасли достаточно высоки, но имеют тенденцию к понижению. В годы первой мировой войны в России, Англии, Франции, Италии и США создавалось ежегодно около 200 новых типов самолетов. В 1941—1945 гг. в СССР и указанных странах этот показатель сократился до двух—трех типов. В послевоенные годы происходило дальнейшее сокращение темпов обновления продукции, что можно показать на примере зарубежных магистральных самолетов. Количество новых типов воздушных лайнеров, введенных в эксплуатацию в зарубежных странах за 1946—1957, 1958—1965, 1966—1980 гг. соответственно составило 16, 14 и 9. С середины предыдущего десятилетия темпы ежегодного ввода в эксплуатацию новых типов сократились в 2,5 раза по сравнению с периодом 1946—1965 гг. и почти в 3 раза по сравнению с периодом 1956—1965 гг.

Существуют три основные причины сокращения указанных темпов. Первая связана с ростом противоречий между техническими и стоимостными показателями самолетов (см. раздел 4.1), вторая — с расширением сферы использования летательных аппаратов в народном хозяйстве (см. раздел 4.2). Как в военном, так и в гражданском авиастроении происходит специализация самолетов, под влиянием которой сформировались системы воздушного транспорта и военно-воздушных сил. Сейчас ни одно государство в мире не в состоянии проводить одновременное обновление всех типов самолетов. Финансовые и научно-технические ресурсы как правило, направляются на разработку таких типов самолетов, потребность в которых наибольшая. Ограничение числа типов в сочетании с разработкой модификаций в наибольшей степени способствует повышению эффективности всей системы воздушного транспорта или военно-воздушных сил. Третья причина — влияние фактора времени. Создание модификаций позволяет в какой-то степени разрешить противоречие между увеличившимися сроками создания сложной современной техники и возросшими темпами научно-технического прогресса.

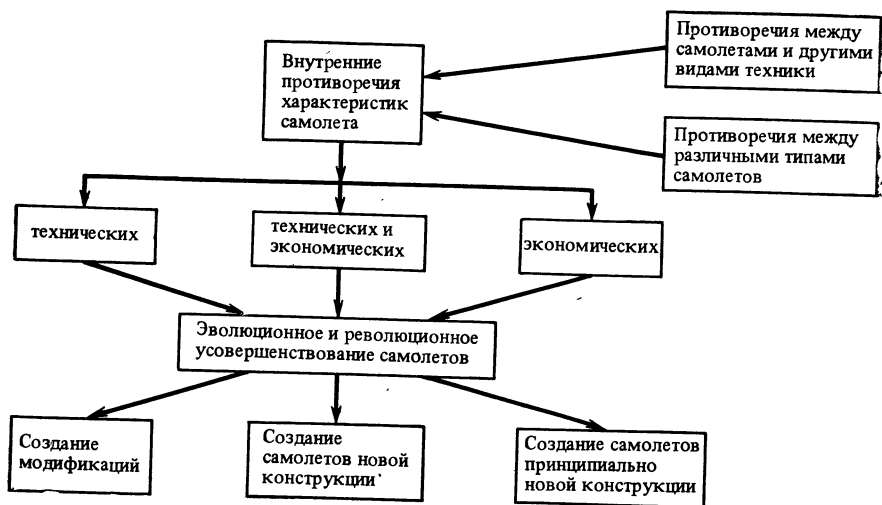


РИС. 4.6. Основные виды противоречий в авиации и их влияние на совершенство самолетов

Под влиянием указанных причин значительно возросла доля модификаций в общем объеме серийного производства самолетов, которая в 1910—1920 гг. составляла примерно около 20% (без учета модифицирования военных самолетов в гражданские и наоборот). На современном этапе на их долю приходится более 75% общего объема производства авиационной техники. На рис. 4.6 показаны основные виды противоречий в авиации и их влияние на совершенство самолетов.

*

ГЛАВА ПЯТАЯ

ИСТОРИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ МОДИФИКАЦИЙ

5.1. Модификации военных самолетов

Рассмотрим вначале период с 1911 по 1932 г., т. е. от становления авиации до появления цельнометаллических монопланов с гладкой обшивкой. Начальный этап этого периода характеризовался созданием большого количества типов самолетов [16]:

	1913	1914	1915	1916	1917
Число созданных типов самолетов	40	26	26	62	34
Из них летали	34	25	25	57	27

Многие инженеры тех лет ежегодно создавали до 3—4 самолетов новой конструкции. При этом каждый последующий тип представлял собой новое техническое достижение по сравнению с предыдущим. Так, И. И. Сикорский в течение трех лет (1910—1913) последовательно совершенствовал схему многостоечного биплана — от примитивного одномоторного биплана БИС-1 до самолетов-гигантов. Только в 1913 г. он построил самолеты С-10, «Русский витязь», «Илья Муромец». Аналогична деятельность других инженеров, в частности, Гаккеля, Григоровича, Виллиша [16]. Несмотря на большое количество новых самолетов, в это время уделяли внимание и модификациям. Одно из основных направлений технического усовершенствования самолетов — повышение их устойчивости и управляемости. Как правило, модифицированию подвергались лишь те самолеты, базовые варианты которых в процессе эксплуатации показали относительно высокую безопасность полета. Именно с этой точки зрения в Германии модифицировали самолет «Райт», лицензия на производство которого была куплена в США. Сущность модифицирования заключалась в упразднении переднего руля высоты и введении хвостового оперения.

Слабым местом самолетов того времени была и надежность материальной части. Отказы двигателей и планера самолетов во время полетов случались очень часто. Да и во время войны потери самолетов из-за их низкой надежности были не меньше, чем потери в воздушных боях [3]. Поэтому при оценке новых самолетов особое внимание уделяли таким техническим показателям как устойчивость, управляемость, надежность.

Во время войны повышалась боевая эффективность самолетов (скорость, вооружение и живучесть). Модифицирование многих самолетов проводилось именно в этом направлении. Так, на протяжении 5 лет серийного выпуска самолета «Илья Муромец» на нем устанавливались в различных сочетаниях 6 типов двигателей. С созданием каждой модификации увеличивалась энерговооруженность самолета, что давало возможность повысить устойчивость и управляемость машины за счет избытка мощности, увеличить скорость полета, усилить вооружение. В табл. 5.1 приведены характеристики базового самолета и его модификаций.

В годы войны стали появляться модификации, отличающиеся вооружением. В первые дни войны многие летчики сооружали различные импровизированные устройства в виде троса с гирькой или с «кошкой» (якорем), пилы на костыле и т. д., затем стали брать с собой ручное огнестрельное оружие [16]. В 1915 г. у всех воюющих сторон появились истребители, оснащенные пулеметами. Первоначально пулеметы ставили на ранее выпу-

ТАБЛИЦА 5.1. Основные характеристики самолета «Илья Муромец»
с 4 двигателями. [16]

Самолет	Год выпуска	Тип двигателя	Мощность, л. с.	Площадь крыла, м²	Масса, кг		Скорость макс. у земли, км/ч	Дальность полета, км
					пустого самолета	полетная		
Базовый Серия Г-2 Серия Е	1913	«Аргус»	100	182	3800	5100	95	270
	1916	«Бердмор»	160	159,6	3800	5500	120	480
	1918	«Рено»	220	190	4200	6100	137	540

ценные самолеты. Так, на верхнем крыле самолета «Ньюпор-ХІ» был установлен пулемет, стрелявший поверх плоскости вращения винта. Весной 1915 г. французский летчик Гарро, поставив на винт стальной отражатель, стал стрелять из пулемета через винт, что повысило боевую эффективность самолета. С 1915 г. на фронт стали поставлять истребители, вооруженные пулеметами и оборудованные синхронизаторами, позволявшими стрелять через винт двигателя.

Появление истребителей, оборудованных пулеметами, привело к установке огнестрельного вооружения и на бомбардировщиках. Первоначально на самолете «Илья Муромец» установили три пулемета. На последних модификациях их количество возросло до восьми. Была установлена и стрелковая кабина (башня) в хвостовой части фюзеляжа, что обеспечивало ему надежную защиту задней полусферы от атак истребителей противника. Одновременно совершенствовалась и система бомбометания, в частности, устанавливались прицелы для повышения точности поражения целей авиабомбами.

Во время первой мировой войны стали уделять внимание и проблемам живучести самолета — снижению вероятности его поражения во время выполнения боевого задания. Сущность повышения живучести сводилась к совершенствованию маневренности, защите наиболее уязвимых мест конструкции и установке более мощного защитного вооружения. Так, после начала первой мировой войны по заказу русского правительства была создана военная модификация «Илья Муромец» серии В (облегченная, узкокрылая), которая была более приспособлена к боевому применению. Уменьшение размеров и массы обеспечило повышение скорости и маневренности. Бензобаки были перенесены под центроплан и на борта фюзеляжа так, чтобы вытекающий бензин не попал на двигатели. Впоследствии они были покрыты протектором (утолщенной наружной оболочкой), предохраняющим от утечки горючего в случае повреждения баков.

Проблеме повышения живучести самолетов уделяли внимание и в строевых частях. При этом иногда вносимые в конструкцию эксплуатируемого самолета изменения были настолько удачными, что способствовали созданию модификаций большой се-

рии. Примером может служить «Вуазен» Иванова. Военный русский летчик Иванов с помощью авиационного механика И. Дилия в 1916 г. модифицировал французский самолет-разведчик «Вуазен» LAS. На переднем сидении (наблюдателя) была установлена специальная пулеметная установка. Двигатель был отделен от бензобака противопожарной переборкой из алюминия. Для устранения возможной утечки бензина при пробивании баков пулями были созданы специальные приспособления — протекторы. Были также внесены изменения в конструкцию шасси, крыла, улучшены аэродинамические характеристики самолета, благодаря чему скорость при тех же двигателях возросла на 20 км/час. Военное командование России приняло решение запустить в серию «Вуазен» Иванова. Всего в 1916—1917 гг. было изготовлено более 150 самолетов данной модификации.

В послевоенные годы в основных центрах мирового авиастроения скопились избытки военной техники. Производство новых самолетов резко сократилось. Так, в США в последний военный год промышленность выпустила около 14 000 самолетов, а в 1920—1923 гг. годовое производство самолетов составляло менее 200 единиц. В то же время было модернизировано 1600 самолетов DH-4 военного выпуска. Наличие в строевых частях большого количества самолетов военного выпуска и необходимость их постоянной модернизации ввиду высоких темпов технического прогресса в авиастроении создали благоприятную почву для создания технически усовершенствованных модификаций.

В целом для 1920-х годов в авиационной промышленности наблюдался переход с деревянной на цельнометаллические конструкции. Например, в 1925—1926 гг. английское правительство выдало промышленности заказ на 392 деревянных самолета и 21 металлический, а в 1928—1929 гг. соответственно — 63 и 423. В 1930 г. в ВВС Великобритании осталось 12,5% машин деревянной конструкции. Наряду с созданием новых цельнометаллических самолетов (Ju-20 фирмы «Юнкерс», ТБ-1 конструкции А. Н. Туполева) в эти годы проводилась и модификация самолетов военных лет. Таким образом, первой причиной массового создания технически усовершенствованных модификаций была замена деревянной конструкции фюзеляжа металлической. В частности, в 1923—1925 гг. только фирма «Боинг» таким образом модифицировала около 200 самолетов DH-4. Самолет получил новое обозначение — DH-4M.

Вторая причина создания модификаций — появление двигателей с меньшей удельной массой (двигатели с увеличенным числом оборотов). До начала 20-х годов число оборотов двигателей в среднем составляло 1500—1600 об/мин, а их удельный вес — примерно 1,2 кг/л.с. В середине 20-х годов появились двигатели (например, «Испано-Сюиза 12 N») с числом оборотов около 2400 об/мин и удельной массой 0,7 кг/л.с. Это дало возможность установить двигатели с той же массой, что и преды-

ТАБЛИЦА 5.2. Сравнительные данные базового самолета Р-3 и его модификации [16]

Самолет	Год запуска	Двигатель	Мощность двигателя, л. с.	Длина самолета, м	Размах крыла, м	Скорость максим. на высоте 300 м, км/ч
Р-3 опытный	1925	«Либерти»	400	9,4	13,0	175
Р-3 ЛД	1927	«Лоррен-Дитрих»	450	9,89	13,0	193

душие, обеспечив при этом самолеты большей мощностью, а следовательно, и лучшими летными характеристиками.

Моральный срок службы многих самолетов часто продлевался за счет установки на последней модификации более мощных двигателей. Так, самолет Р-3 (АНТ-3) первоначально создавался с двигателем «Либерти» мощностью в 400 л.с. Несколько позже на этом самолете (Р-3 ЛД) был установлен более мощный двигатель «Лоррен-Дитрих» в 450 л.с. (табл. 5.2).

В 1930-х годах технически наиболее совершенными были самолеты-монопланы с гладкой обшивкой. Появление двигателей с повышенной мощностью (более низким удельным весом) винтов изменяемого в полете шага, а также легких сплавов алюминия повышенной прочности позволили более полно (по сравнению с бипланами) реализовать последние достижения в области аэродинамики.

Значение аэродинамического совершенства наглядно было показано в перелете Англия—Австралия (1934). Неожиданно для многих первое место в этом перелете занял английский самолет моноплан «Комета» фирмы «Де Хэвилленд». Элемент неожиданности состоял в том, что у «Кометы» была в два раза больше весовая нагрузка конструкции на 1 л.с. двигателя, чем у истребителей того времени. А скорость была увеличена снижением лобового сопротивления, что обеспечивалось внедрением заливов, убирающихся шасси, фонаря кабины и других аэродинамических нововведений. Значительный объем этих нововведений и одновременность их внедрения на одном самолете обеспечили существенный прирост скорости [3]. В это же время в СССР стали создавать модификации самолетов с улучшенной аэродинамикой, в том числе бипланов и полуторопланов. Пример — самолет Р-5, модификация которого была создана в 1934 г. и получила обозначение Р-5 ССС (скоростной, скороподъемный, скорострельный). Обтекатели на колесах, зализы в узлах крепления стоек и т. д. улучшили аэродинамику самолета. Эти мероприятия и установка более мощного двигателя (М-17ф) позволили увеличить скорость на 25—30 км/час и потолок на 2000 м. Было усилено и вооружение — установлен дополнительный пулемет ШКАС. Аналогичные работы были проведены и при создании модификации истребителя И-15. Несмотря на то, что само-

лет был полугоропланом, при его модификации (И-153) создали убираемое в полете шасси. Изменили и усилили отдельные элементы конструкции и вооружение. Размеры площади крыльев и оперения, длина самолета в общем сохранились. Эти модификации находились в серийном производстве, но выпуск их был ограничен в связи с появлением монопланов.

В военный период основное внимание было уделено созданию технически усовершенствованных модификаций, а не разработке новых самолетов.

В годы первой мировой войны в воюющих странах, как отмечалось, появилось много типов самолетов новой конструкции, а вот вторая мировая война была в основном войной модификаций. Редко создавались новые типы самолетов в большой серии.

Роль фактора времени во время войны была очень велика, и это объясняет причину массового использования воюющими странами самолетов довоенной разработки. Поскольку эти самолеты находились на среднем уровне технического совершенства, то каждая из сторон повышала боевую эффективность ВВС за счет своевременного выпуска технически усовершенствованных модификаций серийных самолетов. Пример — самый массовый самолет в истории авиации — штурмовик Ил-2 вместе с Ил-10 был выпущен в количестве более 41 тыс. машин. На базовый самолет приходится менее 3% общего количества выпущенных штурмовиков, остальное — модификации [23].

Изменения, проведенные на самолете Ил-2 во время войны, — пример решения проблемы живучести. Первоначально самолет был создан в двухместном варианте. Задачей стрелка-радиста было оборонять самолет от нападения истребителей противника сзади. После того как он прошел испытания, конструкторскому бюро С. В. Ильюшина было предложено создать одноместный вариант. Военные специалисты предполагали, что за счет снижения массы самолета удастся повысить его дальность и скорость полета. Однако первые годы войны показали, что для данного типа самолета, выполнявшего боевые задания на небольшой высоте, более важным является показатель живучести. Без оборонительного заднего пулемета самолет оказался беззащитен против истребителей противника, особенно с появлением модификаций немецких истребителей. В 1942 г. был создан двухместный вариант самолета, причем его внедрение в серию прошло практически без всяких потерь для планового выпуска. Одновременно была несколько увеличена мощность двигателя, установлено более эффективное вооружение, усилена металлом хвостовая деревянная часть фюзеляжа. В результате потери самолетов значительно сократились.

Как все советские самолеты, штурмовик Ил-2 постоянно модифицировался. Уже в начале 1943 г. была проведена малая модификация самолета с целью дальнейшего совершенствования (Ил-2, тип 3). Улучшения в основном были связаны с аэродинамикой и силовой конструкцией Ил-2. При последующих модифи-

ТАБЛИЦА 5.3. Развитие самолета Як-1 с повышением дальности полета [17]

Тип и вариант самолета	Год выпуска	Двигатель мощность, л, с.	Длина самолета, м	Размах крыла, м	Площадь крыла, м ²	Масса, кг		Скорость полета на высоте, км	Дальность полета, км
						пустого самолета	взлетная		
Як-1 (базовый вариант)	1940	М-105П	8,48	10,0	17,15	2347	2847	600	700
		1050							
Як-7А	1941	ВК-105П	8,48	10,0	17,15	1518	2395	593	820
		1050							
Як-7Б	1942	ВК-105ПД	8,48	10,0	17,15	2480	3040	570	820
		1180							
Як-7ДК	1942	ВК-105ПФ	8,55	10,0	17,15	2360	3035	560	—
		1180							
Як-9	1942	ВК-105ПФ	8,50	9,74	17,15	2200	2875	605	1000
		1180							
Як-9Д	1943	ВК-105ПФ	8,50	9,74	17,15	—	3115	600	1330
		1180							
Як-9ДД	1944	ВК-105ПФ	8,50	9,74	17,15	—	3300	—	До 2200
		1180							

кациях усиливали стрелковое вооружение. Первоначально в крыле самолета были установлены 2 пушки ШВАК (20 мм) и 2 пулемета ШКАС (7,62 мм). При очередной модификации установили 4 пушки ВЯ (23 мм). Когда на фронте появились тяжелые немецкие танки «Тигр», с воздуха их встретили Ил-2, вооруженные пушками НР калибра 37 мм.

В 1944 г. во фронтовые части стал поступать штурмовик новой модели — Ил-10. От Ил-2 он отличался уменьшенной площадью крыла (соответственно 38,5 и 30), аэродинамической компоновкой, более мощным двигателем. В результате аэродинамических усовершенствований крыло стало почти чистым, возросли скорость и маневренность.

Темпы создания модификаций в годы войны были высоки. За техническим усовершенствованием самолетов одной стороны немедленно следовала реакция другой. Однако направления, в которых повышали боевую эффективность, несколько отличались как по типам самолетов, так и по отдельным странам.

Проследим пути повышения технического совершенства во время второй мировой войны, начиная с конструкций ОКБ А. С. Яковлева [17].

Самолет Як-1 развивался в двух направлениях — повышение дальности полета (табл. 5.3) и скорости и вертикального маневра. Самолет Як-7А явился продолжением Як-1; была увеличена дальность полета (необходимо для сопровождения бомбардировщиков и поддержки наземных войск), улучшено вооружение. Як-7А сохранил размеры и контуры базового самолета. После-

ТАБЛИЦА 5.4. Развитие самолета Як-1 с повышением скорости и маневренности [17]

Самолет	Год выпуска	Двигатель мощность, л. с.	Площадь крыла, м ²	Масса, кг		Время ви- ра- жа, с	Время набора высоты 5000 м, мин	Скорость на высоте, км/ч	Дальность, км
				пусто- та самолета	взлетная				
Як-1	1940	М-105П	17,15	2347	2847	19	5,4	600	700
		1050							
Як-3	1943	ВК-105ПФ2	14,85	2105	2650	18	4,1	651	7.0
		1240							

дующая модификация Як-7Б отличалась от предыдущей более современным и большим составом оборудования, вследствие чего несколько возросла масса самолета. Однако масса конструкции была снижена и аэродинамическая компоновка самолета усовершенствована (хвостовое колесо в полете убиралось, обводы капота и туннелей радиаторов были улучшены и т. д.), благодаря чему снижения скорости удалось практически избежать.

Як-7ДД является модификацией Як-7Б, в которой существенно улучшена конструкция крыла, деревянные лонжероны заменены дюралюминиевыми с полками-таврами из стали 30ХГСА и листовой стенкой, что позволило увеличить объем баков в крыле. Як-7ДД послужил летным прототипом для Як-9. В дальнейшем происходило техническое усовершенствование и самолета Як-9, причем его модификация Як-9ДД имела дальность полета до 2200 км.

Самолет Як-1 развивался так: повышалась не только дальность полета, но и скорость, и маневренность (табл. 5.4). «В 1943 г. на базе Як-1 был создан самый легкий и маневренный истребитель второй мировой войны — Як-3. Он весил 2650 кг. При разработке этого самолета проводилось коренное усовершенствование аэродинамики и тщательная ревизия веса всех деталей. Увеличение производства металла в стране позволило тяжелые деревянные лонжероны крыла заменить дюралевыми. Маслорадиатор перенесли из-под фюзеляжа в крыло, а водорадиатор предельно утопили в фюзеляж, улучшили форму кабины, сделали убирающимся костыльное колесо. Площадь крыла уменьшилась с 17,15 до 14,85 м². Благодаря более совершенной аэродинамике и меньшей удельной нагрузке на крыло и на мощность, чем у позднейших модификаций Me-109 и тяжелого FW-190, Як-3 обеспечивал нашим летчикам преимущество в скорости, скороподъемности, вертикальном и горизонтальном маневре» [23].

Основное направление модификации самолета ЛаГГ-3 — повышение маневренности, скорости, огневой мощи. Обеспечивалось это снижением массы конструкции, установкой более мощ-

ных двигателей, повышением аэродинамического совершенства, установкой более мощного вооружения.

В 1942 г. был создан вариант ЛаГГ-3 («облегченный») с двигателем ВК-105ПФ мощностью 1180 л. с. Взлетная масса этого варианта по сравнению с базовым была уменьшена на 285 кг, что было достигнуто снижением массы конструкции, оборудования и отчасти вооружения. Вместо двух пушек МП-20 устанавливали одну пушку МП-20 и один пулемет УБС.

В том же году была создана модификация ЛаГГ-3 с двигателем АШ-82 мощностью 1540 л. с. (ЛаГГ-3-АШ-82). Более мощный двигатель значительно улучшил летно-технические характеристики и маневренность самолета (к тому же хвостовое колесо сделали убирающимся в фюзеляж). Кроме заднего бронестекла в фонаре были введены и некоторые другие конструктивные изменения. Самолет получил новое обозначение Ла-5. Дальнейшее усовершенствование сводилось в основном к снижению массы конструкции. Наиболее значительное изменение — создание варианта Ла-5ФН (форсированным с непосредственным впрыском воды в цилиндры): кроме установки более мощного двигателя со взлетной мощностью 1850 л. с. (АШ-82ФН), было облегчено шасси, снижены усилия на ручке управления, педалях, и т. д. По сравнению с серийным самолетом ЛаГГ-3 у Ла-5ФН на 100 кг меньше масса пустого самолета и на 115 км/ч выше скорость. В результате по скорости на малых и средних высотах, по дальности полета и по характеристикам вертикального и горизонтального маневров самолеты ОКБ Яковлева и Лавочкина значительно превосходили немецкие.

В 1944 г. поступил на вооружение самолет Ла-7, который имел одинаковую с Ла-5ФН силовую установку, площадь крыла, взлетную массу и массу пустого самолета. По характеристикам Ла-5ФН был ближе к Ла-7, чем к первым серийным самолетам Ла-5. Так же и модификация ЛаГГ-3-АШ-82, которая по характеристикам была ближе к Ла-5, чем к базовому ЛаГГ-3. Такой метод модификации был характерен для советской авиапромышленности. Технически усовершенствовать самолеты удавалось, как правило, без потерь в их количественном выпуске, нововведения на модификациях внедрялись последовательно.

В основном Ла-7 от Ла-5 отличался установкой металлических лонжеронов*. Габариты сечений лонжеронов резко сократились, что позволило увеличить объемы топливных баков. Улучшилась и аэродинамика самолета: усовершенствован воздухозаборник, перенесен маслорадиатор, ликвидированы щели в капоте и т. д. Скорость и скороподъемность по сравнению с Ла-5 возросла несмотря на усиленное вооружение (вместо двух пушек МП-20 было установлено 3 пушки ШВАК). По сравнению с ЛаГГ-3 у Ла-7 скорость выше на 135 км/ч, время набора

* Такие лонжероны устанавливались и в последних Ла-5ФН.

высоты 5000 м сократилось почти на 30%, значительно возросла огневая мощь. Масса пустого самолета Ла-7 на 100 кг меньше чем у ЛаГГ-3.

В СССР модификация истребителей в основном была подчинена цели повысить их маневренность, скорость, огневую мощь, что обеспечивалось снижением массы конструкции, улучшением аэродинамического качества, установкой более качественного вооружения.

Основная цель модификации немецких истребителей сводилась к повышению их огневой мощи. Так, Фокке-Вульф-190 вначале был вооружен четырьмя пулеметами. Во время войны на его модификации Фокке-Вульф-190А были установлены две пушки (20 мм) и два пулемета. Впоследствии (с появлением советских и англо-американских истребителей с повышенной огневой мощью) были добавлены еще две огневые точки и установлены передняя и нижняя броневые плиты. Взлетная масса самолета была увеличена до 4 т. Эффективность поражения наземных целей и бомбардировщиков у самолета возросла, но по маневренности, основному достоинству истребителя, он стал значительно уступать советским [23].

Аналогично модифицировался и истребитель «Мессершмитт» (Me-109). Базовый самолет имел двигатель мощностью 610 л. с. Скорость не превышала 470 км/ч. Вооружение составляли пулеметы калибра 7,62 мм. В 1936 г. в Испании в боевых условиях встретились советские истребители И-15, И-16 и немецкие Me-109В. Скорость и вооружение самолетов находились примерно на одном уровне, но лучшая маневренность обеспечивала превосходство советским истребителям. Немецкие конструкторы быстро учли уроки боев в Испании. Была создана модификация самолета Me-109Е, у которого были установлены новые двигатели «Даймлер-Бенц-601» мощностью 1100 л. с., проведены аэродинамические усовершенствования, усилено вооружение — добавлена пушка (калибр 20 мм). Скорость самолета возросла на 100 км/ч.

Советские истребители, созданные значительно раньше, чем Me-109, не обладали таким резервом для модификации ввиду морально устаревшей схемы конструкции и ее низкой прочности. Поэтому в 1938 г. в воздушных боях Испании модификация Me-109Е имела уже значительное преимущество [23].

В начале 1940-х годов под влиянием появления новых советских истребителей конструкции Яковлева, Лавочкина, Микояна и Гуревича Як-1, ЛаГГ-3 и МиГ-1 и их модификаций возникла необходимость и в дальнейшей модификации Me-109. С 1942 г. на фронте стали появляться Me-109Е, Me-109G, Me-109G₂. На самолете Me-109G было установлено три пушки МС-151/20 и два синхронных пулемета МС-17. По общей массе минутного залпа он почти в 2,5 раза превосходил самолет Me-109 выпуска 1940 г. Однако после усовершенствований взлетная масса само-

лета возросла почти до 3,5 т и по маневренности он уступал советским истребителям при практически одинаковой скорости и вооружении. Советские истребители Ла и Як были созданы в более позднее время, обладали большим резервом для модификации и это определило их преимущество в конце войны.

Появление на фронте модификаций немецких истребителей с повышенной огневой мощью обострило проблему живучести советских и англо-американских бомбардировщиков. В 1942 г. появилась модификация советского пикирующего бомбардировщика Пе-2, конструкции В. М. Петялкова, которая получила обозначение Пе-2ФТ (фронтовые требования). Взамен шкворневой установки ШКАС поставили турельную с УБТ. Усилена была броневая защита. Стали использовать переносные бортовые пулеметы ШКАС.

Основной дальний бомбардировщик Отечественной войны Ил-4 конструкции С. В. Ильюшина был построен сравнительно задолго до ее начала. В предвоенный период был проведен ряд конструктивных модификаций. При этом менялось его обозначение (ЦКБ-26, ДБ-3, ДБ-3Ф). Во время войны была установлена дополнительная стрелковая турель (в экипаже добавился еще один стрелок). Были созданы и специализированные модификации — торпедоносца и фронтового бомбардировщика.

Фронтовой бомбардировщик Ту-2 был запущен в серийное производство в конце 1943 г. Запуск в серийное производство был несколько задержан по независящим от конструкторского бюро причинам [17].

В 1944 г. в войсковые части стала поступать модификация самолета Ту-2С, в котором была усовершенствована винтовая группа, поставлены более мощные двигатели, упрощена конструкция и т. д., в результате чего несколько возросли скорость, дальность полета и бомбовая нагрузка.

Одним из основных тяжелых бомбардировщиков США был В-17 (серийный самолет) в декабре 1936 г. Первоначально он модифицировался с целью повышения скорости и высоты полета (модификации В-17С, В-17Е, В-17F), а затем — с целью увеличения бомбовой нагрузки (В-17G). В сравнении с опытным самолетом модификация В-17Е обладала более высокой максимальной (на 35%) и крейсерской скоростью (на 61%) и более высоким потолком полета (на 42%). Но В-17Е имел меньшую на 14% бомбовую нагрузку. Его отличие от предыдущих модификаций — значительное изменение конструкции хвостового оперения, вызванное необходимостью повысить путевую устойчивость на больших высотах в связи с увеличением массы и размеров самолета. Длина фюзеляжа была увеличена примерно на 1,7 м. В связи с появлением модификаций германских истребителей с повышенной огневой мощностью на В-17Е усилили оборонительное вооружение в верхней части фюзеляжа, вместо шкворневой установки поставили турельную, а в хвостовой части — спаренные пулеметы калибром 12,75 мм. В 1943 г.

началось серийное производство модификации В-17G, у которой значительно (почти в 4 раза) была увеличена бомбовая нагрузка, повышена (на 13%) дальность полета, усилено оборонительное вооружение, в частности создана турельная установка в нижней носовой части фюзеляжа для защиты самолета спереди. Были усовершенствованы пулеметные установки в верхней и хвостовой части фюзеляжа. По сравнению с вариантом В-17Е сократилась максимальная (на 5%) и крейсерская (на 40%) скорости самолета. Разработка модификаций и их производство характеризуются следующими данными:

Самолеты

	В-17В	В-17С	В-17D	В-17Е	В-17F	В-17G
Дата начала поставки в части	1938	1939	1941	1941	1942	1943
Число построенных самолетов	39	38	42	512	3400	8680

Поскольку во второй половине 40-х годов наметился переход к реактивной технике, то основная цель создания модификаций состояла в том, чтобы обеспечить высокий уровень боеспособности военно-воздушных сил до внедрения реактивных самолетов.

Примером может служить Ту-10, (являвшийся модификацией самолета Ту-2), при создании которого были внесены изменения в конструкцию планера, увеличены мощность двигателей, взлетная масса самолета (примерно на 1000 кг), максимальная бомбовая нагрузка (с 3 до 4 т), скорость (на 100 км/ч). Серийное производство самолета было закончено в 1947 г.

По аналогичным причинам был создан и американский самолет В-50, являвшийся модификацией военного самолета В-29 «Суперкрепость» [36]. В-50 отличался от В-29 помимо характеристик, указанных в табл. 5.5, конструкцией гондол и размерами вертикального оперения.

ТАБЛИЦА 5.5. Сравнительные данные самолетов В-29 и В-50

Характеристики	В-29	В-50
Размах крыла, м	43,6	43,6
Длина самолета, м	30,2	30,2
Площадь крыла, м ²	161,6	159,8
Макс. взлетная масса, т	54,5	78,6
Макс. скорость, км/ч	580	640
Крейсерская скорость, км/ч	352	480
Дальность полета	9320	7360
Двигатели (мощность)	4×2200 л. с.	4×3500 л. с.
Бомбовая нагрузка, кг	9000	12 700

В эти годы постепенно переходили к самолетам нового типа — с реактивными двигателями. Окончательный переход на принципиально новый тип авиационной техники мог произойти с использованием результатов революционного развития не только в двигателестроении, но и в аэродинамике, прочности силовой конструкции, пилотажно-навигационных системах и т. д. Комплексность внедрения нововведений давала наибольший прирост скорости самолета, но таила в себе много неизвестного. Использование отдельных результатов скачкообразного развития техники на самолетах с поршневыми двигателями давало возможность решить задачу наиболее безопасным путем. Особенно большие трудности были с использованием и внедрением реактивных двигателей. Ко второй половине 40-х годов среди летного персонала сформировалось недоверие к реактивной технике, что было связано с катастрофами первых реактивных самолетов в ряде стран, в том числе и в СССР. Поэтому наряду с установкой реактивных двигателей на новых самолетах (МиГ-9 и Ил-22) переходным этапом была установка этих двигателей на хорошо зарекомендовавших себя во время войны поршневых самолетах.

Так, на Ту-2 были установлены реактивные двигатели «Нин» (модификация Ту-2 «Нин»), а на Як-3 — РД-10. В те годы «...конструкторский коллектив, работавший над «Яками», задался целью создать самолет, у которого новым был бы двигатель, сохраняя остальное по возможности таким, как у поршневого самолета. Летчик, садясь в кабину, попадал бы в привычную обстановку, а при взлете, посадке и в полете не ощущал бы разницы между реактивным и поршневым самолетами» [23]. В связи с заменой поршневого двигателя на реактивный у самолета Як-3 изменили конструкцию носовой части фюзеляжа. Сохранили конструкцию каркаса фюзеляжа, кабины пилота, конструкцию крыла (но с передним лонжероном, изогнутым аркой в обход двигателя) оперения и шасси. Из-за горячих газов у хвостового колеса резина была заменена стальным ободом. Обшивка фюзеляжа была дюралюминиевой. Прирост скорости по сравнению с Як-3 составил 85 км/ч. Як-15 совершил первый полет в апреле 1946 г. Затем строился серийно.

Современный период (1955—1980) характерен масштабами создания модификаций и новыми направлениями их технического совершенства. По масштабам создания модификаций этот период можно сравнить только с периодом второй мировой войны. Современные самолеты подвергаются также неоднократно модифицированию за время серийного производства и эксплуатации.

В 1920-х годах итальянский генерал Дуэ писал, что будущее в авиации принадлежит бомбардировщикам: «...Эти простые соображения ясно вырисовывают перед нами костяк воздушной армии: бомбардировочные части — в максимально возможном

числе, части воздушного боя — в соответствии с возможным противодействием неприятеля» [9].

Возросшая стоимость разработки и производства бомбардировщиков с одновременным повышением вероятности уничтожения современными средствами ПВО привели к сокращению их разработок и производства. Так, в США в 1960—1970-х годах стратегические бомбардировщики В-70 и В-1 были созданы в опытных экземплярах. Основу стратегической авиации США все еще составляет самолет В-52, который поступил на вооружение в 1954 г.

В последующие годы был создан ряд технически усовершенствованных модификаций этого самолета. Вначале увеличивали бомбовую нагрузку и взлетную массу. Наиболее глубокой модификацией является В-52G, при создании которой была изменена конструкция, уменьшена высота вертикального оперения, увеличена длина фюзеляжа (на 1,3 м), усилена ударная мощь посредством возможной установки под крылом двух управляемых ракет класса «воздух — земля». Следующая модификация (В-52Н) отличалась от В-52G установкой более современных турбовентиляторных двигателей, что повысило дальность полета примерно на 25%. Последовательное модифицирование увеличило бомбовую нагрузку на 57% по сравнению с базовым самолетом.

В целом в 1950-х годах характер модифицирования самолета В-52 был аналогичен характеру модифицирования бомбардировщиков военных лет. Основное отличие — снижение роли оборонительного вооружения в современной бомбардировочной авиации. Так, на базовом самолете В-17 «летающая крепость» было установлено 5 пулеметов, на последней модификации этого самолета (В-17G) их число возросло до 12. На всех основных модификациях современного самолета В-52 было установлено 4 пулемета (12,7 мм), на последней (В-52Н) эти пулеметы были заменены одной пушкой М-61 (20 мм). В связи с отказом от серийного производства В-1 создались условия для разработки новых модификаций бомбардировщика В-52*. В отличие от предыдущих модификаций изменения конструкции будут внесены в самолеты, находящиеся в эксплуатации. Модифицирование самолетов В-52 вызвано необходимостью увеличить срок их службы, технически усовершенствовать ряд систем и внедрить новые. Изменения в конструкции вызваны и тем, что самолет предполагают использовать в качестве носителя крылатых ракет. В этой связи под крылом самолета предусматривается установка двух пилонов, на каждом из которых должно размещаться по 6 крылатых ракет или управляемых ракет класса «воздух—земля».

В связи с тем же отказом от В-1 в США предполагают модифицировать и стратегический бомбардировщик FB-111А. На

* В начале 1980-х годов, увеличивая гонку вооружений, правительство США разрешило создание самолета В-1. (Примеч. ред.).

новом варианте (FB-111B/C) планируют установить двигатели F-101, разработанные для бомбардировщика B-1, увеличить длину фюзеляжа на 2,7 м, усилить основные стойки шасси (из-за увеличения взлетной массы) и т. д. Основная цель модифицирования — обеспечить доставку ядерного оружия на самолете через зону ПВО предполагаемого противника на очень малых высотах. Это еще одна отличительная особенность модификаций зарубежных самолетов. При создании модификаций поршневых самолетов стремились увеличить их боевую эффективность, повышая высоту полета.

Практически все боевые самолеты, созданные в конце 1950-х и начале 1960-х годов, прошли через ряд модификаций, что поддерживало их технический уровень в соответствии с современными требованиями. Например, базовый вариант палубного истребителя F-4A совершил первый полет в мае 1958 г., а на вооружение поступил с начала 1961 г. Через несколько лет на модификации самолета (F-4B) были установлены двигатели с повышенной тягой, усовершенствованное радиоэлектронное оборудование и усиленное вооружение. С конца 1967 г. начали поставлять модификации (F-4J), с более мощными двигателями, усовершенствованными бортовым оборудованием и аэродинамикой. Последнее снизило посадочную скорость самолета, несмотря на возросшую массу конструкции. В 1970-х годах на одной из последних модификаций F-4 усилили элементы конструкции планера, установили более совершенные двигатели, предкрылки, которые позволили снизить на 22 км/ч посадочную скорость самолета.

Прежде при создании модификаций поршневых истребителей в основном повышали максимальную скорость. При создании всех модификаций палубного самолета F-4 «Фантом» максимальная скорость оставалась такой же, как у базового варианта. Достижения авиастроения были направлены на снижение посадочной скорости. Не повышали максимальную скорость и при модифицировании сухопутного самолета F-4 «Фантом». При каждой последующей модификации в основном повышали эффективность нахождения и поражения целей. Для модификации F-4E была улучшена аэродинамика самолета и, следовательно, характеристики маневрирования машины. Борьба за преимущество истребителей в маневренности всегда носила в основном эволюционный характер: на базе новых достижений науки и техники совершенствовались характеристики маневрирования. Вопросы маневренности истребителей 1914—1940-х годов были рассмотрены В. С. Пышновым [13], но и сейчас не потеряли своего значения. Первоначально при формировании летно-технических характеристик реактивных истребителей основное внимание уделяли повышению скорости. События во Вьетнаме и на Ближнем Востоке показали, что воздушные бои в основном проходят в диапазоне скоростей от $M=0,9$ до $M=1,7^*$. На более высоких

* International Defense Review, 1980, N 8, p. 1209—1210.

скоростях отчетливее проявлялась проблема «человек—машина». В этой связи наращивание скорости истребителей теряет свою актуальность. В повышении боевой эффективности машин одновременно возросла роль характеристик маневрирования, что расширило возможности модифицирования истребителей.

Новая отличительная черта модификаций современных военных самолетов — изменение конструкции самолета с целью повысить топливную эффективность, снизить трудоемкость обслуживания, интенсивность дымления двигателей. Характерно, что модифицируют в первую очередь самолеты, находящиеся в эксплуатации в течение продолжительного времени. Примером может служить модификация самолета-заправщика КС-135. В 1979 г. совершил первый полет самолет, модифицированный по программе ВВС и НАСА. От предыдущих вариантов он отличался вертикальными аэродинамическими поверхностями на концах крыла. Высота этих поверхностей 2,83 м, длина концевой хорды 0,58 м, корневой 1,85 м, масса каждой 96 кг. Эти поверхности значительно уменьшили лобовое сопротивление и примерно на 8 % улучшили характеристики. Годовая экономия топлива по парку примерно из 700 КС-135 составит около 180 млн. литров (с учетом интенсивности эксплуатации по уровню 1975 г.). На КС-135 предполагают установить и новые двигатели, которые увеличат запас передаваемого топлива и уменьшат интенсивность дымления силовой установки.

5.2. Модификации гражданских самолетов

В начале 1920-х годов основной объем воздушных перевозок за рубежом осуществлялся гражданскими модификациями военных самолетов. Создание машин для транспортных организаций происходило эпизодически, поскольку машины не выдерживали конкуренции с более дешевыми модификациями боевых машин. Например, во Франции за 1920—1930 гг. авиационной промышленностью было создано 26 опытных гражданских самолетов, но только 3 введены в эксплуатацию [6].

Наметившееся на западе в конце 1920-х годов оживление в области гражданского авиастроения было парализовано экономическим кризисом, длившимся до начала 1930-х годов, когда произошли положительные сдвиги. Среди транспортных самолетов, предложенных различными фирмами, наибольшей популярностью пользовались машины американской компании «Дуглас». Этой фирмой за 1933—1939 гг. было создано пять типов самолетов: DC-1, DC-2, DC-3, DC-4E, DC-5. Относительная простота конструкции в то время помогла создать много новых самолетов. У новых моделей обычно повышалась пассажировместимость, дальность полета, скорость. Определенным успехом в США пользовались и самолеты фирмы «Локхид», которая после «Дуглас» занимала 2-е место по производству гражданской техники. Основным самолетом этой

ТАБЛИЦА 5.6. Основные характеристики модификаций DC-6 и DC-7

Характеристика самолета	Модификации самолета				
	DC-6	DC-6B	DC-7A	DC-7B	DC-7C
Начало эксплуатации	1947	1951	1953	1955	1956
Мощность двигателя	2400	2500	3250	3250	3400
Макс. взлетная масса, т.	44,1	48,5	55,5	56,8	65,4
Макс. дальность полета, км	4680	5950	5400	6300	8820
Макс. скорость, км/с	482	468	522	522	504
Макс. пассажировместимость	65	82	98	95	110

компании был самолет «Электра-10», вместимостью 10 человек. Несколько позже компания создала уменьшенную модификацию спортивного и административного назначения «Электра-12», рассчитанную на перевозку 6 пассажиров, но с большей (на 30 км/ч) скоростью полета. Конкуренция со стороны фирмы «Дуглас», создавшей DC-2, побудила к созданию удлиненной модификации «Электра-14». По сравнению с базовым самолетом были увеличены размах крыла (на 3 м) и длина фюзеляжа (на 2 м), установлены более мощные двигатели. Новый самолет был рассчитан на 12 пассажиров. По вместимости он несколько уступал DC-2, но превосходил в скорости. Через некоторое время компания удлиняет и этот самолет, создав модификацию «Электра-18», рассчитанную на 16 пассажиров.

Таким образом, две фирмы избрали различные пути: одна создавала новые типы самолетов, другая разрабатывала модификации.

В послевоенные годы с увеличением сложности и стоимости интервал времени между появлением новых типов стал 5—6 лет, возросла и роль модификации. Накопленный технический потенциал стали реализовывать не только в новых самолетах, но и в модификациях. Это было характерно для всех самолетостроительных фирм. На рис. 5.1 показан рост пассажировместимости самолетов «Дуглас».

При создании DC-7 была поставлена задача повысить скорость и дальность полета и коммерческую нагрузку самолета. Внешне самолет DC-7A мало отличался от модификации DC-6B; длина фюзеляжа увеличена на 2,5 м, усилена конструкция крыла, рулей высоты и направления в связи с возросшими скоростью и взлетной массой. Повышения летно-технических характеристик в основном достигли установкой более мощных двигателей «Райт» R-3350 (табл. 5.6). На самолете DC-7 улучшили также звукоизоляцию. Были внедрены и другие технические усовершенствования, в частности, заменен конструкционный материал противопожарных перегородок и мотогондол: вместо стали использовали титан, что уменьшило массу конст-

рукции почти на 80 кг. В целом объем нововведений был не столь значителен для нового типа самолета, поэтому DC-7A можно назвать глубокой модификацией DC-6B. В дальнейшем на DC-7B и DC-7C увеличили пассажировместимость и дальность полета. Практически фирма «Дуглас» использовала тот же метод технического усовершенствования самолетов, который применяли в годы войны советские конструкторы при модификации истребителей.

Между фирмами «Дуглас» и «Локхид» проходила острая конкурентная борьба за рынки сбыта поршневых ДМС. Большое значение в этой борьбе отводилось технически усовершенствованным модификациям. Летом 1943 г. совершил первый полет военно-транспортный самолет С-69 «Констелейшн». В 1945 г. фирма «Локхид» создает гражданскую модификацию «Констелейшн-049». В конструкцию были внесены незначительные изменения (объем летных испытаний для получения сертификата летной

годности на гражданский тип самолета был всего 27 ч). В процессе серийного производства гражданского самолета его конструкцию постоянно совершенствовали. В основном изменяли компоновку и интерьер пассажирского салона. В 1946 г. все эти изменения одновременно внесли в модификацию «Констелейшн-649». Модификация «Констелейшн-749» отличалась от предыдущей более мощными двигателями и увеличенной емкостью топливных баков, что повысило дальность полета. Взлетная масса была на 22% больше, чем у Констелейшн-649, в связи с этим были усилены шасси. В начале 1950-х годов была создана модификация «Супер Констелейшн» (Констелейшн-1049), при этом фюзеляж удлинили на 5,5 м, благодаря чему число пассажиров увеличилось с 65 до 99. Внесли и ряд других изменений: установили более мощные двигатели, усовершенствовали некоторые системы, в частности кондиционирования, антиобледенительную и т. д. Круглые окна пассажирского салона заменили прямоугольными.

В конце 1940-х и начале 1950-х годов проходили испытания английские самолеты принципиально новой конструкции: «Вайкаунт» (турбовинтовой) и «Комета-1» (турбореактивный). В то же время фирма «Дуглас» разрабатывала глубокую модификацию Супер DC-3, введенную в эксплуатацию в 1950 г.

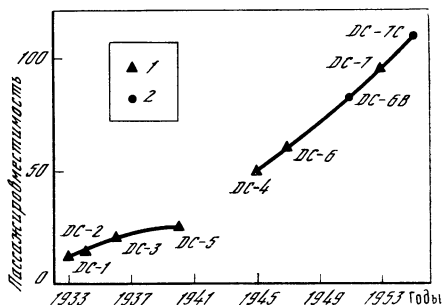


РИС. 5.1. Динамика роста пассажировместимости поршневых самолетов фирмы «Дуглас»

1 — новые типы самолетов;
2 — модификации

Конструкция базового самолета подверглась значительному изменению: возросла площадь оперения, уменьшен на 1,5 м размах крыла, удлинен на 1 м фюзеляж, добавлен подфюзеляжный киль, установлены более мощные двигатели, изменены пассажирская и грузовая двери и т. д. Пассажировместимость возросла до 30 человек. Предусматривался вариант на 37 мест. С коммерческой точки зрения новый вариант самолета оказался неудачным. Фирме удалось продать всего около 50 машин несмотря на установившиеся связи с транспортными организациями. Через три года был введен в эксплуатацию самолет «Вайкаунт», который пользовался значительно большим спросом на мировом рынке, в том числе американском. Самолетов «Вайкаунт» было продано почти в 9 раз больше, чем Супер DC-3.

Между созданием базового самолета DC-3 и его модификации прошло 14 лет. За это время он морально устарел. Этот пример подтверждает положение об оптимальном периоде между созданием базового самолета и его модификации.

Новое в развитии модификаций реактивных самолетов состоит в том, что скорость в дозвуковой авиации практически исчерпала свои возможности как средство повышения производительности самолета. Поэтому повышение производительности новых модификаций в основном обеспечивается повышенной пассажировместимостью (грузоподъемностью). Часто при создании новой модификации удлинение фюзеляжа сопровождается установкой более современного радиоэлектронного оборудования (что позволяет использовать самолет в более сложных метеорологических условиях) и повышением надежности и эксплуатационной технологичности компонентов и систем летательного аппарата. Некоторые модификации ориентируют на использование с аэродромов более низкого класса, чем те, которые использовались базовым самолетом или предыдущими модификациями. Примером может служить БАК-111-475, который отличается от предыдущих модификаций БАК-111 улучшенными взлетно-посадочными характеристиками и менее жесткими требованиями к покрытию аэродромов.

Возросло влияние таких факторов, как удельный расход топлива, уровень шума, интенсивность дымления двигателей. В предшествующие годы достижения в области аэродинамики в основном использовались для повышения скорости самолета, теперь — для снижения расхода топлива. Раньше снижение удельного расхода топлива предопределялось необходимостью увеличения коммерческой нагрузки и дальности полета. Сейчас это рассматривается под углом экономии топлива, что связано с возросшей стоимостью авиационного топлива и ограниченностью его запасов. Под влиянием этого фактора ряд авиакомпаний США пришли к необходимости замены двигателей на некоторых типах самолетов, в частности, Боинг-707, DC-8—50, DC-8—60s. На этих самолетах предполагают установить дви-

гатели CFM-56, созданные во второй половине 1970-х годов. Такая замена позволит снизить расход топлива у модифицированного самолета примерно на 20%. В США на ограничение рейсов часто оказывает влияние не столько возросшая стоимость топлива, сколько его нехватка.

Важное значение имеет сокращение уровня шума самолета посредством применения новых двигателей и новых акустических материалов. В последнее время проблеме наружного шума самолета уделяется повышенное внимание.

Согласно законодательству США, на территории страны к 1984 г. будет запрещена эксплуатация самолетов, уровень шума которых будет не соответствовать новым требованиям норм летной годности. В начале второй половины 1970-х годов около 75% самолетов этой страны не соответствовали указанным требованиям. Эти самолеты должны быть заменены на более современные или модифицированы «поштучным» методом.



ГЛАВА ШЕСТАЯ

МОДИФИКАЦИИ, РАСШИРЯЮЩИЕ ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ САМОЛЕТА

Если в основу создания технически усовершенствованных модификаций положены научно-технические достижения в авиастроении, то в основу модификаций, отличающихся от базового самолета новой областью применения, — удовлетворение дифференцированных требований различных заказчиков к основным характеристикам летательного аппарата. В гражданском авиастроении такие требования обычно связаны с пассажироместимостью, дальностью полета, взлетно-посадочными характеристиками самолета, компоновкой пилотской и пассажирских кабин, с установкой определенного типа двигателя и т. д. В военном авиастроении дифференциация требований вызвана наличием различных родов войск, эксплуатирующих боевые самолеты. Например, специфические требования к характеристикам самолета предъявляют ВВС (стратегическая и тактическая авиация, авиация ПВО) и ВМС (палубная авиация). При экспорте военных самолетов или их создании фирмами нескольких стран появление этого вида модификаций обычно вызвано национальными требованиями заказчика страны-импортера.

Одновременное создание нескольких модификаций данного типа самолета возможно при высоком уровне организации и управления производством. Особое внимание уделяется складированию и контролю за комплектующими частями и созданию

ТАБЛИЦА 6.1. Основные отличия принципов создания модификаций

Модифицированные с целью технического усовершенствования самолета	Модифицированные с целью получения нового назначения самолета
Вариант создают в основном для более полного удовлетворения той же группы заказчиков, которая эксплуатирует базовый вариант Позволяет увеличить серийность производства за счет продления жизненного цикла типа самолета Характерен большой разрыв во времени между появлением каждого нового варианта Каждый новый вариант от предыдущего отличается более высоким уровнем технических характеристик, что позволяет повысить боевую или экономическую эффективность типа самолета После выпуска нового варианта предыдущий, как правило, снимают с производства Модификация — результат работы в конструкторском бюро разработчика самолета и его основных субподрядчиков (проведение работ по аэродинамическому усовершенствованию, повышению прочности конструкции, снижению веса конструкции, снижению удельного расхода топлива двигателей и т. д.)	Вариант создают для удовлетворения новой группы покупателей Позволяет увеличить серийность производства за счет расширения рынка сбыта (продажа самолетов новой группе покупателей) Варианты создают практически одновременно с базовым Варианты отличаются своим назначением; экономическая или боевая эффективность каждого варианта повышается не техническим совершенством, а специализацией под определенную область применения Одновременно в производстве находится несколько вариантов самолета Появление новой модификации — результат деятельности всех основных функциональных отделов фирмы: отдел по анализу потребностей заказчиков определяет потенциальный новый сектор рынка; конструкторский отдел обеспечивает максимальную идентичность конструкции при одновременном повышении эффективности каждого варианта; производственный отдел обеспечивает одновременный выпуск нескольких вариантов самолета не снижая темпы их серийного производства

стапелей модульной конструкции, что позволяет изменять их размеры в соответствии с потребностями. В табл. 6.1 более подробно показаны основные отличия принципов разработки двух видов модификаций.

6.1. Модификации военных самолетов

Рассмотрим период 1911—1932 гг. Вначале создавалось много новых моделей, но разрабатывались и модификации, расширяющие сферу применения самолета в системе вооруженных сил. Первоначально самолет выполнял функцию разведчика, а несколько позже и бомбардировщика. Высокая результативность по сбору разведывательных данных заинтересовала и

военно-морские ведомства. Поэтому одними из первых были поплавковые модификации сухопутных самолетов. Примером может служить «Илья Муромец» — гидроаэроплан, который был создан по заказу морского ведомства. Базовый вариант был подвергнут следующим изменениям: вместо колесных шасси установлены три поплавка. Два главных крепились под средними двигателями к специальным стойкам шасси, третий — под хвостом. Вместо 4-х двигателей «Аргус» по 100 л. с. были установлены 2 «Сальмсон» по 200 л. с. (средние) и 2 «Аргус» по 115 л. с. (крайние). Была усилена конструкция. Во время войны были попытки создания поплавковых модификаций и других самолетов, в частности С-ХVI и «Анадва».

Тенденция создания поплавковых вариантов сухопутных самолетов сохранилась и в послевоенный период. В это время на решение о создании таких вариантов самолетов стали оказывать влияние и экономические факторы. Так, был создан самолет МР-1 (морской разведчик) — модификация первого советского серийного самолета Р-1 на двухпоплавковом шасси, возникшая в целях использования массового самолета и в морской авиации несмотря на наличие летающих лодок. За 1927—1928 гг. было выпущено 124 самолета МР-1, состоявших на вооружении до 1932 г. По аналогичным причинам был создан морской вариант учебного самолета У-1. За 1923—1931 гг. было выпущено 664 самолета У-1, а за 1924—1930 гг. — 73 самолета МУ-1 (морской учебный первый). В начале 20-х годов для обучения пилотов использовалось большое количество разнообразных, в основном старотипных самолетов. Создание У-1 (на базе английского самолета Авро-504к) позволило стандартизировать систему обучения пилотов сухопутной авиации. Вполне логично, что учебный самолет для летчиков морской авиации был создан путем модификации массового сухопутного самолета.

Одним из самых тяжелых сухопутных самолетов, выполненных в поплавковой модификации, был бомбардировщик ТБ-1. Первая машина получила название «Страна Советов», на ней в 1929 г. был выполнен исторический перелет Москва—Нью-Йорк. Самолет представлял собой серийный экземпляр ТБ-1 без вооружения. Одну часть трассы он пролетел в сухопутном варианте, другую — в поплавковом. В начале 30-х годов было создано несколько десятков поплавковых модификаций ТБ-1.

Необходимость повышения эффективности выполнения боевых заданий ориентировала на специализацию каждого типа самолета под конкретную область применения. Однако проблемы технического порядка (в основном низкая надежность многих самолетов) часто служили препятствием для создания узкоспециализированных самолетов. Решение было сведено к двум направлениям: создание самолета универсальной конструкции, способного выполнять различные боевые задания, и создание различных модификаций, каждая из которой ориентирована на выполнение конкретной задачи. Примером первого направле-

ния может служить тот же самолет «Илья Муромец», который использовался и как дальний разведчик, и как дальний бомбардировщик. Примером второго направления может служить английский одноместный истребитель «Мартинсайд F-4», который был создан в 1918 г. и состоял на вооружении в начале 20-х годов в Англии и ряде стран, в том числе и в СССР. Несколько позже была создана глубокая модификация самолета — двухместный разведчик «Мартинсайд F-16» с тем же двигателем «Испано-Сюиза» в 300 л. с. От базового он отличался увеличенным размахом верхнего крыла и удлиненным фюзеляжем.

В целом для начального периода авиастроения было характерно создание самолетов, специализированных на выполнение определенной задачи. В конце 20-х годов стали создаваться специализированные модификации. Примером может служить Р-5 (СССР). Базовый самолет создавался в качестве разведчика (объем производства составил более тысячи самолетов). Он имел несколько модификаций, в частности Р-5Ш (штурмовик) и Р-5Т (торпедоносец) и т. д.

Основное отличие штурмовика — более мощное вооружение — вместо 2-х пулеметов было установлено 4, а через три года — 8. Больше была и бомбовая нагрузка, поэтому летные качества были ниже, чем у самолета-разведчика. Так, фактический потолок был меньше на 2000 м, а скорость — на 36 км/час. Было выпущено несколько сотен этих модификаций. Самолет Р-5Т отличался от базового варианта иной схемой шасси и увеличенным вертикальным оперением. Самолет предназначался для сбрасывания торпеды или большой бомбы. Было построено 50 экземпляров, которые в 1935—1938 гг. использовались на Дальнем Востоке в морской авиации.

Многоцелевым самолетом был и Р-6 (АНТ-7), который мог служить дальним разведчиком, самолетом сопровождения бомбардировщиков и легким бомбардировщиком. Он был введен в эксплуатацию в 1931 г.

В довоенный период продолжалось создание сухопутных самолетов в поплавковом варианте. В частности, был создан морской разведчик МР-6, который выпускался серийно в 1932—1934 гг. Он являлся модификацией сухопутного разведчика Р-6. В конце 30-х годов с повышением летно-технических характеристик сухопутных и морских самолетов создание поплавковых модификаций стало технически и экономически нецелесообразным. В ряде стран с целью удовлетворения различных требований ВВС также создавали многоцелевые самолеты. Пример — двухдвигательный цельнометаллический моноплан «Бомбей» фирмы «Бристоль» с высокорасположенным крылом (рис. 6.1), созданный в 1938 г. как бомбардировщик, военно-транспортный и грузовой самолет. В последнем случае он мог перевозить 24 человека с полным военным снаряжением или различные грузы, в том числе вооружение. Для повышения эффективности транспортных операций в центре фюзеляжа была большая

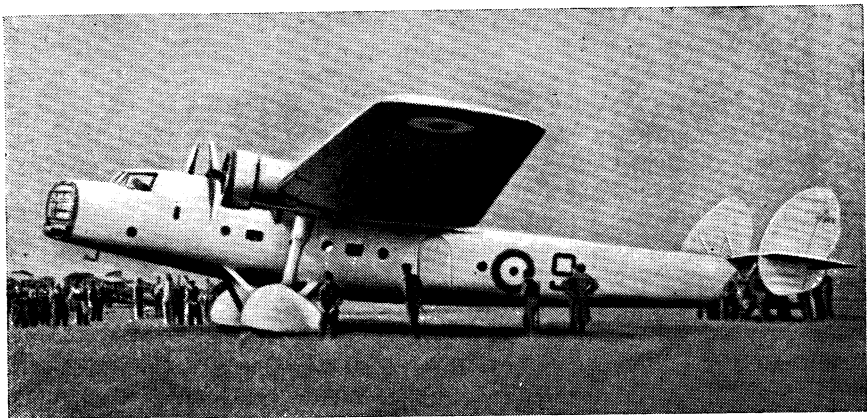


РИС. 6.1. Самолет универсальной конструкции «Бомбей»

боковая дверь. «Бомбей» мог выполнять один полет как бомбардировщик, а следующий — как военно-транспортный или грузовой [31].

Помимо многоцелевых самолетов в предвоенные годы создавались различные модификации, которые расширяли область применения типа самолета.

Необходимость создания модификации часто вызвана отсутствием специализированного самолета для выполнения требуемой задачи. Так, в 1935 г. коллективом конструкторского бюро А. Н. Туполева был создан СБ (скоростной бомбардировщик) — всемирно известный самолет, строившийся серийно на протяжении ряда лет. Максимальная скорость полета самолета превышала скорость современных ему истребителей. Он прославил советскую авиацию в боевых действиях в Испании, на Дальнем Востоке, в Великой Отечественной войне. Конструкция машины была настолько гибкой, что позволяла создать модификацию — пикирующий бомбардировщик. Поэтому было принято решение сделать модификацию с назначением пикирующего бомбардировщика. Последовали дополнительные изменения конструкции самолета: установлены аэродинамические тормоза — решетки под крылом, улучшена форма мотогондол, уменьшены размеры оперения. Самолет был выпущен в небольшой серии. Вскоре его сменил специализированный пикирующий бомбардировщик Пе-2.

Создание модификаций, расширяющих область применения того или иного самолета, значительно возросло во время второй мировой войны. В этот период создание модификаций определялось уже не экономическим фактором (экономией расходов на разработку, производство, эксплуатацию), а фактором времени (сокращением продолжительности разработки самолета и его освоения в серийном производстве, продолжительности обучения лётно-технического персонала и т. п.). При этом об-

легчалось и обеспечение запчастями. Практически любой мас-совый самолет того времени помимо основного назначения с помощью модификаций выполнял и дополнительные функции. В частности, пикирующий бомбардировщик Пе-2 имел модификации разведчика и истребителя-перехватчика*. Истребитель Як-9 имел модификацию бомбардировщика (Як-9Б).

Германский самолет «Юнкерс» Ju-88 в основном использо-вался как бомбардировщик и пикирующий бомбардировщик. Но были созданы и модификации с назначением истребителя-перехватчика дальнего действия (Ju-88C), ночного истребителя (Ju-88C6) и разведчика (Ju-88D). Несколько модификаций имел популярный английский самолет «Москито» фирмы «Де Хэвилленд». Появившись на фронте во второй половине 1942 г. в качестве разведчика-бомбардировщика, он затем в течение 1942—1944 гг. был модифицирован в несколько вариантов: «Москито-II» — ночной истребитель, «Москито-III» — учебно-тренировочный, «Москито-IV» — дневной бомбардировщик (1600 кг бомб), «Москито-PR» — разведывательный самолет. Все модификации сохраняли размеры базового самолета (размах крыла — 16,5 м, длина самолета — 12,4, высота — 5,26, площадь крыла — 37,8 м²); «Москито-II» имел иную кон-струкцию носовой части фюзеляжа и вооружение, состоявшее из 4-х пушек и 4-х пулеметов**. На «Москито-PR» вместо во-оружения устанавливалось фотооборудование. Большая высота полета (практический потолок около 12 км) и высокая ско-рость полета (около 620 км/ч) делали самолет практически не-уязвимым для истребителей и зенитной артиллерии.

В послевоенные годы продолжали создавать модификации, рассчитанные на новую область применения. Однако причина их разработки была иная, а именно — быстрое моральное старение поршневых самолетов в связи с появлением реактивной техники. Созданные при этом модификации часто являлись «пионерами» в освоении новых назначений самолетов, давая возможность свести до минимума технический и экономический риск. Эти са-молеты проверялись в эксплуатации ряд лет, все расходы в ос-новном были связаны с изменением конструкции самолета под требования нового назначения. Характерно, что первоначально модификации подвергались самолеты военных лет, а затем, после получения положительных результатов, была изменена конст-рукция и поршневых самолетов послевоенных лет. Примером может служить тяжелый бомбардировщик В-29 «Суперкрепость» фирмы «Боинг». В конце 40-х годов около двухсот В-29 были модифици-рованы в топливозаправщики KB-29M и KB-29P. Впоследствии так же были модифицированы в топливозаправщики военно-тран-

* В варианте истребителя-перехватчика (Пе-3, Пе-3бис) самолет использо-вался для охраны Москвы [17].

** По общей массе минутного залпа «Москито-II» в три раза превосходил не-мецкий истребитель Me-109E.

спортный самолет С-97 и бомбардировщик В-50. В конце 50-х годов в США был создан специализированный самолет — топливозаправщик КС-135.

Начальный этап периода (1955—1980) характерен созданием многих военных самолетов, пришедших на замену самолетам военного выпуска. Отличительная черта их создания — одновременная разработка нескольких модификаций. В основном это связано с влиянием экономического фактора — стремлением сэкономить расходы на разработку и производство самолетов, складирование запчастей, подготовку летно-технического персонала и т. д. Область использования военных самолетов расширялась (рис. 4.4,) а количество создаваемых типов по сравнению с военным периодом сократилось. Для военного периода было характерным: 1) создание специализированных самолетов (созданные модификации, расширяющие их сферу применения, составляли малую долю по сравнению с массовым выпуском базовых самолетов. Например, создание Ил-2 в варианте истребителя-бомбардировщика, Як-9 в варианте бомбардировщика и т. д.), 2) создание малых модификаций; 3) создание многоцелевых самолетов.

Для современного периода характерно: 1) создание семейства модификаций с различной областью применения (иногда общее количество изготовленных базовых самолетов составляет меньшую долю по сравнению с количеством его модификаций); 2) увеличение числа глубоких модификаций, ориентированных на иную область применения. Основным мотивом создания модификаций является стремление разрешить противоречие между возросшей стоимостью самолетов и расширением сферы их применения.

Примером нового подхода к созданию современного военного самолета может служить S-2 «Трекер» фирмы «Грумман Эрспейс». Базовый самолет S-2 создавался как палубный противолодочный и стал поступать на вооружение ВМС США с февраля 1954 г. В январе 1955 г. совершил первый полет С-1А (его военно-транспортная модификация), который рассчитан на девять пассажирских мест и перевозку специальных грузов. От базового С-1А главным образом отличался увеличенным фюзеляжем. В 1960 г. поступила на вооружение еще одна модификация — Е-1В — самолет раннего обнаружения. От базового (S-2) Е-1В отличался новой конструкцией хвостового оперения и составом оборудования.

Несколько модификаций имел американский топливозаправщик КС-135А, который поступил на вооружение летом 1957 г. Его модификация ЕС-135А (воздушный командный пункт) от базового самолета отличалась компоновкой фюзеляжа и составом оборудования. В начале 60-х годов была создана военно-транспортная модификация — С-135. В первых 15 самолетах изменения конструкции были связаны с устранением системы заправки топливом, усилением пола кабины, установкой погрузочно-разгрузочной механизации и т. д. Была несколько изменена и длина

самолета. С 16-го самолета стали устанавливать и новый турбовентиляторный двигатель Т33-Р-5 вместо турбореактивного J57-Р-59W. Схема развития КС-135А аналогична предыдущей. Несколько модификаций имел также палубный штурмовик А-6А «Интродер» фирмы «Грумман Эрспейс» и F-111 фирмы «Дженерал Дайнемикс».

Так, базовый самолет F-111А (сухопутный тактический истребитель) был первоначально модифицирован в F-111В (палубный истребитель), а затем — в стратегический бомбардировщик FB-111.

6.2. Модификации гражданских самолетов

Для гражданских поршневых самолетов характерным является период 1920—1955 гг. До первой мировой войны гражданские самолеты ввиду их низкой надежности не получили распространения. Во время войны промышленность всех стран выпускала самолеты военного назначения. В первые послевоенные годы воздушные перевозки осуществлялись в основном на модификациях военных самолетов. Только во второй половине 20-х годов появились предпосылки для создания гражданских самолетов. Из наиболее популярных были советские самолеты К-4 конструкции К. А. Калинина, немецкие G-24 фирмы «Юнкерс», «Форд Тримотор» и F-10 фирмы «Фоккер». Одновременно создавались модификации с целью расширения области применения в хозяйстве. Так, на базе К-4 были созданы две модификации: аэрофото-съемочная и санитарная. Платная нагрузка базового самолета составляла 410 кг — четыре пассажира, багаж и почта. В фюзеляже санитарной модификации на левом борту была сделана продолговатая дверь. Самолет рассчитывался на врача и двух лежащих больных. По современным понятиям К-4 использовался не только как коммерческий, но и как специализированный. В период появления гражданских самолетов подобное применение было обычным явлением, поскольку спрос на коммерческие самолеты был ограниченным. Появление модификаций способствовало повышению серийности их производства.

В конце 20-х годов наметились признаки специализации самолетов под определенную плотность пассажиропотока. Так, фирма «Форд Моторс Корп» одновременно выпускала базовый самолет Ford-4А на 11 и его модификацию Ford-6АТ на 13 пассажиров. Увеличение пассажироместимости было достигнуто изменением площади крыла и некоторым снижением скорости и дальности полета [32].

В 1920-х годах развитие гражданской авиации было связано и с почтовыми перевозками. В 1930—1931 гг. авиакомпания США от перевозки почты получили доход в 20 млн. долл. Доход же железнодорожных компаний составил 115 млн. долл. Основной объем почтовых перевозок осуществлялся на гражданских модификациях военных самолетов. К концу 20-х годов были сделаны попытки создания специальных почтовых самолетов. Примером

может служить Боинг-40, который мог перевозить на авиалинии Сан-Франциско—Чикаго 450 кг почты и двух пассажиров. В 1928 г. была создана модификация самолета Боинг-40С, рассчитанная на перевозку 4-х пассажиров.

В мае 1930 г. совершил полет еще один почтовый самолет фирмы «Боинг» — «Мономейл-200». Это был первый цельнометаллический моноплан исключительно для перевозки почты. Следующим монопланом был шестиместный пассажирский самолет «Мономейл», созданный в двух экземплярах. Их эксплуатация позволила фирме накопить опыт для создания последующих хорошо известных монопланов.

Из всемирно известных самолетов 20—30-х годов наиболее емким к созданию модификаций был советский самолет У-2, предназначенный для первоначального обучения летчиков. Первый полет был совершен 7 января 1928 г. Простота обслуживания, возможность эксплуатации во внеаэродромных условиях обеспечили ему широкое применение в различных модификациях. Одна из первых предназначалась для опыления сельскохозяйственных культур и называлась «Аэропыл». Базовый У-2 был существенно изменен: сделан одноместным; кабина пилота сдвинута вперед на 0,25 м; бензобак перенесен в центроплан, в связи с чем сдвинуты задние подкосы центроплана и переделан гаргрот; установлены спаренные колеса, что давало возможность взлетать и садиться на неподготовленных площадках, в том числе и на пашне.

В свою очередь, «Аэропыл» послужил базовым вариантом для У-2СП (У-2 спецприменения). Вместо бакового отсека для опыления встроили две одноместные кабины без управления. Этот вариант выпускался с 1934 по 1939 г. Был выпущен 861 самолет. В 1934 г. приступили к серийному производству модификации У-2СС (санитарный самолет), предназначенной для перевозки одного больного на носилках и сопровождающего его медработника, который помещался на сидении непосредственно за летчиком, лицом к больному. Гаргрот был переделан и служил крышей, открывающейся с левого борта. Было выпущено около 100 таких самолетов [17].

Не только самолет У-2, позднее названный По-2, но и истребители Н. Н. Поликарпова особенно И-15, И-16) имели большое число весьма эффективных модификаций, способствовавших развитию предвоенной боевой авиации.

В этот же период наблюдалось некоторое сокращение разработок этого вида модификаций по коммерческим самолетам. Например, DC-3 удовлетворял различные категории заказчиков в основном за счет изменения компоновки пассажирских салонов. Так, для протяженных авиалиний самолет DC-3 поставлялся в «спальном» варианте на 14 мест, для коротких — на 21 место. Были и варианты для «административного» или делового назначения. Во всех случаях схема и конструкция самолета не изменялись. Это объясняется тем, что самолет по техническому уров-

ню превосходил другие пассажирские самолеты, поэтому различные категории покупателей приспособляли его под свои требования.

В послевоенные годы потребности транспортных организаций в основном удовлетворялись гражданскими модификациями военных самолетов (многие из них разрабатывались на базе военнотранспортных машин, имеющих грузовые двери), что создавало предпосылки для развития воздушных пассажирских и грузовых перевозок. Для послевоенного периода характерным было и создание грузовых модификаций пассажирских самолетов, например, Ил-12Т и Ил-14Т [17].

Одним из наиболее емких к созданию модификаций послевоенных самолетов был многоцелевой Ан-2. Он в какой-то степени являлся связующим звеном между коммерческой и «общей» авиацией. В качестве коммерческого самолета он обслуживал местные авиалинии по перевозке пассажиров и небольших грузов. Одновременно было создано несколько модификаций для иных назначений, например, самолет Ан-2ПП предназначался для тушения лесных пожаров. Он был выполнен в поплавковом варианте и снабжен устройством для набора и выливания воды. Модификация Ан-2СХ применялась в качестве сельскохозяйственного самолета. По сравнению с базовым была изменена конструкция шасси и создано устройство для опыления. Модификация Ан-2Ф использовалась для аэрофотосъемки. Она отличалась от других разнесенным вертикальным оперением, тонкой хвостовой частью и частично прозрачным фюзеляжем [17].

В 1920—1930-х годах область применения модификаций коммерческих самолетов в народном хозяйстве была довольно разнообразной, поскольку различие между коммерческой и «общей» авиацией являлось незначительным. Модификации часто выполняли функции сельскохозяйственных, санитарных и других самолетов.

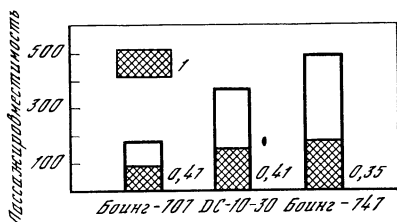
В период реактивной авиации (1956—1980 гг.) модификации гражданских самолетов отличаются от базового самолета иной дальностью полета и пассажировместимостью. Повышение их роли связано с ростом экономической эффективности самолетов и развитием транспортных систем.

В конце 1920-х годов, ввиду низкой эффективности гражданских самолетов транспортные организации финансировались правительственными учреждениями. Получаемый от воздушных перевозок доход покрывал всего около 25% расходов. К середине 50-х годов в связи с повышением эффективности самолетов правительственные учреждения практически прекратили субсидирование организаций, обслуживающих магистральные авиалинии. Это в свою очередь повысило требования авиакомпаний к дальнейшему росту экономической эффективности самолетов. С другой стороны, к этому времени сформировалась сеть большинства авиакомпаний. Если в 1930—1940-х гг. авиатранспортные организации проявили общий интерес к увеличению скорости пасса-

жировместимости и дальности полета самолетов, что повышало их конкурентоспособность по отношению к морскому и наземному видам транспорта, то по мере формирования сети авиалиний требования к основным характеристикам самолетов стали дифференцированными. В основе этих требований были экономические и географические факторы. Влияние оказывал и вид перевозок (регулярные или чартерные, грузовые или пассажирские, международные, региональные или внутренние).

РИС. 6.2. Влияние пассажироместимости самолета на величину коэффициента окупаемости рейса

1 — количество пассажиров, окупающих рейс



Суть упомянутых требований заключается в удовлетворении потребностей конкретных авиалиний, отличающихся протяженностью и плотностью пассажиропотоков. В качестве примера на рис. 6.2 показана пассажироместимость и коэффициенты окупаемости рейсов трех ДМС выпуска 70-х годов. Чем выше пассажироместимость, тем выше и потенциал экономической эффективности самолета. Так, при 50%-ном коэффициенте загрузки прибыль на самолете Боинг-707 обеспечивают 5, а на Боинг-747 — 63 пассажира. Однако пределы увеличения пассажироместимости самолетов ограничены плотностью пассажиропотока на авиалиниях. При малой плотности пассажиропотока может случиться и так, что коэффициент загрузки самолета будет меньше коэффициента окупаемости рейса. Например, при загрузке самолета 130 пассажирами рейс для самолета Боинг-707 окажется весьма рентабельным, а для Боинг-747 — убыточным. На коротких и средних авиалиниях пределы пассажироместимости ограничены ввиду необходимости обеспечения более высокой частоты рейсов самолетов, что вызвано конкуренцией со стороны наземных видов транспорта. Дифференцированные требования явились причиной появления (в конце 50-х годов) модификаций, для которых характерна одновременность их создания с базовым самолетом, что предопределяет одинаковое их техническое совершенство.

Создание многих модификаций определялось экономической необходимостью ориентации каждого варианта самолета на авиалинии определенной протяженности. Впервые такой подход к решению проблемы повышения эффективности реактивных магистральных самолетов был применен в СССР при создании ТУ-104. Немногим более чем через год после ввода в эксплуатацию ТУ-104А появилась модификация ТУ-104Б, отличающаяся от базового меньшей расчетной дальностью полета и увеличенной пассажироместимостью. ТУ-104А использовался на транс-

сибирских авиалиниях, а ТУ-104Б был рассчитан для ближних авиалиний с повышенной плотностью пассажиропотока (Москва—Ленинград, Москва—Симферополь) [23].

В конце 50-х годов с целью экономии средств и снижения технического риска фирма «Боинг» сделала попытку спроектировать пассажирский самолет на базе топливозаправщика КС-135. Однако расчетная дальность самолета Боинг-707 не удовлетворяла авиакомпаний, обслуживающие как внутренние трансконтинентальные авиалинии США, так и международные. Для первых расчетная дальность самолета была слишком большой, для вторых (главным образом для «Пан Америкен» и европейских авиакомпаний) недостаточной для выполнения беспосадочных рейсов с полной коммерческой нагрузкой на североатлантических маршрутах. Последним авиакомпаниям фирма «Дуглас» предложила самолет с большей расчетной дальностью DC-8. Под давлением конкуренции фирма «Боинг» создала модификацию Боинг-707—320, которая отличалась новыми более мощными двигателями, увеличенным размером крыла, удлиненным фюзеляжем (рис. 1.8), увеличенной дальностью полета (рис. 6.3). Для авиакомпаний, обслуживающих трансконтинентальные авиалинии, был создан Боинг-707—120, который от базового отличался уменьшенной дальностью полета и повышенной коммерческой нагрузкой. В результате потенциал экономической эффективности обоих вариантов возрос. По сравнению с первоначально предложенным вариантом у самолета Боинг-707—320 при полете на дальность с полной коммерческой нагрузкой прямые эксплуатационные расходы на место·км ниже на 20%, а у Боинг-707—120 — на 7% (рис. 6.2). Несколько позже была создана еще одна модификация, ориентированная на среднемагистральные линии, — Боинг-720, с меньшей, чем у Боинг-707—120 пассажироместимостью и дальностью полета. Таким образом, в течение полутора лет авиакомпаниям были поставлены три различные модификации. Если принять основные характеристики самолета Боинг-720 за 100%, то индексы характеристик остальных вариантов будут следующие:

	Модификации		
	Боинг-720	Боинг-707—120	Боинг-707—320
Дальность полета	100	125	160
Пассажировместимость	100	125	135
Взлетная масса	100	115	150

В 1960 г. была создана еще одна модификация — Боинг-707—420 с двигателями «Роллс-Ройс». Ввиду задержки создания самолета VC-10 правительство Англии разрешило авиакомпании БОАК импортировать самолет Боинг-707 с двигателя английско-го производства.

Новый тип двигателя устанавливают по трем основным причинам:

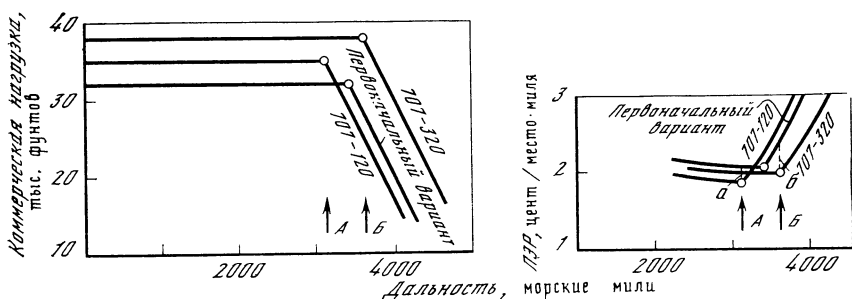


РИС. 6.3. Варианты Боинг-707 и их эффективность

Снижение ПЭР самолета 707—120 (а) и 707—320 (б) по сравнению с первоначальным вариантом



РИС. 6.4. Цикличность развития воздушных перевозок и общехозяйственной конъюнктуры в капиталистических странах

1 — промышленное производство; 2 — валовый национальный продукт, 3 — воздушные регуляторные перевозки

1) повышение технического совершенства самолета. В этом случае на модификацию ставится двигатель улучшенной конструкции, например, с меньшим удельным расходом топлива;

2) создание семейства самолетов. По техническому совершенству новый (в смысле «другой») тип двигателя находится на одном уровне с двигателями базового варианта самолета, но отличается своими параметрами (например, габаритами, большей или меньшей тягой), что позволяет создать модификацию самолета с новым назначением;

3) стандартизация двигателей в авиакомпаниях. В этом случае фирма устанавливает двигатель на самолет по желанию покупателя ввиду ориентации на двигатели одной фирмы.

Двигатели фирмы «Роллс-Ройс», установленные на Боинг-707—420, были по существу первыми турбовентиляторными двигателями, установленными на магистральных самолетах.

До разработки самолетов фирмами «Боинг» и «Дуглас» английская фирма «Де Хэвилленд» создала реактивный самолет «Комета-1», который потерпел катастрофу и был снят с производства. Почти одновременно с рассмотренными выше самолетами было создано семейство модификаций «Комета-4». Модификация «Комета-4А» соответствовала требованиям английской авиакомпании БОАК и была введена в эксплуатацию в октябре 1958 г. Несколько позже в соответствии с требованиями другой английской авиакомпании — БЕА, обслуживающей европейские авиалинии, была создана модификация «Комета-4В» с увеличенной на 18 человек пассажироместимостью и уменьшенной на 1100 км дальностью полета. Модификация «Комета-4С» была создана в соответствии с требованиями зарубежных авиакомпаний, пассажироместимость соответствовала «Комете-4В», а дальность полета — «Комете-4А». При создании реактивных самолетов Боинг-707 и «Комета-4» различные модификации появлялись стихийно. К их планированию приступили позже (см. гл. 2).

В капиталистических странах планирование модификаций возможно в ограниченных масштабах, поскольку для воздушного транспорта характерны скачкообразность и цикличность развития. При этом рамки циклических колебаний воздушных перевозок практически совпадают с колебаниями общехозяйственной конъюнктуры (рис. 6.4). Поэтому фирмы часто вынуждены создавать вместо запланированных модификаций совершенно другие, незапланированные. В частности, фирма «Боинг» в середине 70-х годов создала укороченную на 15 м модификацию Боинг-747-SP самолета Боинг-747 (рис. 6, 5, а).

6.3. Гражданские модификации военных самолетов

Выделим два направления создания этого вида модификаций: 1) переоборудование находившегося длительный срок в эксплуатации военного самолета в гражданский; 2) разработка гражданской модификации на базе нового военного самолета (иногда даже до ввода последнего в эксплуатацию). В первой половине 20-х годов преобладало первое направление.

Во время первой мировой войны самолеты оказались весьма эффективным средством вооружения. Их производство с каждым годом возрастало (табл. 6.2). В результате в 1919 г. в Англии и во Франции на складах осталось по 20 тыс. различных типов военных самолетов. В Англии стоимость этих самолетов, а также моторов и наземного оборудования оценивалась в 100 млн. фунт. ст. Самолеты продавались различным странам, и многие из них

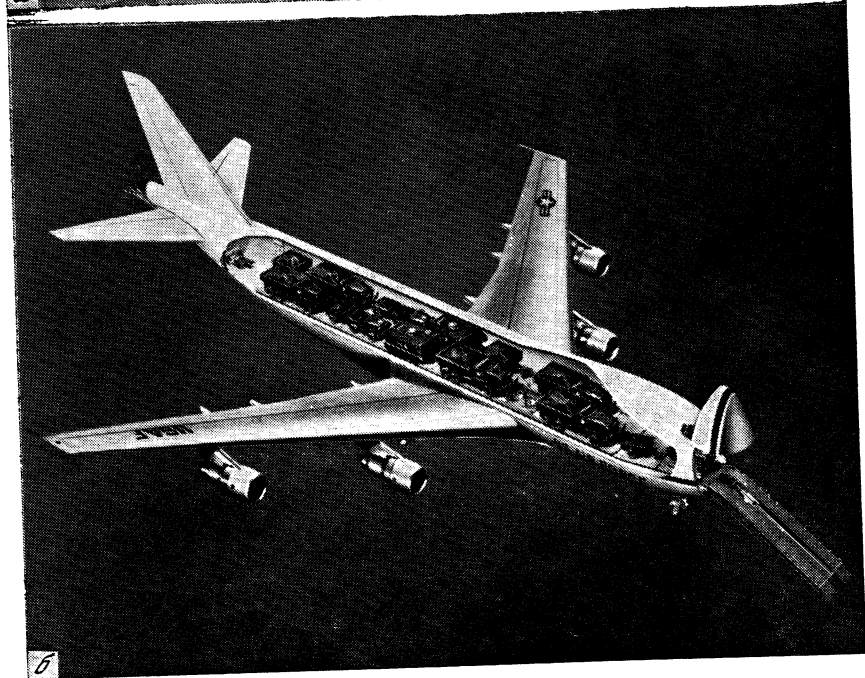


РИС. 6.5. Модификации самолета Боинг-747

а — укороченная модификация Боинг-747-SP; *б* — макет военно-транспортной модификации грузового самолета Боинг-747-F.

ТАБЛИЦА 6.2. Годовое производство самолетов во время первой мировой войны [6, 16]

Год	Россия	США	Англия	Франция
1913	280	43	—	—
1914	535	49	245	541
1915	1305	178	1 932	4 469
1916	1870	411	6 149	7 549
1917	1897	2 148	14 421	14 915
1918	—	14 011	32 106	23 669
1919	—	8 780	—	—

модифицировались в гражданские для перевозки почты и пассажиров*. Аналогичное наблюдалось в авиапромышленности Франции и США. Так, в США в 1918—1925 гг. министерство связи для перевозки почты в основном использовало гражданские варианты военных английских самолетов конструкции Джозефа де Хэвилленда (самолеты DH), построенные в США по лицензии.

Наличие на рынке большого количества дешевых военных самолетов и их модификаций в немалой степени способствовало расширению воздушных перевозок в начальном этапе их развития. Под воздействием технического прогресса во второй половине 20-х годов началось моральное старение самолетов, наступавшее прежде их физического износа. Например, в 1924 г. в СССР стал поступать на вооружение приобретенный двухместный разведчик «Фоккер С-IV». В 1930 г. при появлении более совершенного советского самолета Р-1 машины фирмы «Фоккер» стали использоваться как почтовые на авиалиниях Москва—Иркутск.

В 1930—1931 гг. в СССР стали снимать с вооружения немецкие бомбардировщики ЮГ-1 и передавать в «Аэрофлот», где они переоборудовались под транспортные самолеты в поплавковом варианте и продолжали службу на восточносибирских авиалиниях.

В конце 20-х — начале 30-х годов появились предпосылки для создания модификаций второго направления.

Примером может служить самолет Боинг-247 (США). В начале 30-х годов для «Объединенной авиационной и транспортной корпорации»** потребовался новый пассажирский самолет для замены самолетов «Форд Тримотор». Фирма «Боинг» решила создать модификацию первого в США цельнометаллического

* Самыми распространенными самолетами были двухместные DH-4A и четырехместные DH-16, являвшиеся модификациями военных самолетов DH-4 и DH-9A.

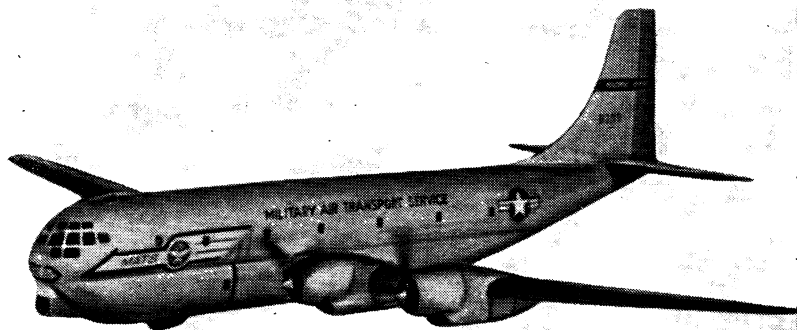
** В корпорацию входили авиастроительные фирмы «Боинг», «Воут», «Сикорский» (самолеты), «Прат-Уитни» (моторы) и транспортная организация «Юнайтед Эрлайнз».

бомбардировщика-моноплана В-9. Благодаря большому сходству конструкций гражданский самолет Боинг-247 был создан в короткие сроки. Первый полет В-9 совершил в апреле 1931 г., а Боинг-247 — в феврале 1933 г. Этот самолет был технически совершенным. Его скорость была на 48 км/час выше, чем у ближайших конкурентов. Всего было продано 75 самолетов, причем первые 60 самолетов были поставлены собственной транспортной организацией.

Отличительная черта предвоенного периода — ввод в эксплуатацию популярных пассажирских самолетов фирмы «Дуглас»: DC-1, DC-2 и особенно DC-3, появление которых в немалой степени было связано с Боинг-247. Американская транспортная компания ТВА пыталась ввести в эксплуатацию этот самолет до полного удовлетворения фирмой «Боинг» требований собственной транспортной организации. Получив отказ, руководство ТВА обратилось к другим фирмам с просьбой создать самолет, не уступающий по характеристикам и срокам поставок Боинг-247. Контракт выиграла фирма «Дуглас». В сжатые сроки был создан самолет DC-1, который был введен в эксплуатацию в конце 1933 г. Его характеристики были несколько выше, чем у Боинг-247, в частности, скорость на 24 км/час, а пассажировместимость на 2 человека. Через несколько месяцев фирмой «Дуглас» на базе DC-1 был создан DC-2, а несколько позже DC-3 — самый популярный пассажирский самолет того времени.

В 30-е годы в ограниченном масштабе создавали гражданские модификации новых военных самолетов. Так, фирма «Боинг» разработала такую на базе В-17 «летающая крепость». Первый полет В-17 совершил в декабре 1936 г., а пассажирский (Боинг-307) — через 2 года. От базового варианта модифицированный отличался герметизированным фюзеляжем. Пассажировместимость составляла 33 человека, в спальном варианте (для эксплуатации ночью) — 25 человек. Изготовлено было 10 самолетов, включая прототип.

Послевоенный период охарактеризовался массовым созданием гражданских модификаций военных самолетов. В целом ситуация напоминала годы после первой мировой войны. Однако в 40-х годах наблюдались и особенности развития, к которым следует прежде всего отнести ремодификацию военных самолетов в гражданские. Если во второй половине 30-х годов основу транспортной авиации составляли цельнометаллические самолеты, срок службы которых значительно возрос по сравнению с самолетами деревянной конструкции времен первой мировой войны, то после начала второй мировой войны многие гражданские самолеты были модифицированы в военные варианты. По окончании войны они вновь были переданы на обслуживание авиалиний. Проводимые при этом изменения конструкции часто были связаны не только с переоборудованием военных самолетов в гражданские, но и усилением и обновлением их отдельных частей и узлов. Например, при возвращении авиакомпании ТВА самолета-



а



б

РИС. 6.6. Военно-транспортный самолет С-97 (а) и его гражданская модификация Боинг-377 (б)

тов Боинг-307 (военное обозначение С-75) были установлены новые крылья (от самолета В-17С), заменена обшивка хвостового оперения. Двигатели «Циклон» мощностью 900 л. с. заменили двигателями «Циклон» в 1100 л. с. (ранее установленными на самолетах В-17). После ремодификации самолеты Боинг-307 находились в эксплуатации в авиакомпании ТВА до 1951 г.

Другая особенность указанного периода — это создание новых гражданских модификаций на базе военных самолетов, т. е. изменение конструкции военных самолетов в чертежах с последующим запуском в серийное производство, что раньше применялось редко. Так, в США были созданы (в скобках указаны военные базовые самолеты): DC-4 (С-54); DC-7 (С-74); L-749 «Констеллейшн» (С-69), CW-20 (С-46), пользовавшиеся большим спросом у авиакомпаний. В Англии попытались создать гражданские

ТАБЛИЦА 6.3. Динамика производительности дальнемагистральных самолетов

Самолет	Тип двигателя	Год ввода в эксплуатацию	Рейсовая скорость, км/ч	Число пассажиров	Годовой налет, часы	Годовая производительность, млн. пасс·км
L-1049	Поршневой	1953	460	90	2500	103
«Британия»	Турбовинтовой	1957	540	100	3000	162
Боинг-707-320	Реактивный	1962	810	140	3250	370
DC-8-63	»	1967	810	240	3500	680
Боинг-747	»	1970	850	400	3800	1300

модификации «Тудор» и «Гермес» на базе бомбардировщиков «Авро Линкольн» и «Галифакс». Однако массового сбыта они не имели в основном из-за низкой рентабельности. Окончилась коммерческой неудачей и попытка фирмы «Боинг» создать гражданскую модификацию Боинг-377 на базе военно-транспортного самолета С-97 (рис. 6.6). Всего транспортным организациям было продано 56 самолетов Боинг-377.

Третья особенность рассматриваемого периода заключалась в создании гражданских модификаций в основном на базе военно-транспортных самолетов, в то время как после первой мировой войны базой служили бомбардировщики и дальние разведчики.

Общим в послевоенные периоды обеих войн было наличие большого количества изготовленных военных самолетов. Например, до начала первой мировой войны авиакомпаниям было поставлено около 370 самолетов DC-3, а к середине 1944 г. было выпущено около 8000 С-47 (DC-3). Характерным было отсутствие новых гражданских самолетов, непосредственно разработанных для воздушного транспорта. Попытки создать такие самолеты окончились неудачей, поскольку они не выдержали конкуренции с более дешевыми модификациями военных самолетов.

В этой закономерности были и исключения. В 20-х годах немецкой фирмой «Юнкерс» были созданы популярные гражданские самолеты Ju-13 и G-24*. В 40-х годах в конструкторском бюро С. В. Ильюшина был создан самолет Ил-12, который был введен в эксплуатацию в 1947 г.

В 50-х годах воздушный транспорт получил значительное развитие после ввода в эксплуатацию газотурбинных магистральных самолетов. В Советском Союзе первый турбореактивный магистральный самолет Ту-104 является модификацией серийного бомбардировщика Ту-16, отличавшегося хорошей от-

* Появление гражданских самолетов фирмы Юнкерс в первые послевоенные годы во многом объясняется запрещением для германской авиационной промышленности создавать военные самолеты.

работкой всех систем. Проектные работы по Ту-104 были начаты в 1954 г., а 7 июня 1955 г. опытный самолет уже совершил свой первый полет. Серийные самолеты были введены в эксплуатацию 15 сентября 1956 г. на авиалинии Москва—Омск—Иркутск. Вскоре за самолетом Ту-104 на магистральные линии вышли турбовинтовые Ил-18 и Ан-10. До ввода этих самолетов в эксплуатацию основной объем воздушных перевозок в СССР осуществлялся на поршневых самолетах Ли-2, Ил-12, Ил-14. Ввод новых моделей самолетов в эксплуатацию оказал существенное влияние на развитие воздушных перевозок в СССР. Если в 1955 г. «Аэрофлотом» было перевезено около 2,5 млн. пассажиров, то в 1958 г. — более 8 млн.

В США первый турбореактивный магистральный самолет создала фирма «Боинг». До середины 50-х годов рынок магистральных самолетов в этой стране был монополизирован фирмами «Дуглас», «Локхид», «Дженерал Дайнемикс», которые поставляли авиакомпаниям поршневые самолеты DC-3, DC-4, DC-6, DC-7, «Констелейшн», «Конвер-240», «Конвер-340», «Конвер-440».

Фирма «Боинг» являлась основным поставщиком тяжелых бомбардировщиков. Поскольку в начале 50-х годов появилась тенденция сокращения заказов на тяжелые бомбардировщики (ввиду принятия на вооружение ракет), руководство фирмы приняло решение о расширении сферы влияния в гражданском секторе авиастроения. Первоначально был создан опытный самолет, имевший обозначение 367-80, который в дальнейшем послужил прототипом топливозаправщика KC-135.

При разработке проекта этого самолета был использован научно-технический опыт, полученный при разработке и производстве реактивных бомбардировщиков В-47 и В-52.

Самолет 367-80 совершил первый полет 15 июля 1954 г. Летные испытания самолет проходил с телескопической трубой с целью демонстрации пригодности самолета для функции топливозаправщика, разработка которого началась в том же году. Планы самолетов 367-80 и KC-135 по конструкции и размерам идентичны. Отличие состояло в том, что на KC-135 одна, а не две грузовых двери. Самолет KC-135 совершил первый полет в августе 1956 г., а в июле 1957 г. начались поставки в ВВС США.

Первый заказ на самолет Боинг-707 фирма получила от авиакомпании «Пан-Америкен» в конце 1955 г. В эксплуатацию он был введен 26 октября 1958 г. на авиалинии Нью-Йорк—Париж.

Базой для создания самолета Боинг-707 послужил KC-135 (рис. 6.7, а, б), правда, у первого размеры планера несколько больше. Изменения были внесены, когда самолет сдавался в серийное производство, что было вызвано конкуренцией со стороны фирмы «Дуглас», предложившей авиакомпаниям несколько больший по размеру самолет DC-8. По сравнению с KC-135 длина фюзеляжа была увеличена почти на 6 м. Большое сходство конструкции самолетов KC-135 и Боинг-707 позволило фирме

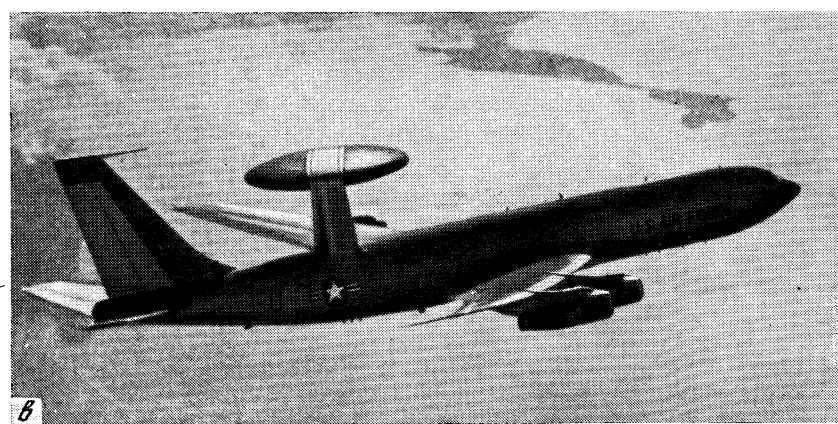
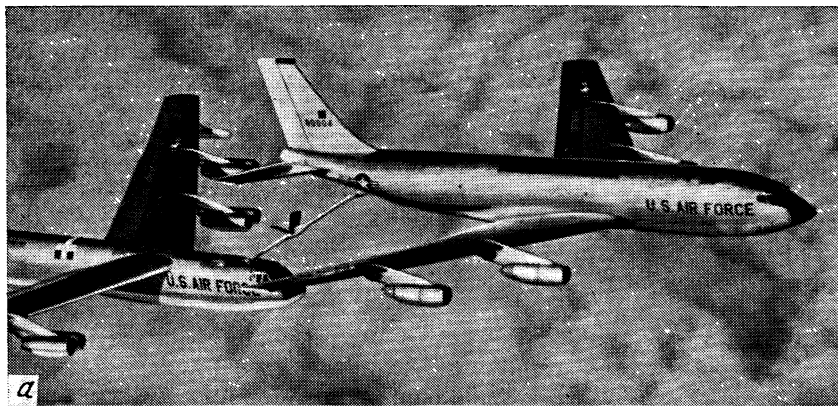


РИС. 6.7. Топливозаправщик КС-135 (а), его гражданская модификация Боинг-707 (б) и военная модификация Е-3А (в) самолета Боинг-707

достигнуть высокого уровня унификации агрегатов, узлов, материала и сырья. Самолет пользовался большим спросом не только в США, но и во многих других странах, что позволило создать на его базе ряд эффективных модификаций.

Период 1958—1980 гг. характеризуется резким снижением числа гражданских модификаций военных самолетов. Лишь в начале периода были созданы удачные самолеты Ту-104, Боинг-707. В дальнейшем потребности воздушного транспорта стали полностью удовлетворяться самолетами гражданского назначения. Этому содействовали три основные причины.

Первая связана со структурными сдвигами в авиастроении, обусловленными появлением управляемых снарядов и ракет, массовое производство которых привело к сокращению потребностей в бомбардировочной авиации. Как известно, именно бомбардировщики часто модифицировались в гражданские самолеты. Вторая причина связана с развитием воздушного транспорта, который во второй половине 50-х годов стал играть заметную роль в общей транспортной системе промышленно развитых стран. Так, его доля на североатлантических маршрутах стала составлять около 50% объема пассажирских перевозок воздушного и морского видов транспорта. К концу 50-х годов потребность в гражданской авиационной технике стала достаточно большой. Именно тогда поступили в эксплуатацию Ил-18 (СССР), «Каравелла» (Франция), DC-8 (США), «Комета-4» (Англия). Главная же причина — более высокая экономическая эффективность заново спроектированных пассажирских самолетов.

При одинаковой серийности цена гражданского варианта военного самолета обычно ниже специально разработанного для пассажирских перевозок воздушного лайнера. Но последний обеспечивает пассажирам более высокий комфорт при более низких эксплуатационных расходах по сравнению с модификацией военного самолета. Экономия, полученная за счет понижения цены модификации, сводится на нет высокими расходами на ее эксплуатацию и более низким качеством пассажирских салонов. Повышенные эксплуатационные расходы модификаций объясняются особенностями подхода к конструированию военных и гражданских машин. Рассмотрим эти особенности на примере военно-транспортного самолета С-5А фирмы «Локхид» и широкофюзеляжного самолета Боинг-747, которые создавались практически в одно время, имеют примерно одинаковую массу и дальность полета.

Крейсерская скорость Боинг-747 на 140 км/ч выше, чем у С-5А. Для последнего более важным было не достижение околозвуковой скорости, а обеспечение высоких взлетно-посадочных характеристик и возможности ее использования с аэродромов со слабым покрытием, в том числе — с травяным.

Как все магистральные турбореактивные самолеты, Боинг-747 имеет низкорасположенное крыло, что вызвано требованием безопасности пассажиров, особенно при аварийной посадке на воду.

Как все военно-транспортные самолеты, С-5А имеет высокорасположенное крыло, что облегчает погрузку и разгрузку военной техники.

В конструкции магистрального самолета заложена возможность высокой интенсивности его эксплуатации при относительно низких эксплуатационных расходах. При создании самолета Боинг-747 предусматривалась возможность использования прогрессивных форм техобслуживания «по состоянию» и «контроль за состоянием». При создании самолета С-5А внимание больше уделяли проблеме живучести, чем экономичности эксплуатации.

Под действием технического прогресса в авиастроении темпы роста годовой производительности гражданских самолетов были очень высоки (см. табл. 6, 3). Если учесть, что срок службы современных машин значительно увеличился в сравнении с машинами 1920—1930-х годов, то становится понятной низкая конкурентоспособность модификаций военных самолетов и практически полное прекращение модифицирования военных машин в гражданские. Так, неудачной оказалась и попытка фирмы «Локхид» создать гражданскую модификацию L-500 военно-транспортного самолета С-5А.

Коммерческой неудачей оказалась и другая попытка фирмы «Локхид» создать гражданский грузовой самолет L-100 на базе военно-транспортного самолета С-130 «Геркулес». За 14 лет фирме удалось продать всего около 60 таких машин, в то время как число проданных С-130 превышает 1400.

6.4. Военные модификации гражданских самолетов

В начале развития авиастроения потребность в военных модификациях гражданских самолетов в основном возникала с началом военных действий. Проводимые при их создании конструктивные изменения позволяли выполнять боевые операции более эффективно. Так, в первую мировую войну русский самолет «Илья Муромец», использование которого первоначально планировалось в научных целях [15], был модифицирован в боевой самолет. В начале войны в русской авиации имелось 4 самолета «Илья Муромец». По инициативе летчиков их вооружили и направили на фронт для выполнения задач дальней воздушной разведки, а несколько позже в качестве бомбардировщиков. Первые же полеты на выполнение боевых заданий увенчались успехом. Военное командование передало срочный заказ на постройку 32 таких бомбардировщиков. На самолетах были устройства для внутренней подвески авиабомб и прицелы для бомбометания. Во избежание пожаров в воздухе бензиновые баки были покрыты протектором. Для защиты от истребителей на нем устанавливалось 8 пулеметов. С целью обороны задней полусферы один из пулеметов был расположен в концевой части фюзеляжа

в специальной кабине. С появлением этой кабины было изменено вертикальное оперение.

Германии по Версальскому договору была запрещена разработка военных самолетов. После войны авиастроительные фирмы сосредоточили свою деятельность на гражданской продукции. Впоследствии некоторые самолеты были модифицированы в военные. Например, в середине 20-х годов фирма «Юнкерс» создала трехмоторный десятиместный пассажирский самолет «Юнкерс» G-24, экипаж которого состоял из двух пилотов. На самолете устанавливались двигатели БМБ в 220 л. с. Позже была разработана военная модификация IG-1. Окна были заделаны, созданы бомбовые отсеки и стрелковые установки: две турели сверху и выдвижная башня снизу. Силовая установка состояла из трех двигателей «Юнкерс» L-5 по 300—310 л. с. Этот самолет в 1926 г. был принят на вооружение и в СССР. В качестве тяжелого бомбардировщика он находился в строевых частях до появления советских самолетов ТБ-1. Всего было импортировано несколько десятков самолетов, часть из них — в поплавковом варианте.

Со второй половины 20-х годов в ряде стран были предприняты попытки создания гражданских самолетов, которые в одном случае дополняли гражданские модификации военных самолетов, а в другом — с успехом конкурировали с ними. Например, в СССР за 1925—1929 гг. конструктором К. А. Калининным были созданы гражданские самолеты К-1, К-2, К-3, К-4, К-5. Серийно строились К-4 и К-5, их было выпущено около 300 самолетов; на авиалиниях Украины они заменили немецкую технику.

Модификации периода 1933—1955 гг. отличаются своими особенностями. Связано это с тем, что в начале 30-х годов количество разработок гражданских самолетов значительно возросло по сравнению с предшествующим десятилетием. В ограниченном количестве продолжали создавать и военные модификации гражданских самолетов. В основном модифицировались самолеты с высокими летно-техническими характеристиками. Например, в СССР, в октябре 1932 г. совершил первый полет семиместный пассажирский самолет ХАИ-1, в период 1934—1937 гг. было построено 43 машины; они эксплуатировались на линии Москва—Симферополь. ХАИ-1 занимал первое место в Европе и второе в мире по скорости среди пассажирских машин того времени. На базе этого самолета была создана военная модификация — двухместный учебный бомбардировщик с бомбовой нагрузкой (200 кг) и двумя пулеметами (было сделано две машины). В Великобритании скоростной пассажирский самолет «Британия Первая» тип 142, рассчитанный на перевозку 10 человек, был модифицирован в дневной бомбардировщик «Блихейн».

Создание военных модификаций гражданских самолетов резко возросло перед и во время второй мировой войны, поскольку к концу 30-х годов гражданское авиастроение получило довольно значительное развитие.

По объему конструктивных изменений все гражданские самолеты, используемые в вооруженных силах, можно подразделить на три группы.

1. Самолеты, которые использовались в вооруженных силах без каких-либо серьезных изменений и эксплуатировались экипажами авиатранспортных организаций (Ли-2, ДС-3 и т. д.). Самолеты использовались для связи, перевозки раненых, транспортировки грузов.

2. Самолеты, которые после передачи в ВВС были подвергнуты «поштучной» модификации с целью повышения их эффективности при выполнении боевых операций. Примером может служить самолет У-2 (с 1944 г. — По-2). Созданный как учебный самолет первоначального обучения и совершивший первый полет в январе 1928 г., он использовался во время войны с различным назначением, в том числе в качестве легкого ночного бомбардировщика. Именно эта модификация вписала славную страницу в летопись Великой Отечественной войны. Благодаря исключительным качествам конструкции при создании военных модификаций не потребовалось вносить большие изменения. Под фюзеляжем и нижним крылом были установлены держатели бомб с тросовым управлением для их сбрасывания. На заднем сидении разместили пулемет на шкворневой установке, у летчика — бомбардировочный прицел.

3. Самолеты, изменение конструкции которых было проведено в чертежах с последующим запуском в серийное производство. Так, в СССР были созданы бомбардировщики ДБ-240 и ЕР-2, которые являлись глубокой модификацией пассажирского самолета «Сталь-7» Р. Л. Бартини. В конструкции пассажирского самолета была предусмотрена возможность создания на его основе дальнего бомбардировщика. Поэтому для военной модификации сохранились схема, формы, размеры и другие параметры пассажирского самолета (см. табл. 6.4). Работы в основном были связаны с применением цельнометаллической конструкции вместо смешанной. Модификация создавалась в ОКБ, возглавляемым В. Г. Ермолаевым. Примерно через год после решения о создании бомбардировщика был выпущен опытный экземпляр Б-240, а через 3 месяца (октябрь 1940 г.) после первого полета началось серийное производство.

В серийное производство была сдана и военная модификация пассажирского самолета Ли-2 (ночной бомбардировщик). Военная модификация оснащалась экранированной турелью с пулеметом, установленной на фюзеляже для защиты задней полусферы. Два других пулемета были установлены в бортах фюзеляжа. Под центропланом была размещена подвеска для двух тонн бомб различного калибра.

С 1942 г. началось серийное производство военной модификации самолета У-2, получившей обозначение У-2ВС (военный самолет). Накануне и во время второй мировой войны военные модификации самолетов выпускались и за рубежом. В Герма-

ТАБЛИЦА 6.4. Основные данные двухдвигательного пассажирского самолета «Сталь-7» бомбардировщиков ДБ-240, ЕР-2

Самолет	Год выпуска	Размах крыла, м	Площадь крыла, м ²	Длина самолета, м	Двигатели		Скорость на высоте, км/ч	Дальность полета, км
					марка	мощность, л. с.		
«Сталь-7»	1937	23,0	72,0	16,0	М-100	760	450	5000
					М-103	860		
БД-240	1940	23,0	72,0	16,3	М-105	1050	500	4200
ЕР-2	1941	23,0	72,0	16,4	М-105	1050	—	—
ЕР-2	1941	21,7	73,1	16,3	АМ-37	1400	520	—

нии на базе пассажирских самолетов Ju-90 и Фокке-Вульф «Кондор» были созданы бомбардировщики Ju-290 и Фокке-Вульф «Курьер», в США пассажирский самолет DC-2 был модифицирован в бомбардировщик В-18.

Наиболее массовым гражданским самолетом был DC-3, военнo-транспортная модификация которого (С-47) имела широкое применение.

Во второй половине 40-х годов на базе весьма популярного гражданского магистрального самолета этого периода Ил-12 было создано несколько модификаций, в том числе десантный Ил-12Д, который отличался стрелковой установкой (экранированной турелью с одним пулеметом ШКАС), скамьями вдоль бортов, устройством для воздушного десантирования парашютистов и грузов.

Из военных модификаций пассажирских самолетов с газотурбинными двигателями (период 1955—1980 гг.) можно назвать противолодочный патрульный самолет Р-3 «Орион», который является модификацией турбовинтового самолета «Электра», совершившего первый полет в декабре 1957 г. Было продано около 170 гражданских машин. Ограниченность сбыта была вызвана рядом катастроф и конкуренцией со стороны турбореактивных самолетов. Однако в апреле 1958 г. фирме удалось «выиграть» контракт на производство противолодочного самолета. При создании первой опытной военной модификации был использован планер гражданской машины. Военный самолет совершил первый полет в августе 1958 г., а на вооружение был принят в 1962 г. В течение последующих 4-х лет ВМС США получили 157 самолетов, на которых была установлена современная по тому времени бортовая аппаратура и вооружение для борьбы с дизельными подводными лодками. В дальнейшем были созданы технические усовершенствованные модификации Р-3В и Р-3С, причем последняя — для борьбы с быстроходными атомными подводными лодками. Вооружение составляют ядерные и обычные глубинные бомбы, противолодочные торпеды и т. д. Всего было поставлено около 500 машин в различной модификации.

ТАБЛИЦА 6.5. Некоторые данные самолетов Комета-4С и HS-801 «Нимрод»

Характеристика	Комета-4С	HS-801 «Нимрод»
Двигатели (число и тип)	4 ТРД «Роллс-Ройс» Avon RA 29 Mk, 525 В	4 ТРД «Роллс-Ройс» RB 168 Spey
Максимальная тяга, кг	4×4767	4×5700
Длина самолета, м	35,97	38,63
Площадь крыла, м	197	197
Максимальная взлетная масса, т	73,5	70,0

В Великобритании военный самолет аналогичного назначения (HS-801 «Нимрод») является модификацией гражданского реактивного лайнера «Комета-4С» (табл. 6.5). Работы по проектированию HS-801 «Нимрод» были начаты в июне 1964 г. При создании первых двух опытных военных самолетов использовали планеры самолета «Комета-4С», причем на втором опытном самолете были установлены и двигатели гражданского самолета. Военная модификация отличается от базового самолета более коротким (примерно на 2 м) фюзеляжем, новой силовой установкой. Установлено оборудование и вооружение, необходимое для поиска и уничтожения подводных лодок. Общее количество построенных самолетов около 40.

В конце 70-х годов военным руководством Великобритании было принято решение о создании самолета ДРЛО — самолета, оснащенного оборудованием для дальнего радиолокационного обнаружения и управления (это оборудование должно автоматически обнаруживать, сопровождать воздушные и наземные цели и наводить на них боевые самолеты), а также оборудование для радиоэлектронной борьбы. Новый военный самолет «Нимрод АEW» является модификацией противолодочного самолета «Нимрод». От базового он отличается конструкцией носовой и хвостовой частей фюзеляжа, составом оборудования, большей взлетной массой. Первые поставки самолетов намечаются на 1982 г., заказано 11 самолетов.

В середине 70-х годов в США был создан (аналогично «Нимрод АEW») самолет Е-3А, являющийся модификацией пассажирского Боинг-707-320. Отличие от базового — в составе оборудования (см. рис. 6.7, б, в). На верхней части планера в обтекателе диаметром 9,1 м установлена антенная решетка радиолокационной системы, обеспечивающая обнаружение воздушных целей на больших (до 450 км) и на малых высотах (до 320 км). Состав установленного оборудования позволяет автоматизировать сбор, обработку и передачу истребителям-перехватчикам информации о воздушных целях. Дальнейшие модификации самолета Е-3А смогут обнаруживать малоразмерные надводные цели. Фирма Боинг до середины 80-х годов должна поставить 34 самолета

Е-3А общей стоимостью 3,7 млрд. долл. Причина создания Е-3А и «Нимрод АEW» в том, что существующие наземные радиолокационные системы не удовлетворяют современным требованиям по обнаружению воздушных целей на малых высотах.

В начале 60-х годов совершил первый полет самолет VC-10 английской фирмы БАК, который был введен в эксплуатацию в конце апреля 1964 г. Затем была создана военно-транспортная модификация этого самолета — VC-10 модель 1106. Основные изменения конструкции были связаны с устройством грузовой двери, усилением пола, механизации погрузочно-разгрузочных работ и т. д.; была также установлена штанга для дозаправки в воздухе и топливный бак в киле самолета. Всего было построено 14 самолетов.

С 1968 г. на вооружение в ВВС США стал поступать санитарный самолет C-9A — малая модификация ближнемагистрального воздушного лайнера DC-9—30. При его создании изменение конструкции было связано с переоборудованием пассажирской кабины, с установкой дополнительных входных дверей (причем одна создана со встроенным трапом), с установкой несколько более мощных двигателей и т. д. Всего было поставлено около 40 самолетов C-9A.

В начале 70-х годов в США возникла необходимость повысить качество подготовки военных штурманов. Было принято решение о создании на базе магистрального Боинг-737 современного специального тренировочного самолета. Отличия военной модификации (Т-43А) от базового — сокращение количества дверей (было оставлено по одной двери с каждой стороны фюзеляжа), окон, усиление пола кабины в связи с установкой тяжелого электронного оборудования, установка дополнительного топливного бака емкостью 3000 литров и т. д. Всего было заказано 19 самолетов на сумму 81 млн. долл.

В начале 70-х годов устаревшие ЕС-135, используемые в качестве воздушных командных пунктов, решили заменять соответствующими модификациями широкофюзеляжного пассажирского самолета Боинг-747—200. Воздушный командный пункт рассчитан на пребывание президента, министра обороны и высшего руководства на случай выхода из строя основного пункта управления. К концу 70-х годов решено построить 3 самолета Е-4А, а к 1983 г. планируют ввести еще 6 более усовершенствованных самолетов (Е-4В) [38].

Основное отличие этой модификации от Боинг-747—200 — защита корпуса самолета и отдельных элементов аппаратуры от воздействия электромагнитного импульса ядерного взрыва, состав оборудования связи, установка системы дозаправки топливом в полете, что обеспечивает непрерывное дежурство в воздухе в течение 72 ч*.

В 1979 г. фирма «Макдонелл-Дуглас» приступила к разработ-

* Время боевого патрулирования без дозаправки 12 ч.

ке топливозаправщика на базе пассажирского DC-10-30 CF. Под концевыми частями консолей крыла модификации устанавливаются контейнеры с заправочными агрегатами, оснащенными гибкими убирающимися шлангами. Цель модификации — повысить эффективность стратегических военно-транспортных самолетов С-141 и С-5А при переброске войск и военной техники. Объем заказа составит до 20 самолетов.

Кроме указанных, были созданы военные модификации и некоторых других гражданских машин. Планируют военные модификации самолет А-300В с использованием в качестве топливозаправщика, военно-транспортного самолета, самолета ДРЛО.

Современный период имеет ряд характерных особенностей. История авиастроения показывает, что количество военных модификаций гражданских самолетов резко возрастает в периоды обострения политических отношений, когда возникает потребность в быстром наращивании военной мощи, и особенно в военное время. На создание современных модификаций (хотя оно происходит в мирное время) серьезное влияние оказывает противостояние двух различных общественных систем.

С экономической точки зрения модификации являются средством решения противоречия между высокой стоимостью и продолжительностью создания современной военной техники и необходимостью быстрого удовлетворения потребности.

Как свидетельствуют данные, большинство модификаций современных гражданских самолетов используют в таких областях системы вооруженных сил, где потребность в самолетах относительно мала и в среднем составляет несколько десятков (исключение составляет Р-3 «Орион» фирмы «Локхид»). Если учесть, что предсерийные расходы (разработка проекта, летные испытания, разработка оснастки и закупка производственного оборудования) современного самолета в среднем составляют не менее миллиарда долларов, то это делает практически неосуществимым выпуск специальных военных самолетов малой серией. Крупносерийное производство гражданских самолетов облегчает обеспечение запчастями и подготовку летно-технического персонала.

Итак, отличие современного периода состоит и в масштабах применения военных модификаций гражданских самолетов. Раньше они модифицировались в военные для выполнения функций бомбардировщика, военно-транспортного и учебно-тренировочного самолетов. В 60—70-е годы к указанным добавляются функции противолодочных самолетов, самолетов дальнего радиолокационного обнаружения и радиоэлектронной борьбы, самолетов воздушных командных пунктов и т. д. Усилившаяся тенденция создания военных модификаций гражданских самолетов послужила основной причиной организации на зарубежных фирмах специальных отделений по продвижению модификаций магистральных самолетов на военный сектор рынка*.

* В частности, на фирме «Боинг» такое отделение было создано в 1975 г.

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

ИСТОРИЯ КОМПЛЕКСНЫХ МОДИФИКАЦИЙ И МОДИФИКАЦИЙ САМОЛЕТОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

7.1. Комплексные модификации

В основу создания комплексных модификаций положен как научно-технический прогресс в авиастроении, так и дифференцированные требования заказчиков к технико-экономическим характеристикам самолета.

Модификация от базового самолета отличается новой областью применения, но создают ее не одновременно с базовым вариантом, а позже, в среднем через 5—6 лет, что и позволяет реализовать последние научно-технические достижения.

Комплексные модификации в довоенный период создавались довольно редко, в основном при разработке военных модификаций гражданских самолетов. Так, при разработке ДБ-240 смешанная конструкция базового самолета «Сталь-7» была заменена на цельнометаллическую и одновременно изменено назначение самолета.

Высокие темпы научно-технического прогресса, возросшая стоимость разработки самолетов и расширение сферы их использования в народном хозяйстве привели к повышению роли этого вида модификаций и сейчас его чаще создают для расширения использования типа самолета в рамке одной и той же системы: транспортной или военной.

Комплексные модификации — это наиболее сложный и трудоемкий вид, поскольку изменения конструкции базового варианта проводят для повышения технического совершенства и с целью применения в новой области вооруженных сил или воздушного транспорта. Эти модификации обычно служат основой для нового семейства модификаций. Так, в начале 1960-х годов под воздействием бурного развития воздушных перевозок возникла потребность в самолетах с пассажировместимостью до 250 человек. Возможности в этом смысле исследовали две фирмы: «Боинг» и «Дуглас». Последняя удлинила фюзеляж самолета DC-8—50 на 11,2 м и увеличила нагрузку в 2 раза, а пассажировместимость — до 259 человек. Фирма «Боинг» не смогла в такой степени удлинить самолет Боинг-707, так как он имел несколько большую стреловидность крыла и выполнял взлет с большим углом атаки, чем DC-8. В случае удлинения возникла бы необходимость увеличения высоты стоек шасси и, следова-

ТАБЛИЦА 7.1. Основные данные модификаций самолета DC-8

Модификация	Дата первого полета	Дата сертификации	Дальность полета *, км	Коммерческая нагрузка, кг	Взлетный вес, т	Основные отличия от предыдущего варианта
DC-8-10	30.05 1958	31.08 1959	6 900	15 585	123,8	Базовый самолет
DC-8-20	29.11 1958	19.01 1960	7 700	15 585	125,2	Новые двигатели JT4A-9 вместо JT3C-6 с увеличенной на 1040 кг тягой
DC-8-30	21.02 1959	01.02 1960	9 600	15 585	142,9	Новые двигатели: JT4A-11, тяга 7945 кг (JT4A-9 — 6160 кг). Увеличена емкость топливных баков
DC-8-40	23.06 1959	24.03 1960	9 800	15 585	142,9	Установлены турбовентиляторные двигатели Роллс-Ройс «Конвей-509»
DC-8-50	20.12 1960	1.05 1961	11 250	15 585	142,9	Установлены турбовентиляторные двигатели JT3D-3, усовершенствована конструкция крыла
DC-8-61	14.03 1966	02.09 1966	11 500**	30 240	147,4	Удлинен фюзеляж на 11,2 м
DC-8-62	29.08 1966	27.04 1967	13 700**	21 470	152,0	По сравнению с DC-8—50 усовершенствована конструкция пилонов и гондол двигателя, увеличены размах крыла на 2,2 м и длина фюзеляжа на 2 м
DC-8-63	10.04 1967	30.06 1967	12 400**	30 719	158,8	Использован фюзеляж DC-8—61, увеличена колея шасси, установлены двигатели JT3D-7 с тягой 8620 кг

* Максимальная дальность без резерва топлива в спокойной атмосфере.

** Без коммерческой нагрузки.

тельно, изменения конструкции центроплана. Это повлияло бы на продолжительность разработки и стоимости модификации, а потому снизило бы конкурентоспособность удлиненной модификации, и фирма отказалась от разработки. Модификация DC-8—61 расширяла область применения DC-8—50, а по техническому уровню они мало отличались. Технические усовершенствования были внедрены на другой модификации — DC-8—62, при создании которой внимание было уделено улучшению аэродинамических характеристик. Была усовершенствована конструкция гондол и пилонов двигателя, увеличены на 2 метра длина фюзеляжа и размах крыла. Следствием аэродинамических улуч-

шений явилось увеличение дальности полета самолета на 12%.

При создании самолета DC-8—63 был использован планер DC-8—61, в который внедрены все технические усовершенствования DC-8—62. Таким образом, фирмой «Дуглас» был использован метод постепенного приближения к созданию комплексной модификации DC-8—63. Все 3 модификации были запущены в серийное производство. В табл. 7.1 показаны основные отличия модификаций.

Примером комплексной модификации более позднего времени может служить самолет А-310. Между пассажировместимостью базового (А-300В) и самолетами первого и второго поколений (ВАС-111, DC-9, Боинг-737) образовался большой разрыв. Для ряда авиалиний потребовался самолет на 200 мест. В связи с этим были разработаны проекты модификаций DC-X—200, L-1011—400, L-100—600, А-310. Общее между ними заключается в следующем: все они являются уменьшенными модификациями ранее созданных широкофюзеляжных самолетов; они проектировались для новой области воздушного транспорта; между вводом в эксплуатацию базовых вариантов и новых модификаций существует большой разрыв во времени (около 10 лет), что позволяет внедрить в них последние научно-технические достижения; цель создания этих модификаций — не повышение производительности, а снижение расхода топлива, уровня шума, массы конструкции.

Европейские фирмы приступили первыми к реализации проекта новой модификации. Основное отличие А-310 от базового А-300В—2 состоит в уменьшении длины фюзеляжа и высоты стоек шасси, в уменьшении коммерческой нагрузки с 30 до 20 т, в создании новой конструкции крыла и пилонов двигателя, изменении конструкции хвостового оперения. Кабина пилотов практически останется прежней, что облегчит подготовку экипажей. Будет сохранено более 50% систем самолета. В оставшиеся будут внесены некоторые изменения для повышения их технического совершенства.

7.2. Модификации эксплуатируемых самолетов

С точки зрения момента времени изменения базового самолета все модификации можно делить на два вида. Первый — внесение изменения конструкции самолета в чертежи с последующим выпуском опытных образцов, проведением летных испытаний и запуском в серийное производство. В данном случае процесс модифицирования аналогичен процессу создания нового изделия. Второй — внесение изменений в конструкцию самолета, находящегося в эксплуатации. В этом случае модифицирование проходит после серийного производства изделия. Каждый самолет модифицируется в отдельности, «поштучно».

Большое число модификаций такого вида было изготовлено уже в начале текущего столетия. Этому способствовали просто-

та конструкции и характер применяемых материалов, прежде всего древесины, которая не обладает однородностью и постоянством механических качеств (что препятствовало применению механизированных методов производства). Изготовление самолетов часто осуществлялось кустарно, в мастерских, воинских частях и т. д. Модификации подвергались отечественные, трофейные и импортные самолеты, а иногда и самолеты, потерпевшие аварию. Причины создания подобных модификаций были различны: наличие иного конструкционного материала или двигателей, попытка усовершенствовать летные характеристики самолета и т. п.

Во время первой мировой войны петербургский завод «Акционерное общество воздухоплавания В. А. Лебедева» ремонтировал и модифицировал трофейные самолеты и выпускал их под названием «Лебедь». Поскольку казенная цена за новые, модифицированные или отремонтированные самолеты была одна — 13 700 руб. [16], то это в какой-то степени стимулировало создание модификаций трофейных самолетов.

Во время первой и второй войн некоторые самолеты модифицировались в строевых частях, и после получения положительного результата такая модификация запускалась в серийное производство. Первые 4 самолета «Илья Муромец», как уже отмечалось, были гражданского назначения. После начала войны их модифицировали в военные и успешно применяли в качестве разведчиков и бомбардировщиков.

В 1916 г. подпоручик П. Иванов в своей строевой части модифицировал самолет «Вуазен» и получил более высокие характеристики (см. раздел 5.1).

Во время второй мировой войны весьма эффективно применялся У-2 (По-2) в качестве легкого ночного бомбардировщика. Эти самолеты модифицировали «поштучно» в строевых частях. «Под фюзеляжем и нижним крылом устанавливали держатели для бомб, а около заднего сиденья крепили пулемет ШКАС. Первоначально не было и стандартных конструкций, было много изобретательства, много решений, подсказанных практикой решений. . . С 1942 года самолеты У-2 ВС (военный самолет) представлялись в заводском исполнении» [17].

И первые самолеты Ил-2 в двухместном варианте были сделаны в строевых частях. Один из боевых летчиков писал: «Вскоре мы получили разрешение переоборудовать своими силами один самолет Ил-2 в двухместный. Добровольцы из технического состава соорудили заднюю кабину на самолете. В самодельную кабину опустили (в качестве сидения) ящик из-под макарон. На него набили ребра для прочности и сделали вырезы для тросов руля поворота. Прикрутили пулемет телефонным проводом к лодочной уключине, которую закрепили в отверстии на фюзеляже. Получилось рабочее место воздушного стрелка, который мог защищать самолет от атак вражеских истребителей сзади. Потом проводились экспериментальные боевые вылеты на двухместном

штурмовике с самодельной задней кабиной. И каждый такой полет приносил новые подтверждения необходимости иметь на самолете воздушного стрелка» [24].

Патриотизм советских летчиков, стремление максимально повысить боевую эффективность самолетов — основная причина появления этого вида модификаций. Положительные результаты применения непосредственно в боевых условиях послужили предпосылкой для последующего запуска в серийное производство. Что касается Ил-2, то он был задуман первоначально двухместным. Серийное производство его в одноместном варианте было ошибкой, которая была признана и исправлена.

Особенно крупные масштабы послевоенного модифицирования имели место в послевоенное время. На базе военных самолетов создавались гражданские модификации, о чем подробно рассказано выше. Необходимость применения значительного количества самолетов, изготовленных в военные годы, побуждала использовать их в транспортных организациях.

В гражданские варианты переоборудовались и военные самолеты, списываемые из ВВС с появлением более совершенной техники. Влияние закона морального старения на масштабы «поштучной» модификации особенно сильно проявилось в межвоенное время, когда многие самолеты переоборудовались в гражданские варианты задолго до физического износа, что позволяло использовать их в системе воздушного транспорта. Например, модифицировались в гражданские варианты (в скобках обозначение гражданских модификаций) разведчики Р-5 (ПР-5, П-5, П-5А) и Р-6 (МП-6, ПС-7).

Процесс модифицирования «поштучным» методом обычно происходит после продолжительного времени эксплуатации базового самолета. Но, как показывает история авиации, изменения в конструкцию самолета иногда вносят непосредственно после выхода изделия с поточной линии. Во время второй мировой войны в США пришли к заключению, что создание новых модификаций, требуемых в небольших количествах, лучше проводить именно «поштучным» методом, который позволял сохранять высокие темпы крупносерийного производства базового самолета, а наличие квалифицированной рабочей силы позволяло производить требуемое количество модификаций в сжатые сроки.

В Англии в аналогичных условиях изменения конструкции вносили в чертежи, и модификации выпускали одновременно с базовым самолетом.

Масштабы «поштучной» модификации значительно возросли на современном этапе. Например, в 1975—1977 гг. для продления срока службы были модифицированы 80 самолетов В-52D: заменены верхние и нижние панели крыла и боковая обшивка фюзеляжа, усовершенствованы подкрылки и пилоны двигателей, усилено остекление пилотской кабины. Ввиду решения оставить на вооружении ВВС часть парка бомбардировщиков до конца текущего столетия, возникла необходимость в дополнительном

модифицировании самолетов. Изменение конструкции проходит по двум основным направлениям: повышение общетехнического ресурса самолетов (замена обшивки части планера, усиление конструкции и т. д.) и повышение технического уровня самолетов (установка современного электронного оборудования, модернизация ряда систем). Стоимость модификации одного самолета составляет примерно 11 млн. долл., а планируемая стоимость одного В-1 составляла более 60 млн. долл. *

Возросшие сроки службы современных самолетов и высокие темпы технического прогресса в авиастроении предопределяют необходимость регулярной модернизации эксплуатационных изделий «поштучным» методом. Многие зарубежные военные реактивные самолеты выпуска 50-х годов, стоявшие на вооружении в 70-х годах, подвергались модифицированию с целью повышения технического совершенства и продления общетехнического ресурса [33—36].

Многие военные самолеты были модифицированы для использования в иной области. Так, в 1960—1963 гг. американской фирмой «Норт Американ» было изготовлено 55 бомбардировщиков А-5С а в 1965—1968 гг. они были модифицированы в разведчики RA-5С.

В этот же период в Великобритании возникла потребность в новом топливозаправщике. Высокая стоимость разработки и малый заказ (9 самолетов) исключили возможность создания нового самолета. Были модифицированы находящиеся в эксплуатации транспортные самолеты VC-10.

Самолет военного времени — истребитель Р-51 «Мустанг» в 60-х годах был модифицирован в фешенебельный двухместный самолет личного пользования.

В современных условиях возможности модификаций военных самолетов в гражданские весьма ограничены, что, по-видимому, является причиной увеличения модификаций эксплуатируемых военных самолетов с последующим их использованием в системе вооруженных сил. С ростом стоимости разработки самолетов усиливается стремление использовать авиационную технику до предельных возможностей, а боевую эффективность поддерживать регулярным созданием новых модификаций.

* По курсу доллара на середину 1970-х годов.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

ВЛИЯНИЕ МОДИФИКАЦИЙ НА РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

8.1. Увеличение продолжительности жизненного цикла самолета

Усложнение самолетов и расширение области их применения, с одной стороны, и увеличение стоимости их разработки, с другой, обострили проблему повышения морального срока их службы. Ни одна страна в мире не в состоянии одновременно обновлять весь парк самолетов (военных или гражданских). Финансовые и научно-технические ресурсы обычно направляются на создание таких новых типов самолетов, потребность в которых наиболее велика и ввод в эксплуатацию которых в большей степени способствует повышению эффективности всей системы воздушного транспорта или ВВС. Самолеты других классов модифицируют в соответствии с требованиями сложившейся ситуации, т. е. модификации влияют на продление жизненного цикла типа самолета.

Сущность концепции жизненного цикла состоит в том, что любое изделие с момента формирования его технического облика до снятия с эксплуатации проходит через три периода: создание машины; серийное производство и реализация на рынке (рыночный ЖЦ); время с момента снятия машины с серийного производства до снятия с эксплуатации.

В современной научно-технической и экономической литературе часто отмечают возросшие темпы обновления продукции в машиностроительных отраслях промышленности зарубежных стран, в том числе и авиационной. «Если пассажирский самолет довоенного выпуска DC-3 устарел через 15—18 лет, то послевоенный «Локхид-констелейш» — через 7 лет, «Локхид-суперконстелейш» — через 4—5 лет, английский турбореактивный Комета-4б, выпущенный в 1959 г., начал сниматься с линии в 1963 г.»*. В американской литературе отмечают, что «основным пассажирским самолетом США на протяжении 15 лет (1940—1955) был DC-3. Однако более совершенная модель — DC-7 устарела в течение 5 лет»**.

Более тщательный анализ авиастроительной отрасли показывает обратную тенденцию. Если в 1910-х годах лучшие образцы

* Курина Е. Воздушный транспорт капиталистического мира. — МЭМО, 1974, № 6, с. 120.

** Corporate strategy and Product Innovation. N. Y., 1976, p. 29.

ТАБЛИЦА 8.1. Продолжительность серийного производства основных типов зарубежных магистральных самолетов *

Тип самолета	Фирма	Год ввода в эксплуатацию	Год последней поставки	Общее количество поставленных самолетов	Продолжительность производства, годы
Боинг-707 (реактивный)	«Боинг»	1958	1980**	881	23
F-27 *** (турбовинтовой)	«Фоккер»	1958	1980**	682	23
НС-748 (турбовинтовой)	«Хоукер Сиддли»	1962	1980**	330	19
Боинг-727 (реактивный)	«Боинг»	1964	1980**	1 686	17
«Трайидент» (реактивный)	«Хоукер Сиддли»	1964	1980**	117	16
ДС-9 (реактивный)	«Макдонелл—Дуглас»	1965	1980**	915	16
ВАС-111 (реактивный)	БАҚ	1965	1980**	230	16
«Каравелла» (реактивный)	«Аэропассажь»	1959	1973	280	15
ДС-3 (поршневой)	«Дуглас»	1936	1950	10 993 ****	15
ДС-8 (реактивный)	«Макдонелл—Дуглас»	1959	1972	556	14
Боинг-737 (реактивный)	«Боинг»	1968	1980**	686	13
«Констелейшн» (поршневой)	«Локхид»	1947	1959	508	13
ДС-6 «Вайкаунт» (турбовинтовой)	«Дуглас» «Виккерс»	1947 1953	1958 1964	603 438	12 12
P-28 (реактивный)	«Фоккер»	1968	1980**	170	12
Боинг-747 (реактивный)	«Боинг»	1970	1980**	478	11
ДС-10 (реактивный)	«Макдонелл—Дуглас»	1971	1980**		10

* Приведены самолеты, продолжительность серийного производства которых более 10 лет.

** Самолеты, находящиеся в серийном производстве в конце декабря 1980 г.

*** Учтены самолеты F-227, построенные по лицензии фирмой «Ферчайлд» (США).

**** Включая военно-транспортные самолеты.

летательных аппаратов находились в серийном производстве около 5 лет, в 30-х и 40-х годах — около 10 лет, то современные реактивные самолеты ориентированы на серийное производство в течение 20 и более лет.

В качестве примера в табл. 8.1 приведены поршневые и реактивные магистральные самолеты, находившиеся в серийном производстве более 10 лет. Основная часть этих самолетов создана на современном этапе. Аналогичная тенденция наблюдается и в военном авиационном строении. Так, около 20 лет в серийном производстве находится военно-транспортный самолет С-130 и истребитель F-4 «Фантом» (США).

Влияние совершенства базового самолета на продление жизненного цикла (ЖЦ). Как показывает история авиации, успешная реализация модификаций, как правило, возможна при условии массового сбыта базового самолета. В данном случае действует система обратных связей: базовый самолет способствует успешной реализации модификации, что в свою очередь способствует повышению серийности производства типа самолета и увеличению его ЖЦ. Успешная реализация на рынке базового самолета позволяет создать положительную репутацию среди покупателей о данном изделии и фирме-изготовителе*. Рыночный ЖЦ можно разделить на четыре этапа: внедрение, рост, «зрелость» и спад спроса на данный тип самолета. Наибольший объем спроса на новую технику — на этапе «зрелости». К этому времени наивысших пределов достигает и серийность производства. Спад спроса обычно вызван моральным старением самолета.

Спрос на базовый самолет во многом зависит от появления принципиально новой конструкции. Так, в начале 1930-х годов истребители-бипланы обладали пределом технического совершенства. Их быстрое моральное старение наступило с появлением скоростных монопланов. Точно так же появление в конце 1940-х годов реактивных самолетов, резко сократило ЖЦ поршневых истребителей и бомбардировщиков — монопланов. Таким образом, массовый сбыт базового самолета во многом определяется его способностью конкурировать с аналогичными или близкими по назначению существующими или новыми самолетами в удовлетворении потребности покупателя (заказчика). В начале становления авиационной техники конкурентоспособность в основном определялась техническим совершенством изделия. Так, по данным В. Б. Шаврова в 1910-х годах до 30% создаваемых в России самолетов прекращали свое существование во время или после попытки совершения первого полета [16].

На конкурентоспособность современной авиационной техники, оказывает влияние комплекс факторов (см. рис. 8.1).

Фактор технического совершенства. Для каждого периода истории авиации характерно наличие определенного набора пока-

* За рубежом репутация изделия или фирмы-изготовителя среди покупателей обозначается термином «имидж» (англ. — image). Создание «имиджа» изделия или фирмы-изготовителя — длительный процесс и связан с качеством изделия, рекламой, послепродажным обслуживанием и т. д. Так, высокой репутацией в свое время пользовались за рубежом поршневые самолеты фирмы «Дуглас», в настоящее время — магистральные самолеты фирмы «Боинг».

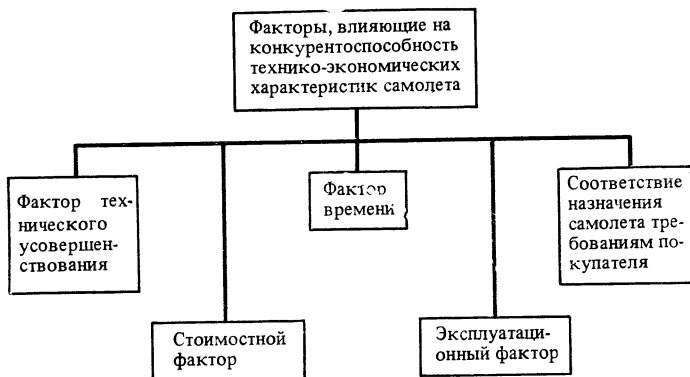


РИС. 8.1. Основные факторы, влияющие на конкурентоспособность технико-экономических характеристик самолета

зателей, который определяет технический облик самолета. Например, в начале развития авиации к таким показателям в первую очередь относили безопасность полета, устойчивость и управляемость самолета, в 1930—1950-х — скорость, дальность полета, грузоподъемность, со второй половины 1970-х годов — топливную эффективность и уровень шума.

Под воздействием топливного кризиса и роста цен расходы на топливо в процессе эксплуатации самолетов постоянно увеличиваются. В связи с этим, фирмы, работающие над созданием новых типов самолетов, главное внимание уделяют сокращению массы конструкции путем использования прогрессивных конструкционных материалов (новые алюминиевые сплавы повышенной прочности и стойкости к коррозии, титановые сплавы, композиционные материалы), совершенствованию аэродинамической компоновки, сокращению удельного расхода топлива двигателями, внедрению элементов активного управления самолетом, использованию бортовых мини-ЭВМ. Последнее позволяет постоянно обрабатывать информацию об условиях полета и выбирать оптимальный с точки зрения расхода топлива режим полета.

Снижение уровня шума достигается установкой новых двигателей с высокой степенью двухконтурности, которые благодаря своим конструктивным особенностям создают более низкий уровень шума, чем двигатели предшествующих поколений.

Разработаны и новые звукопоглощающие материалы, которые по своей эффективности в два раза превосходят материалы, устанавливаемые на самолетах 1960-х годов.

Соответствие назначения самолета требованиям покупателей. В современных условиях создание самолета с высоким техническим уровнем, который не полностью реализуется в процессе эксплуатации, имеет такие же отрицательные последствия на коммерческий успех, как и создание самолета с низким уровнем

технического совершенства. Сказываются излишние затраты на НИОКР и производство. Один из основных способов решения этой проблемы — обеспечение соответствия назначения самолета требованиям заказчиков. При создании магистральных самолетов это означает обеспечение соответствия пассажировместимости (грузоподъемности), дальности полета и взлетно-посадочных характеристик требованиям авиакомпаний-покупателей. Именно эти характеристики в основном определяют конфигурацию самолета и технические параметры его функциональных систем. В разделе 6.2 отмечались положительные и отрицательные стороны самолета с большой и малой пассажировместимостью и дальностью полета (рис. 6.2 и 6.3). С вводом в эксплуатацию широкофюзеляжных самолетов проблема обеспечения соответствия назначения машины требованиям заказчиков обострилась еще в большей степени. Так, самолет с меньшей расчетной дальностью при прочих равных условиях имеет следующие преимущества:

- выше доля массы коммерческой нагрузки во взлетной массе,

- ниже цена;

- ниже уровень аэропортовых сборов, в частности, посадочных и стояночных, которые устанавливают в зависимости от взлетной массы.

Так, взлетная масса ближнемагистрального широкофюзеляжного самолета А-300В2 на 14 т меньше взлетной массы дальнемагистрального самолета Боинг-707-320, но пассажировместимость первого на 110 чел. больше. При использовании этих типов самолетов на коротких рейсах А-300В2 имеет неоспоримые преимущества перед указанным дальнемагистральным самолетом. С другой стороны при использовании этих самолетов на протяженных авиалиниях преимущества А-300В2 сводятся более чем на нет, поскольку он вынужден делать промежуточные посадки.

Существенное влияние на конкурентоспособность самолета оказывает соответствие взлетно-посадочных характеристик самолета характеристикам аэродромов. Если эти характеристики самолета будут занижены, то не исключена возможность эксплуатации при ограниченных коммерческой нагрузке и запасе топлива. В обратном случае конкурентоспособность самолета снижается ввиду завышенной цены, более высоких расходов топлива на взлетном режиме и т. д.

Обеспечение соответствия назначения самолета требованиям заказчиков в основном достигается тщательным исследованием потребностей потенциальных покупателей и характеристик аэродромов.

Фактор времени. Сущность этого фактора проявляется, во-первых, в своевременности создания изделия. История авиационной техники показывает, что некоторые типы самолетов не пользовались популярностью среди заказчиков по той причине, что

появились или раньше времени (самолет DC-4E), или позже (VC-10).

Во-вторых, в продолжительности материализации проекта. Чем длительнее стадия материализации проекта, тем сильнее сказывается действие закона морального старения, тем ниже конкурентоспособность самолета. С целью сокращения этой стадии авиастроительные фирмы все шире используют достижения науки и техники при выполнении НИОКР, в частности:

- проводятся продувки моделей самолета в аэродинамических трубах. Так, по широкофюзеляжным самолетам США объем продувок составляет 15—20 тыс. час, причем около 55% объема продувок было выполнено до принятия решения о рабочем проектировании. Для сравнения можно отметить, что объем продувок моделей самолета DC-3 (1936 г.) составил 100 час;

- используются автоматизированные системы проектирования на основе ЭВМ;

- проводятся лабораторные испытания систем и элементов конструкции самолета;

- используются прогрессивные методы летных испытаний с целью получения сертификата летной годности в относительно короткие сроки.

В результате проведения указанных мероприятий сроки создания последних типов самолетов несмотря на повышение сложности их конструкций несколько сократились по сравнению с первым поколением реактивных магистральных самолетов.

Стоимостный фактор. До 1970-х годов рост стоимости новых типов самолетов в основном был связан со стремлением фирм использовать в своих изделиях последние достижения науки и техники и изготовить их в минимально короткие сроки. С 1970-х годов в капиталистических странах на рост стоимости машин значительное влияние стали оказывать и резко возросшие темпы инфляции. При проектировании новых типов самолетов сначала в США, а затем и в Западной Европе в 1970-х годах стали использовать принцип «проектирования в пределах заданной стоимости», который способствует снижению издержек производства летательных аппаратов. Теперь в начальной стадии разработки самолетов ставят цель обеспечить создание единицы изделия в пределах заданной стоимости. Могут быть заданы издержки производства, общие расходы в течение жизненного цикла изделия (издержки производства и расходы на эксплуатацию) и программные расходы (общие расходы и расходы, связанные с разработкой изделия). Отправным пунктом для прогнозирования стоимости и управления ею в процессе разработки и производства является конструкция самолета. Сейчас при проектировании изделия конструктору многих фирм задают не только требуемые рабочие характеристики и массу детали, но также стоимость изготовления и число комплектующих деталей. Авиастроительные фирмы отрабатывают технику конструирования изделий с наименьшим числом комплектующих деталей: объединением

двух деталей в одну без усложнения при этом конструкции, применением отбортовки вместо элементов жесткости и т. д. Снижают издержки производства такие мероприятия, как устранение излишних требований к конструкции изделий или создание изделия такой конструкции, которая позволяет использовать прогрессивную технологию, более дешевый материал или заменить в процессе производства квалифицированный труд более простым.

С целью снижения издержек производства в конструкции новых типов самолетов часто используют элементы (крыло, хвостовое оперение, части фюзеляжа и т. д.) предшествующих типов самолетов. Такие мероприятия проводились и ранее, еще в 1910—1920-х годах, но делалось это с целью повышения безопасности полетов самолета, а на современном этапе — с целью сокращения расходов на проектирование и производство.

Эксплуатационный фактор. Конкурентоспособность самолета во многом предопределяется эксплуатационными свойствами его конструкции. Эти свойства характеризуют возможность высокоэффективной эксплуатации самолета при относительно низкой стоимости техобслуживания с одновременным обеспечением безопасности полетов. О потенциальных возможностях этого фактора в конкурентной борьбе можно судить по распределению общих затрат на создание и эксплуатацию самолета. Так, по широкофюзеляжным самолетам распределение затрат в течение ЖЦ выглядит примерно следующим образом: доля затрат на НИОКР и летные испытания составляет 2%, доля затрат на оснастку и оборудование — 3,5%, на производство самолета — 24,5%, прямые эксплуатационные расходы — 70%*. Эксплуатационные свойства конструкции самолетов во многом характеризуются ее эксплуатационной технологичностью и надежностью.

Конструкция с высокой эксплуатационной технологичностью позволяет проводить весь комплекс техобслуживания в период эксплуатации в сжатые сроки с наименьшими расходами на запчасти, наземное оборудование и контрольно-поверочную аппаратуру при средней квалификации обслуживающего персонала. Высокий уровень эксплуатационной технологичности достигается повышением доступности к основным (с точки зрения эксплуатации) агрегатам и узлам, повышением их ремонтно- и контролепригодности, взаимозаменяемости и т. д.

Повышение надежности в основном связано с проведением работ, имеющих следующие направления:

- увеличение статической и усталостной прочности силовой конструкции;
- предотвращение коррозии металлов;
- использование при проектировании принципа «безопасного разрушения конструкции»;
- многократное резервирование агрегатов и систем самолета;

* Партия в 450 самолетов. Срок службы 12 лет, годовой налет 3200 час.

— создание встроенных устройств по контролю состояния агрегатов и систем самолета;

— обеспечение высокой наработки на отказ изделий, поставляемых субпоставщиками.

В результате указанных работ интервалы между техническими проверками широкофюзеляжных самолетов как по легким, так и по тяжелым формам увеличились в 4 раза по сравнению с интервалами реактивных самолетов первого поколения.

Влияние усовершенствованных модификаций на продление жизненного цикла. Технически усовершенствованные модификации используют для продления жизненного цикла самолетов с начала становления авиации, но масштабы использования этих модификаций в первые годы развития авиационной техники были ограничены. Так, самолет «Илья Муромец» несмотря на ряд последовательно проведенных модификаций находился в серийном производстве 5 лет. Правда, для 1910-х годов это было большим достижением. Быстрое старение конструкции базового самолета не позволило существенно продлить жизненный цикл самолета посредством последовательного выпуска модификаций. В подобных условиях разработчики, как правило, еще до падения спроса на самолет готовили к выпуску новое изделие, что давало возможность совершенствовать технику создания машин и сохранять позиции в выбранной ими области авиастроения. На рис. 8.2 показана господствующая схема создания самолетов в 1919—1930-х годах.

Роль модификаций для продления жизненного цикла самолетов резко возросла во время второй мировой войны. В этот период схема развития большинства самолетов выглядела по-иному (рис. 8.2). Период «зрелости» увеличивался посредством регулярного создания технически усовершенствованных модификаций, благодаря чему возросла и продолжительность серийного производства некоторых боевых самолетов. Например, самолет Ме-109 находился в серийном производстве около 10 лет.

В послевоенные годы происходило быстрое развитие реактивной техники; на смену одному типу самолета через относительно короткие периоды времени приходил другой, более совершенный, с более высокой скоростью полета. Примером могут служить МиГ-9, МиГ-15, МиГ-17, МиГ-19, МиГ-21. Схема развития авиационной техники стала примерно такой, как на рис. 8.3.

С 1960-х годов темпы создания новых типов самолетов сократились, и возросло влияние технически усовершенствованных модификаций на продление жизненного цикла изделий, что видно на примере военно-транспортного турбовинтового самолета С-130. Этот самолет, поступивший на вооружение ВВС США в 1956 г., был самым тяжелым военно-транспортным са-

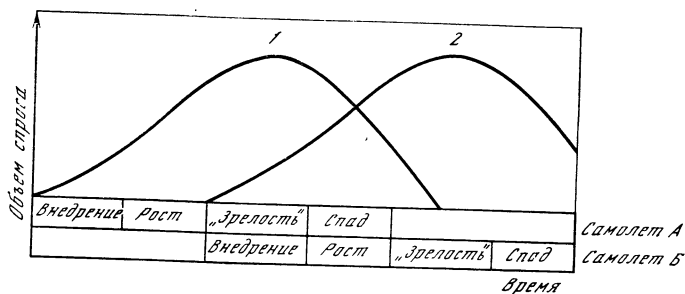


РИС. 8.2. Основной принцип развития авиационной техники в 1919—1930 гг.

1 — самолет А; 2 — самолет Б

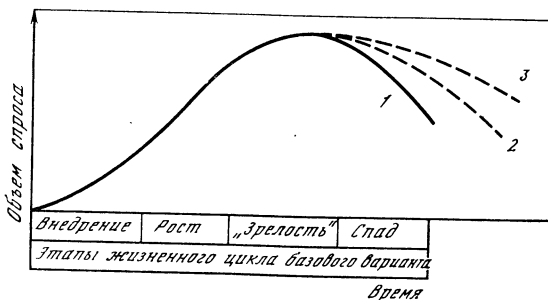


РИС. 8.3. Основной принцип развития авиационной техники на современном этапе

1 — базовый вариант; 2 — модификация А; 3 — модификация Б

молетом того времени. Причина создания первых модификаций — стремление сохранить его стратегическое назначение. С вводом в эксплуатацию каждой новой модификации возрастала взлетная масса, грузоподъемность, скорость и дальность полета самолета. В результате третья модификация (С-130Е) превосходила базовый вариант (С-130 А) по взлетной массе на 30%, скорости и дальности полета соответственно — на 4,5 и 33%.

Во второй половине 60-х годов роль стратегических транспортных самолетов отошла к более тяжелым турбореактивным машинам С-141А и С-5А, но серийное производство С-130 не прекратилось. Его стали использовать как тактическую военнотранспортную машину. В дальнейшем его совершенствование проходило (и, вероятно, будет проходить в 80-х годах) именно как самолета тактического назначения. Самолет С-5А почти в 5 раз превосходит С-130Е по взлетной массе и на 46% в скорости. В предшествующие годы в аналогичных ситуациях обычно прекращали серийное производство изделия более раннего выпуска. Однако сейчас значительно расширилась потребность в авиационной технике, что позволяет использовать технически усовершенствованные модификации ранее выпущенных самолетов в такой области, в которой они скорее дополняют новую технику, чем конкурируют с ней.

Аналогичное явление наблюдается и в гражданском авиационном строении. Например, производство магистральных реактивных самолетов первых поколений (Боинг-707, Боинг-727) сохрани-

лось и при появлении широкофюзеляжных воздушных лайнеров, которые снизили эксплуатационные расходы (ПЭР) на 28—33%. Они, кроме того, позволили уменьшить уровень шума в районе аэропортов, сократить частоту движения в зоне основных аэропортов, повысить комфорт пассажирских салонов.

Все это привело к массовому производству широкофюзеляжных самолетов и к разработке на их основе большого числа модификаций, и в то же время в 1970-х годах продолжалось серийное производство модификаций турбореактивных самолетов первых поколений (Боинг-707, 727, 737; DC-9).

Успех этих модификаций был предопределен эволюцией сети воздушных авиалиний, достигнутой к началу 70-х годов. В современных условиях они дополняют широкофюзеляжные самолеты. Имеются маршруты между небольшими городами, на которых рентабельнее использовать узкофюзеляжные (менее пассажироёмкие) самолеты. При относительно высоких темпах роста объема воздушных перевозок плотность пассажиропотока между такими городами сейчас стала соответствовать пассажироместимости турбореактивных самолетов первого поколения.

Концепция «ориентация на аэропорты второго уровня» особенно стала популярной в 70-х годах у европейских чартерных авиакомпаний среднего уровня. Крупнейшие чартерные линии, введя в эксплуатацию широкофюзеляжные самолеты и используя их в туристском варианте с высоким коэффициентом пассажирозагрузки, смогли значительно сократить стоимость проезда. В ответ на это чартерные авиакомпании более низкого ранга стали ориентироваться на промышленные города с ВПП аэродромов второго уровня, обеспечивая туристам прямые маршруты в курортные центры. Эти авиакомпании стали приобретать неширокофюзеляжные самолеты с повышенной дальностью полета и с улучшенными взлетно-посадочными характеристиками. Ввод маршрутов, связывающих напрямую два города, все шире внедряется в практическую деятельность и регулярных авиакомпаний. Усовершенствование узкофюзеляжных самолетов Боинг-707, Боинг-727, DC-9 проходило в двух направлениях. Первое отражало обычную тенденцию модификаций гражданской авиационной техники: снижение уровня расхода топлива, уровня шума, интенсивности дымления двигателей, увеличение пассажироместимости. Второе было связано с улучшением взлетно-посадочных характеристик и увеличением дальности полета самолета. И то, и другое позволяло успешно продолжать производство этих машин, которое, как предполагают, будет продолжаться и в первой половине 80-х годов.

Влияние модификаций, отличающихся от базового самолета новой областью применения, на продление жизненного цикла самолета. На современном этапе многие модификации создаются практически одновременно с базовым самолетом, а продолжительность их серий-

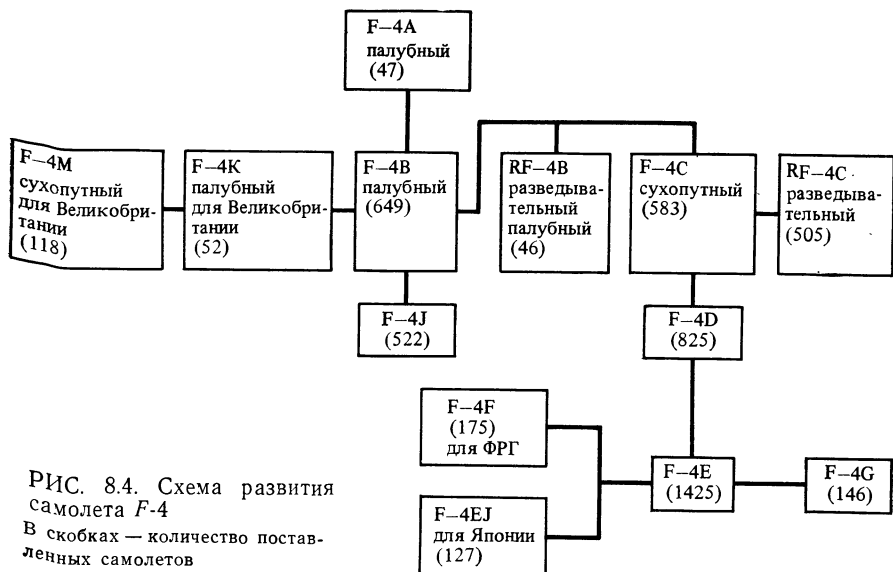


РИС. 8.4. Схема развития самолета F-4
В скобках — количество поставленных самолетов

ного производства дает возможность регулярного усовершенствования в соответствии с требованиями современной ситуации. В качестве примера на рис. 8.4. показана схема развития самолета F-4, находящегося в серийном производстве более 20 лет. По горизонтали показаны модификации, рассчитанные на различные области применения в системе вооруженных сил США, а также модификации, созданные в соответствии с требованиями стран-импортеров; по вертикали — технически усовершенствованные модификации. По аналогичной схеме происходит развитие и большинства современных гражданских самолетов. Например, фирма «Боинг» практически одновременно создала три варианта самолета Боинг-707: Боинг-707 — 120, Боинг-707 — 320, Боинг-720. В 60-х годах все они были технически усовершенствованы. Наиболее жизнеспособным вариантом оказался Боинг-707 — 320, серийное производство которого будет продолжаться и в 80-х годах.

Выше было отмечено, что на моральный срок службы типа самолета в значительной степени влияет конкурентоспособность базового самолета, которая во многом зависела и от соответствия его назначения требованиям основных заказчиков. Одновременное создание нескольких вариантов самолета повышает вероятность его массового сбыта, что в значительной степени увеличивает продолжительность жизненного цикла изделия. В частности, самолет А-300В-1 (первый по порядку) является базовым вариантом европейского аэробуса, был создан всего в двух экземплярах. Основной объем продаж приходится на модификации А-300В-2 и А-300В-4. Первоначально совре-

менные модификации отличались от базового самолета или дальностью полета, или дальностью полета и пассажировместимостью. Иногда модификации второй половины 70-х годов отличались только пассажировместимостью. Например, самолеты Боинг-767—100 и Боинг-767—200 имеют одинаковую дальность полета (3 700 км), а их пассажировместимость соответственно рассчитана на 175 и 197 мест, у самолетов А-200А-2 и А-200В-2 дальность полета составляет 4 000 км, а пассажировместимость — соответственно 130 и 160 мест. Появление такой разновидности модификаций вызвано эволюцией развития воздушных перевозок и возросшей дифференциацией транспортных организаций.

В 20—30-х годах транспортные организации в целом предъявляли примерно одинаковые требования к пассажировместимости и дальности полета, поскольку воздушный транспорт находился на этапе становления. Различия в объемах перевозок отдельных авиакомпаний в основном были связаны с количеством эксплуатируемых летательных аппаратов. В 70-х годах примерно 400 авиакомпаний выполняли основной объем регулярных воздушных перевозок за рубежом, но на долю 20 крупнейших транспортных организаций приходилось около 65% общего объема перевозок. Все эти 20 транспортных организаций принадлежат промышленно развитым странам, а именно они обычно являются первыми заказчиками новых самолетов. Парк самолетов этих авиакомпаний (авиакомпаний — транспортных монополий) отличается от парка самолетов остальных авиакомпаний не только количеством машин, но и их новизной и провозной способностью. Этап «внедрения» (рис. 8.3), как правило, связан с вводом нового летательного аппарата на наиболее интенсивных трассах (для данного типа самолета) авиатранспортных монополий.

Из-за постоянного роста объема воздушных перевозок через определенный период времени (3—5 лет) становится рентабельным вводить новый самолет на авиалиниях со средним уровнем плотности пассажиропотока. Но «через этот определенный период» могут появиться новые самолеты или модификации фирм-конкурентов, что приведет к сокращению серийного производства самолета данной фирмы. Поэтому разработчики магистральных воздушных лайнеров стали предлагать транспортным организациям варианты с различной пассажировместимостью. Вариант с большей пассажировместимостью предназначен для наиболее интенсивных (по плотности пассажиропотока) авиалиний крупнейших транспортных организаций, с меньшей — для менее интенсивных авиалиний этих же организаций и основных авиалиний транспортных организаций среднего уровня. Обычно вариант с большей пассажировместимостью планируют и для последующего «удлинения», что позволяет удовлетворить перспективные требования. В частности, удлиненный вариант Боинг-767 — 200 рассчитан на 250 пассажиров, а его ввод в эк-

сплуатацию намечается примерно через 4 года после ввода базового варианта.

Таким образом, за годы развития авиационной техники произошли существенные изменения в использовании модификаций рассматриваемого вида для увеличения серийности производства и продолжительности жизненного цикла самолетов. В первые годы авиастроения новые варианты способствовали продлению жизненного цикла типа самолета главным образом путем модифицирования военного самолета в гражданский или гражданского самолета в военный. На современном этапе новые модификации обычно используют в той же системе (вооруженных сил или воздушного транспорта), что и базовый самолет.

Влияние комплексных модификаций и модификаций эксплуатируемых самолетов на продление жизненного цикла летательного аппарата. Комплексные модификации получили распространение в основном на современном этапе, но и этот непродолжительный срок показал большие потенциальные возможности их использования для увеличения жизненного цикла типа самолета. Поскольку по объему конструктивного изменения эти модификации находятся ближе к новому типу самолета, чем остальные виды модификаций, то они имеют и более широкие возможности для своего сбыта. С другой стороны, идентичность конструкций некоторых систем и частей планера модификаций и базового самолета создает предпосылки для сбыта новой модификации традиционным покупателям фирмы. Так, многие покупатели модификации А-310, ввод в эксплуатацию которой намечается в 1983 г., уже используют на авиалиниях самолеты А-300В-2 и А-300В-4. В 80-х годах они планируют более строго специализировать каждую модель под определенную сеть авиалиний. А-310 (как и Боинг-767) имеет наименьшую пассажировместимость среди широкофюзеляжных самолетов. Среди его покупателей есть и авиакомпании, которые впервые приобретают такой тип самолета. В дальнейшем не исключено, что эти авиакомпании перейдут на более вместительные самолеты А-300В-2 и А-300В-4.

Существенное значение для продления жизненного цикла типа самолета имеет и «поштучная» модификация летательных аппаратов. В разделе 7.2 показаны основные разновидности этих модификаций. На продление жизненного цикла в основном влияет модифицирование самолетов, снятых с серийного производства. Модифицирование проводят с целью технического усовершенствования самолета или с целью использовать его в новой области.

Практика показывает, что наибольшее влияние на продление жизненного цикла самолета оказывает установка более совершенного двигателя. В частности, в 60-х годах фирмы «Дженерал Дайнемикс» и «Роллс-Ройс» модифицировали самолеты «Конвер-240» и «Конвер-340/440». Все изменения конструкции в

основном были связаны с заменой поршневых двигателей на турбовинтовые. Модификации Конвер-600 и Конвер-640 были введены в эксплуатацию в конце 1965 г. Как планируют авиакомпания, эксплуатирующие самолеты DC-8—60, установка нового двигателя CFM-56 позволит продлить жизненный цикл этих самолетов по крайней мере на 10 лет.

Ввод новых технически совершенных типов самолетов обычно приводит к досрочному моральному старению ранее выпущенных летательных аппаратов, которые впоследствии модифицируются под новую область применения. За рубежом создан ряд компаний по модифицированию таких самолетов. В частности, компания «Локхид Эракraft Сервис» в 60-х годах модифицировала пассажирские поршневые самолеты («Констеллейшн», «Конвер», DC-7) в конвертируемые и грузовые. Среди покупателей модификаций была такая крупная транспортная компания как «Пан-Америкен». Модификации в основном используют на малоинтенсивных специальных грузовых авиалиниях, на которых нерентабельно эксплуатировать широкофюзеляжные машины.

Проведенный анализ позволяет построить модель создания самолетов в 80-х и последующих годах:

- создание базового самолета с высоким уровнем конкурентоспособности, что позволяет занять лидирующее положение среди существующих и новых типов самолетов фирм-конкурентов;

- создание через короткие интервалы времени модификаций с более узкой специализацией, чем базовый самолет, или модификаций, ориентированных на новые области применения, что позволяет повысить серийность производства типа самолета;

- создание ряда последовательных (в среднем через 3—5 лет) технически усовершенствованных модификаций с целью удержания лидирующего положения в той области применения, для которой был создан базовый самолет или ранее выпущенные модификации;

- создание комплексных модификаций с целью попытки завоевания лидирующего положения в новой области применения данного типа самолета;

- проведение ряда последовательных технических усовершенствований моделей самолета с целью их эффективного использования в новых условиях, в которых они будут дополнять новые типы самолетов;

- проведение «поштучной» модификации (после прекращения серийного производства) для поддержания технического уровня самолетов или их использования в новой области применения с целью формирования спроса на новые типы летательных аппаратов.

На основе того же анализа можно заключить, что современные широкофюзеляжные самолеты возможно будут находиться в серийном производстве более 20 лет, а продолжительность их жизненного цикла составит не менее 40 лет.

8.2. Удовлетворение потребности в новых самолетах

В истории развития авиационной техники нередко периоды, когда вооруженные силы или транспортные организации испытывают острую потребность в технически усовершенствованных летательных аппаратах или в аппаратах, назначение которых существенно отличается от назначения самолетов, выпускаемых промышленностью. Во время войны она была вызвана необходимостью быстрого наращивания военной мощи. Создание модификаций — одно из основных средств удовлетворения такой потребности. Многие гражданские самолеты, особенно самолеты с высоким техническим уровнем, модифицировались в боевые машины (см. раздел 6.4). Война во Вьетнаме показала руководству ВВС США слабую подготовку штурманов военной авиации, в связи с чем был создан тренировочный самолет Т-43А (модификация гражданского Боинг-737) [35]. Но необходимость быстрого удовлетворения потребности заказчиков в летательных аппаратах нового назначения возникает и в мирное время. В военной авиации это обычно связано с целью нейтрализации нового вида техники у предполагаемого противника или вызвано какими-либо совершившимися событиями. Например, быстрое наращивание атомного подводного флота привело к созданию специальных противолодочных самолетов. В США и Англии такие самолеты являются модификациями гражданских самолетов.

В отмеченных и ряде других случаев создание модификаций позволило удовлетворять потребности вооруженных сил быстрее и экономичнее, чем при создании нового самолета.

Сегодня модификации — эффективное средство быстрого удовлетворения новых потребностей покупателей и гражданской авиационной техники, что особенно характерно для капиталистических стран. Современный высокопроизводительный самолет более чувствителен к конъюнктурным колебаниям капиталистической экономики, чем самолеты предшествующих лет. Усиление роли модификаций вызвано и тем, что сейчас повысилась их конкурентоспособность по отношению к новым типам самолетов.

На это оказывает влияние тот же комплекс факторов, что и при создании нового типа самолета (рис. 8. 1), но проявляются эти факторы в ином плане.

Фактор технического совершенства. В первой половине 70-х годов, как показала практика, между ближне-, средне- и дальнемагистральными широкофюзеляжными самолетами, с одной стороны, и аналогичными по назначению узкофюзеляжными

самолетами, с другой, образовался большой разрыв в пассажировместимости. Возникла потребность в воздушных лайнерах с промежуточной (относительно широкофюзеляжных и узкофюзеляжных) пассажировместимостью. Эта потребность была усилена влиянием топливного, валютно-финансового, экологического и экономических кризисов, под воздействием которых появились самолеты с более высокой топливной эффективностью и эксплуатационной технологичностью, с более низким уровнем шума и интенсивностью дымления двигателей.

Изменение направлений научно-технического прогресса существенным образом повлияло на конкурентоспособность модификаций. Раньше было трудно реализовать основные нововведения (обеспечивающие технико-экономическое превосходство нового типа самолета) в модификациях существовавших изделий*. На современном этапе значительную часть нововведений, планируемых к использованию в новых типах самолетов, можно внедрить и в серийно выпускаемых изделиях. Например, в модификациях с успехом могут быть использованы новые прогрессивные конструкционные материалы, обеспечивающие снижение массы конструкции и повышение усталостной прочности, акустические материалы, способствующие снижению уровня шума, новые двигатели, например, CFM-56 и т. д.** Возросшие возможности внедрения нововведений в серийно выпускаемых изделиях способствовали более полному удовлетворению потребностей транспортных организаций в самолетах нового назначения.

Фактор времени. В большинстве случаев для создания модификаций требуется более короткое время, чем для создания самолетов новой разработки. Это позволяет фирмам быстрее реагировать на новые требования, быстрее удовлетворять запросы авиакомпаний, которые часто меняются под воздействием цикличности развития капиталистической системы хозяйства, различных отраслевых кризисов.

При создании модификаций происходит частичное изменение конструкции базового варианта, поэтому объем опытно-конструкторских и проектных работ, летных испытаний и объем работ, связанный с подготовкой к серийному производству, как правило, меньше, чем при создании нового самолета. Например, продолжительность летных испытаний базовых вариантов у фирмы «Боинг» составляет 10—11 мес, а модификаций — 1—6 мес (рис. 8. 5). В табл. 8.2 показано проведение летных испытаний различных вариантов самолета DC-10. При создании последней модификации учитывался опыт предыдущих ва-

* Так, очень трудно или практически невозможно было использовать турбореактивные двигатели на поршневых самолетах, двигатели, устанавливаемые на широкофюзеляжных самолетах, — на турбореактивных воздушных лайнерах первого поколения.

** Этот двигатель планируют для модификаций самолетов DC-8, DC-9, Боинг-707.

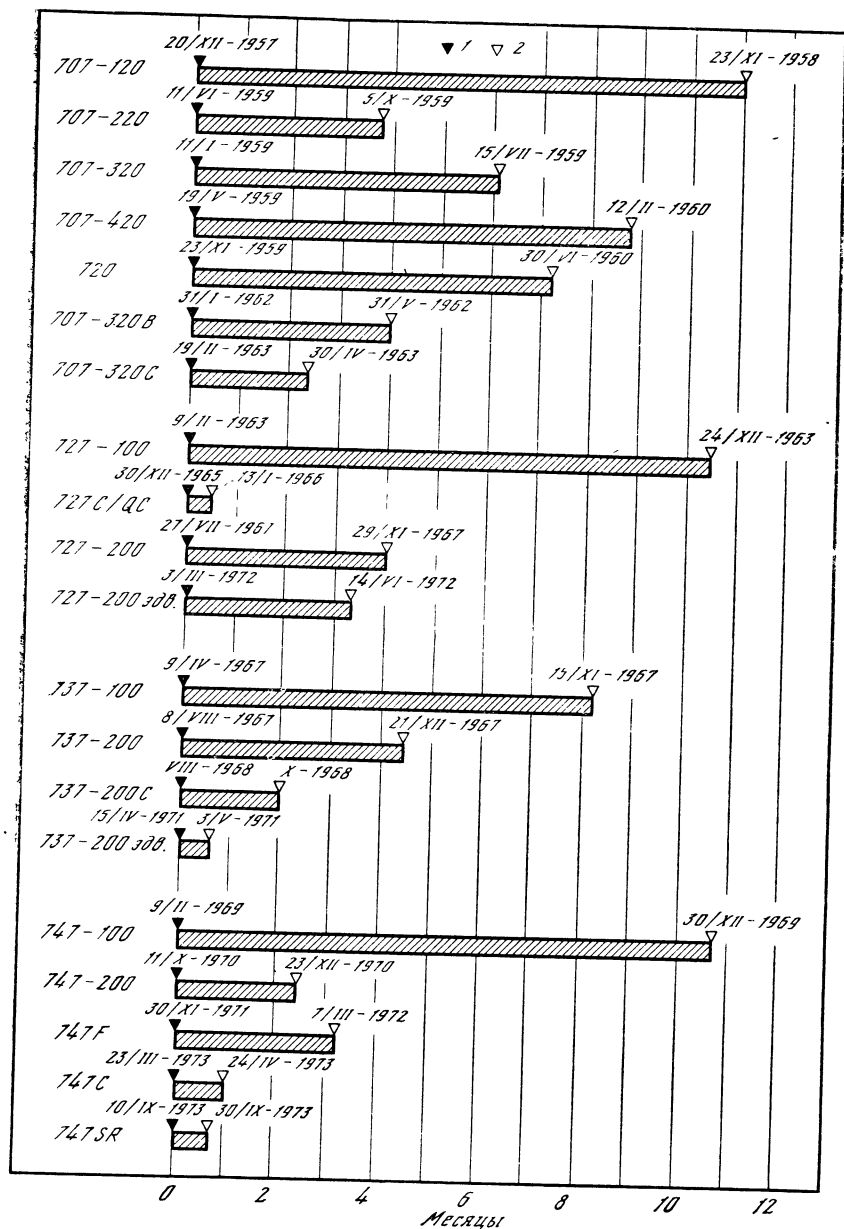


РИС. 8.5. Продолжительность летных испытаний базовых самолетов и их модификаций

1 — дата первого полета, 2 — дата сертификации

ТАБЛИЦА 8.2. Сравнение продолжительности испытаний основных вариантов самолетов DC-10

Вариант самолета (двигатель)	Первые покупатели	Коммерческая нагрузка, т	Л. тные испытания				
		расчетная дальность, км	Дата 1-го полета	Количество полетов	Количество летных часов	Дата сертификации	Продолж. испытаний (мес.)
DC-10-10 (CF6-6D)	«Америкен»	45	29.VIII	929	1551	29.VII	11
		4200	1970				
DC-10-20 (40) (JT9D)	«Юнайтед»	44	28.II	470	684	20.X	8
		6600	1972				
DC-10-30 (CF6-50C)	Группа Европейских авиакомпаний	45,5	21.VI	166	368	21.XI	5
		6900	1972				

риантов, что позволило провести летные испытания в более короткие сроки.

Стоимостный фактор. Ввиду постоянно возрастающей сложности самолетов динамика расходов на их разработку характеризуется тенденцией к резкому повышению (табл. 4.1).

В противоположность этому цены на модифицированные варианты серийно выпускаемых самолетов находятся на относительно низком уровне. Это вызвано, во-первых, тем, что между модифицированным и базовым вариантами существует значительная идентичность конструкции. Это значительно снижает стоимость разработки модификаций. Так, разработка проекта базового широкофюзеляжного самолета А-300В составила 230 млн. фунт. ст., а разработка модификации А-300В-4 — 30 млн. фунт. ст. [37]. Затраты на разработку проекта, подготовку производства и на оснастку широкофюзеляжного самолета DC-10 превысили 1 млрд. долл., а аналогичные затраты на военную модификацию этого самолета (топливозаправщик KC-10A) составили 28 млн. долл. [36]. Во-вторых, в процессе создания базового варианта самолета происходит освоение серийного производства, вследствие чего к моменту выпуска модификаций значительно сокращаются издержки производства.

Эксплуатационный фактор. В прошлом авиакомпании практически без всяких проблем переходили с одного типа самолета на другой, например, с DC-3 на DC-4 или с DC-6 на DC-7. На современном этапе переход с самолета Боинг-707 на Боинг-747 представляет собой более сложную проблему, требует значительных финансовых и материальных затрат на запасные части, наземное оборудование, контрольно-поверочную аппаратуру, обучение летно-технического персонала и т. д. Для многих крупных авиакомпаний такие затраты превысили 100 млн. долл.

При вводе в эксплуатацию модификаций такие затраты незначительны, особенно в тех случаях, когда авиакомпания уже имеет базовые самолеты.

Сочетание приведенных факторов позволило успешно использовать модификации в удовлетворении новых потребностей транспортных организаций. Так, были созданы модификации DC-10 — 30, Боинг-747 SP, L-1011 — 500, которые имеют пассажировместимость, занимающую промежуточное положение между пассажировместимостью широкофюзеляжного самолета Боинг — 747 и неширокофюзеляжных Боинг-707, DC-8. В некоторых случаях авиатранспортные организации отдали предпочтение модификациям, а не самолетам новой разработки. Например, введенный в эксплуатацию в середине 70-х годов самолет «Меркюр» (Франция), был изготовлен всего в 10 экземплярах, поскольку не выдержал конкуренции с новыми модификациями самолетов Боинг-737 и DC-9.

8.3. Влияние модификаций на формирование новых требований к авиационной технике

Некоторые самолеты, изготовленные в единственном экземпляре, например А. Ф. Можайского, братьев Райт, «Русский витязь» И. И. Сикорского, оказали существенное влияние на развитие мировой авиации. Собственно с этих самолетов и начинается история авиационной техники. Самолеты АНТ-1, АНТ-2 конструкции А. Н. Туполева и «Мономейл-200» конструкции фирмы «Боинг», также изготовленные в единственном экземпляре, в значительной степени способствовали развитию авиации, становлению конструкторских бюро и самолетостроительных фирм. С этих самолетов начинается история современных воздушных лайнеров «Ту» и «Боинг».

В этом разделе мы хотели бы обратить внимание на роль, которую сыграли в развитии авиационной техники модификации самолетов. Многие самолеты, а также их модификации после морального старения, вызванного появлением новой, более современной техники, продолжали свою службу в иных сферах. Эта новая роль часто казалась незаметной и не шла ни в какое сравнение с той, которая была отведена в свое время базовым самолетам. Приведем несколько примеров.

Во время второй мировой войны был популярен штурмовик Ил-2. До него на вооружении стояли модификации военных самолетов, выполненных в варианте «штурмовик», в частности: Р-5, «ССС», Р-З «штурмовик» и т. д. Эти модификации по боевой эффективности не могут сравниться с Ил-2, но они показали необходимость разработки специализированного штурмовика.

Большую роль играют сейчас военно-транспортные самолеты Ан-12 и Ил-76, С-141А и С-5А. Потребность в таком типе самолетов сформировалась в годы второй мировой войны, тог-

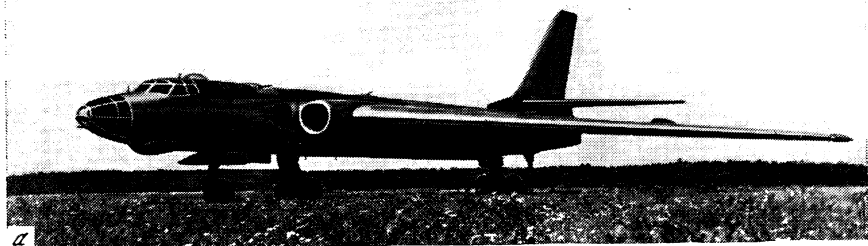


РИС. 8.6. Самолет Ту-16 (а) и его модификация — Ту-104 (б)

да были созданы модификации бомбардировщика ТБ-3 и гражданского самолета DC-3.

Сегодня эффективность боевых самолетов немало зависит от наличия парка топливозаправщиков. Первые серийные топливозаправщики появились в послевоенное время и были модификациями поршневых бомбардировщиков В-29, В-50 (США) и Ту-4 (СССР).

Большую роль модификации сыграли в становлении воздушного транспорта. В отличие от военной авиации гражданская пробивала себе дорогу с большими трудностями. Низкий уровень безопасности и экономической эффективности значительно ослаблял позиции воздушного транспорта в системе общественных видов транспорта. Отпугивало и существенное отличие воздушного транспорта от уже хорошо известных и проверенных в течение долгих лет морского и наземного. В первые годы после первой мировой войны тысячи военных самолетов были модифицированы в гражданские. В основном с использования этих самолетов началось формирование воздушных авиалиний.

Роль модификаций в расширении использования типа

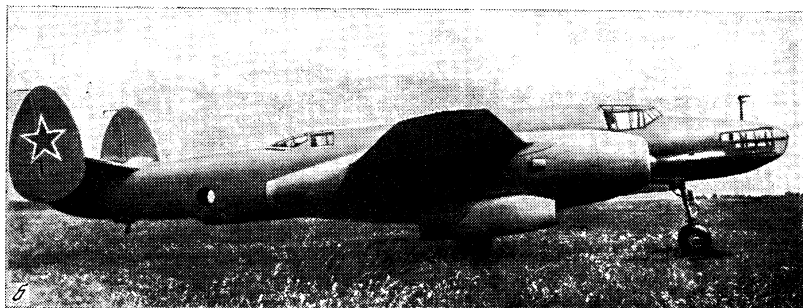
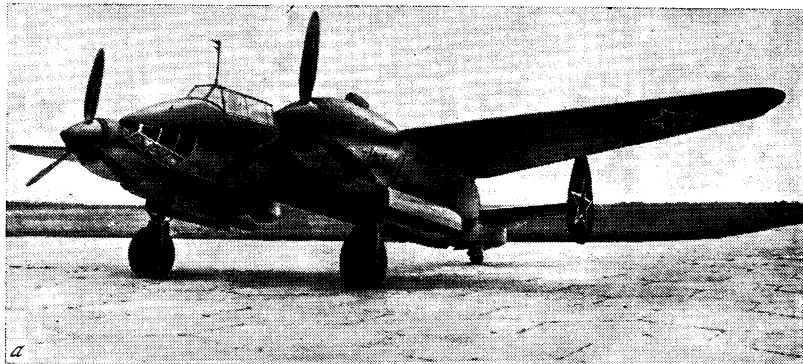


РИС. 8.7. Самолет Ту-2 (а) с поршневыми двигателями и его модификация с реактивными двигателями (б)

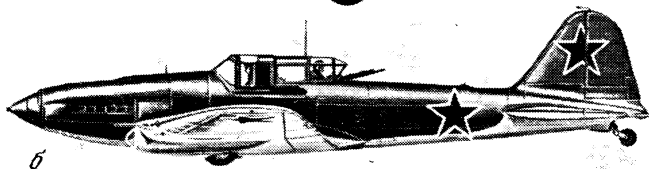
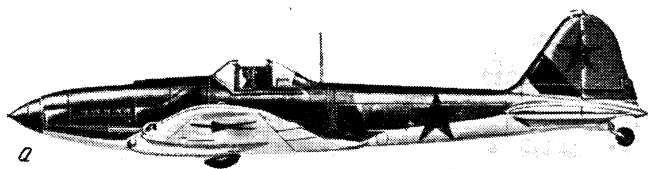


РИС. 8.8. Одноместный самолет Ил-2 (а) и его двухместная модификация (б)

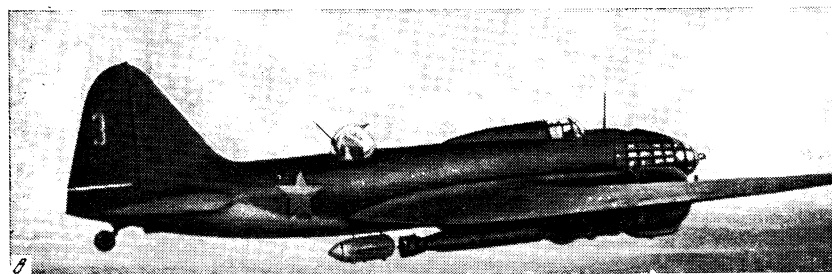
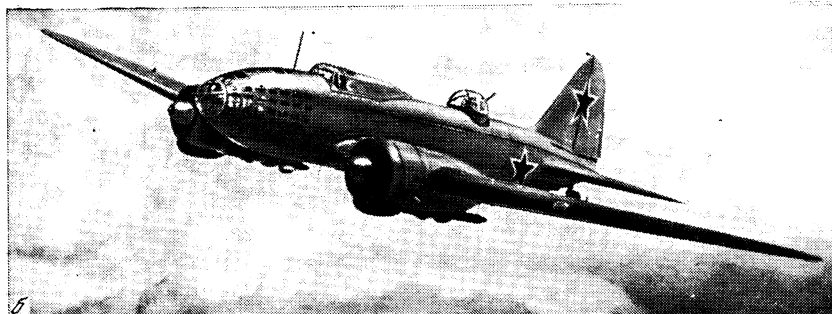
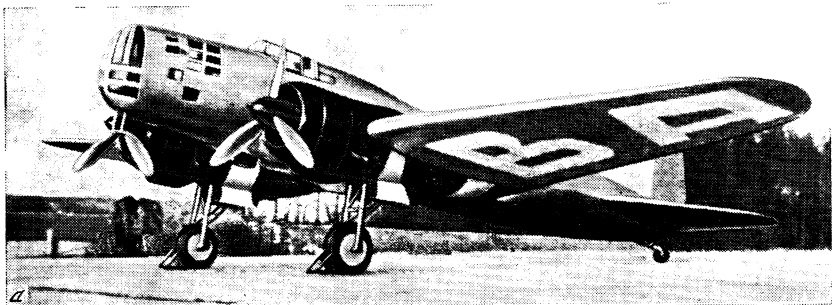


РИС. 8.9. Базовый самолет ЦКБ-26 бомбардировщик (а) и его модификации Ил-4 бомбардировщик (б) и торпедоносец Ил-ЧТ (в)

самолета в народном хозяйстве можно показать на примере советских изделий (рис. 8.6—8.9).

На современном этапе формирование спроса на гражданскую авиационную технику во многом связано с модификациями магистральных самолетов.

За рубежом с середины 50-х годов отмечается бурное развитие чартерных (нерегулярных) перевозок (см. раздел 4.2). Немалая заслуга в формировании этого вида перевозок принадлежит модификациям поршневых самолетов, вытесненных с регулярных авиалиний более современной турбовинтовой и реактивной техникой.

Влияние модификаций на формирование потребностей в авиационной технике можно показать на примере грузовых пе-

ревозок. Первые предположения о том, что воздушный транспорт будет играть значительную роль в перевозке грузов, относятся еще в начале 1920-х гг. В те годы были предприняты и первые попытки создания грузовых самолетов. Однако практически перевозка грузов воздушным транспортом началась в послевоенный период.

В 1946 г. удельный вес этих перевозок в общем объеме воздушных перевозок составлял 7,2%, а к 1976 г. он возрос до 24%. Немалая заслуга в повышении этой доли принадлежит модификациям пассажирских самолетов, выполненных в грузовом и конвертируемых вариантах. За 1960—1975 гг. авиакомпаниям было поставлено около 750 таких модификаций различных типов турбореактивных машин. В послевоенные годы создан ряд авиакомпаний, основной сферой деятельности которых является перевозка грузов. Обычно, чем более специализирован самолет, тем меньше количество заказчиков. Количество авиакомпаний, специализирующихся на грузовых перевозках еще невелико, а их требования к самолету различны. Поэтому еще не пришло время для современного магистрального специализированного грузового самолета: стоимость разработки которого, как предполагают, составит до 4 млрд. долл. С другой стороны, специализированный самолет, обладая высокими экономическими показателями, может существенно расширить рынок грузов, поскольку по фрахтовым ставкам за тонно-км этот самолет сможет вплотную приблизиться к наземным видам транспорта. Но внедрение в эксплуатацию специализированного магистрального самолета сдерживают и другие факторы. Этот тип воздушного лайнера, созданного по последнему слову науки и техники, будет эффективен в эксплуатации, когда на высоком техническом уровне будут выполнены отальные элементы грузовой воздушной системы, как то: автоматизированные станции транспортной обработки грузов; унифицированные стандартные контейнеры, включая холодильники, которые отвечали бы требованиям всех видов транспорта; автоматизированные погрузочно-разгрузочные механизмы и т. д.

Ввод в эксплуатацию модификаций широкофюзеляжных самолетов, выполненных в грузовом и конвертируемом вариантах, в значительной степени способствует комплексному развитию всех элементов системы воздушных грузовых перевозок и создает предпосылки для последующей разработки специализированных грузовых самолетов.

8.4. Особенности экспериментальных модификаций

Помимо рассмотренных выше видов серийных модификаций, существенную роль в развитии научно-технического прогресса играют экспериментальные модификации, часто представляющие собой летающие лаборатории.

Все опытно-конструкторские работы (ОКР) в зависимости

от места и времени их проведения, можно распределить на работы, проводимые: в наземных лабораторных условиях, на экспериментальных модификациях серийных самолетов, на опытных самолетах нового типа.

В наземных лабораторных условиях обычно проводят испытания и отработку новых конструкционных материалов, подсистем и систем самолета, отдельных частей планера и т. д. На модификациях, как правило, выполняют такие виды работ, которые являются завершающей частью лабораторных испытаний или которые малоэффективны в наземных условиях. На опытных самолетах имеется возможность проверить весь объем нововведений в реальных условиях эксплуатации.

В начале развития авиастроения создание экспериментальных модификаций носило скорее случайный характер. Предпочтение отдавали опытным самолетам, чему способствовала простота конструкции и технологии изготовления летательных аппаратов тех времен. При повышении сложности, стоимости и длительности создания машин возрастала роль наземных лабораторных испытаний и экспериментальных модификаций в области ОКР. Преимущество проведения отдельных видов ОКР на модификациях в сравнении с наземными условиями состоит в том, что имеется возможность оценить работоспособность той или иной системы или эффективность нововведения в реальных условиях полета или даже эксплуатации, а в сравнении с испытанием на опытных образцах — в повышении безопасности, сокращении сроков и стоимости проведения эксперимента.

Эффективность проверки отдельных компонентов самолета на модификациях можно показать на примере двигателя RB-211, созданного английской фирмой «Роллс-Ройс» в конце 60-х годов и предназначенного для использования на широкофюзеляжных самолетах. При его разработке в качестве материала для лопаток вначале был использован углепластик хайфил, что позволило сократить массу и стоимость двигателя и повысить его конкурентоспособность в отношении аналогичных двигателей американского производства CF-6 и JT—9D. Проверка двигателей RB-211 в наземных лабораторных условиях показала высокую эффективность этого материала. В условиях полета двигатель испытывали на модифицированном самолете VC-10. Изменения конструкции были связаны с заменой двух двигателей «Конвейер» на один RB-211 и с установкой специального оборудования. Испытания показали низкую эрозийную стойкость материала хайфил на крейсерских высотах и его плохое сопротивление к удару посторонними предметами. Углепластиковые лопатки пришлось заменить на титановые.

Проведение экспериментов и испытаний на модификациях позволяет значительно увеличить безопасность их выполнения, поскольку модифицированию подвергаются серийные самолеты, проверенные в эксплуатации в течение ряда лет. При этом на каждой модификации обычно проводят строго ограниченный

объем нововведений, что позволяет снизить технический риск до минимума. Например, при создании самолета В-50 двигатели и гондолы новой конструкции были проверены на одной модификации самолета В-29, а киль — на другой.

При экспериментальном модифицировании эффективность нововведений проверяют с целью их внедрения не только в последующем новом типе летательного аппарата, но и в самолетах данного типа. В последнем случае сравнение результата получаемого эффекта от внедрения нововведения со стоимостью внесения конструктивных изменений в базовый самолет позволяет сделать вывод о целесообразности усовершенствованной модификации.

Отметим, что для каждого периода характерны определенные виды экспериментальных модификаций. Так, в 30—40-х годах основные направления ОКР были связаны с повышением скорости самолета, во второй половине 70-х годов — с повышением топливной эффективности.

На протяжении всего развития авиастроения значительная доля ОКР, выполняемых на модификациях, была связана с испытанием новых типов двигателей. Проверка двигателей на летающих лабораториях вошла в обычную практику их испытания. Наиболее удачные экспериментальные работы завершались серийным производством самолетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов О. К., Толмачев В. И. Транспортный самолет сегодня и завтра.—Авиация и космонавтика, 1966, № 8, с. 18—22.
2. Бадягин А. А., Егер С. М. и др. Проектирование самолетов. М.: Машиностроение, 1972. 516 с.
3. Болховитинов В. Ф. Пути развития летательных аппаратов. М.: Оборонгиз, 1962. 130 с.
4. Братухин И. П. Проектирование и конструкция вертолетов. М.: Оборонгиз, 1955. 360 с.
5. Великанов Д. П., Бернацкий В. И. и др. Автомобильные транспортные средства. М.: Транспорт, 1977. 326 с.
6. Велижев А. А. Авиапромышленность США, Англии, Франции. М.: Госмашметиздат, 1934. 197 с.
7. Гличев А. В. Экономическая эффективность технических систем. М.: Экономика, 1971. 270 с.
8. Гвишиани Д. М. Организация и управление. М.: Наука, 1970. 832 с.
9. Дуэ Д. Господство в воздухе. М.: Воениздат, 1935. 360 с.
10. Егер С. М. Проектирование пассажирских реактивных самолетов. М.: Машиностроение, 1964. 452 с.
11. История техники. М.: Социально-экономическая литература, 1962. 771 с.
12. Кукушкина С. Н. Экономическая оценка модификаций самолетов.—Тр. МАИ, 1974, вып. 259, с. 28—40.
13. Пышнов В. С. Из истории летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1968. 138 с.
14. Тищенко М. Н., Некрасов А. В., Родин А. С. Вертолеты. М.: Машиностроение, 1976. 366 с.
15. Цыкин А. Д. От Ильи Муромца до ракетносца. М.: Воениздат, 1975. 250 с.
16. Шавров В. Б. История конструкций самолетов СССР до 1938 г.: (Материалы к истории самолетостроения). М.: Машиностроение, 1969. 606 с.
17. Шавров В. Б. История конструкций самолетов СССР от 1935 по 1950 г. М.: Машиностроение, 1978. 440 с.
18. Шейнин В. М. Весовая и транспортная эффективность пассажирских самолетов. М.: Оборонгиз, 1962. 364 с.
19. Шейнин В. М., Козловский В. И. Проблемы проектирования пассажирских самолетов. М.: Машиностроение, 1972. 308 с.
20. Шейнин В. М., Козловский В. И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Весовой расчет самолета и весовое планирование. М.: Машиностроение, 1977. Т. 1. 344 с.
21. Шейнин В. М., Козловский В. И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Расчет центровки и моментов энергии самолета, весовой анализ. М.: Машиностроение, 1977. Т. 2. 208 с.
22. Юрьев Б. Н. Избранные труды. Аэродинамика, история авиационной техники. М.: Наука, 1961. Т. 2. 272 с.
23. Яковлев А. С. Советские самолеты. М.: Наука, 1979. 400 с.
24. Яковлев А. С. Сергей Владимирович Ильюшин.—В кн.: Ученый и конструктор С. В. Ильюшин. М.: Наука, 1978. 208 с.
25. «Обгоняя время». Девять вопросов Генеральному конструктору Ту-144.—Техника — молодежи, 1969, № 4, с. 12.

26. Самолеты страны советов, 1917—1970/Под ред. Б. Л. Симакова. М.: ДОСААФ, 1974. 264 с.
27. Ежегодник БСЭ. М.: Сов. энциклопедия, 1977, вып. 21, с. 561.
- 27а. Экономика воздушного транспорта/Под ред. В. М. Макарова.— М.: Транспорт, 1971.
28. *Stemey S. G.* Cost Curves and Pricing in Aircraft Production, *The Economic J.*, 1964.
29. *Jenny R. B., Krachmabnick F. M., Lafavor S. A.*— Air Superiority With Controlled Configured Fighters,— New York, 1971, p. 9 i 11 (AJAA Paper 71—764).
30. The Aviation Annual of 1946, New York, 1946, p. 245.
31. The Air Annual of the British Empire, 1938, p. 616.
32. Jane's All the World Aircraft, 1928.
33. Jane's All the World Aircraft, 1964.
34. Jane's All the World Aircraft, 1971/1970.
35. Jane's All the World Aircraft, 1977/1976.
36. Pedigree of Champions (Boeing Since 1916...) The Boeing Company, January, 1969, p. 87.
37. «Aviation Week and Space Technology», 1969, 17.04, p. 88.
38. Jane's All the World Aircraft, 1981/1980.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие научного редактора	3
Предисловие авторов	5
Введение	6

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ТЕОРИЯ МОДИФИКАЦИЙ

Глава первая. Общие положения. Основные характеристики модификаций	9
1.1. Понятия и терминология	9
1.2. Диалектика машин	13
1.2.1. Основные направления развития техники	14
1.2.2. Периоды появления новых моделей самолета и их модификаций	23
1.3. Классификация модификаций пассажирских самолетов по назначению и по производственному признаку	28
1.4. Летно-технические характеристики модификаций и базового самолета	33
1.5. Из истории разработки различных видов модификаций	38
1.6. О различных подходах к определению эффективности модификаций	43
1.6.1. Ближние и дальние модификации с измененной длиной фюзеляжа	44
1.6.2. Условия сравнения эффективности базовых самолетов и их модификаций	49
1.6.3. Дальние модификации с заменой силовых установок	51
Глава вторая. Методы рационального проектирования модификаций и анализ их эффективности	54
2.1. Последовательная и параллельная разработка модификаций	55
2.2. Планирование модификаций	59
2.2.1. О развитии методов разработки модификаций	59
2.2.2. Необходимость планирования	60
2.3. Метод проектирования модификаций на основе резервирования	62
2.3.1. О целесообразности резервирования тяги двигателей	62
2.3.2. Резервирование площади крыла	63
2.3.3. О целесообразности резервирования объемов фюзеляжа	69
2.3.4. Резервирование высоты стоек шасси (или посадочного угла)	71
2.3.5. Резервирование объема топливной системы	71
2.3.6. О целесообразности резервов прочности конструкции	72
2.4. Метод модульного проектирования модификации	74
2.5. Ограничения модификаций пассажирских самолетов	78
2.6. Дальнейшее развитие модификаций	79

2.7. Техничко-экономическое обоснование планируемых модификаций	80
2.7.1. Постановка задач планирования модификаций	81
2.7.2. Комплексное экономическое исследование эффективности технических систем на основе динамического моделирования (Метод А. В. Гличева)	82
2.7.3. Экономическая оценка модификаций самолета методом С. Н. Кукушкиной	85
2.8. Критерии параметрического анализа эффективности модификаций	88
2.8.1. Виды эффективности и методы анализа технико-экономического совершенства	88
2.8.2. Критерии	89
2.8.3. Сравнение эффективности модификаций и базовых самолетов	98

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ИСТОРИЯ МОДИФИКАЦИЙ

Глава третья. Некоторые тенденции развития авиационной техники	101
3.1. Этапы развития пассажирских самолетов	102
3.1.1. Особенности самолетов различных поколений	102
3.1.2. Примеры из истории разработки самолетов и модификаций первых поколений	105
3.1.3. Особенности проектирования гражданских самолетов будущих поколений и их модификаций	108
3.2. Тенденции развития гражданской авиационной техники	111
3.2.1. Рост тоннажа самолетов	111
3.2.2. Рост размеров самолета	114
3.2.3. Рост грузоподъемности и пассажировместимости самолетов	117
3.2.4. Снижение массы модификаций эксплуатируемых и проектируемых самолетов	118
3.2.5. Рост скорости полета	120
3.2.6. Развитие интерьера пассажирских салонов самолетов и их модификаций	121
3.2.7. Проблемы топливной эффективности	121
3.2.8. Закономерность роста спроса и предложения суммарного числа пассажирских мест всего парка самолетов	123
3.3. Развитие транспортных (грузовых) модификаций пассажирских самолетов	125
3.3.1. Зарождение грузового воздушного транспорта	125
3.3.2. Две тенденции использования объема фюзеляжа	126
3.3.3. Некоторые особенности развития грузовых модификаций	128
Глава четвертая. Причины появления модификаций	130
4.1. Техничко-экономические факторы	130
4.2. Специализация	136
4.3. Фактор времени	140
4.4. Причины создания модификаций на современном этапе	141
Глава пятая. История усовершенствованных модификаций	142
5.1. Модификации военных самолетов	142
5.2. Модификации гражданских самолетов	157
Глава шестая. Модификации, расширяющие область применения самолета	161

6.1. Модификации военных самолетов	162
6.2. Модификации гражданских самолетов	163
6.3. Гражданские модификации военных самолетов	174
6.4. Военные модификации гражданских самолетов	183
Глава седьмая. История комплексных модификаций и модификаций са- молетов, находящихся в эксплуатации	190
7.1. Комплексные модификации	190
7.2. Модификации эксплуатируемых самолетов	192
Глава восьмая. Влияние модификаций на развитие современной авиа- ционной техники	196
8.1. Увеличение продолжительности жизненного цикла самолета . . .	196
8.2. Удовлетворение потребности в новых самолетах	210
8.3. Влияние модификаций на формирование новых требований к авиа- ционной технике	214
8.4. Особенности экспериментальных модификаций	219
Литература	221

2 р. 30 к.

90480

5ЯС
Ш397