



НАУКА  
И ПРОГРЕСС

Г.А.МЕЕРОВИЧ

Эррекем

больших

систем

ЗНАНИЕ



---

НАУКА  
И ПРОГРЕСС

---

Г.А.МЕЕРОВИЧ

**Экстрем  
больших  
систем**

---



Издательство «Знание»

Москва 1985

**ББК 65.9(2)—5**  
**М 41**

**МЕЕРОВИЧ** Георгий Александрович родился в 1925 году. В 1948 году окончил Московский авиационный институт, доктор технических наук. Читает в Московском физико-техническом институте курс системотехники. Автор многих научных трудов, а также популярной книги «Анализ эффективности», вышедшей в 1979 году в издательстве «Знание».

Рецензенты:

Туполев А. А., академик АН СССР;  
Моисеев Н. Н., академик АН СССР;  
Артамонов Г. Т., доктор технических наук;  
Манучаров А. А. генерал-майор авиации,  
лауреат Ленинской и Государственной премий СССР.

**Меерович Г. А.**

**М41** Эффект больших систем.— М.: Знание, 1985.—  
192 с.— (Наука и прогресс).

35 коп.

32000 экз.

Слово «комплекс» и производные от него слова и понятия мы слышим и читаем практически ежедневно. Может даже показаться, что это дань какой-то моде. В действительности не дань моде, а потребность времени. Именно эта мысль положена в основу книги. Рассказ о промышленных комплексах, истории их появления и развития автор строит на примерах из различных областей, известных и мало известных: авиационно-ракетный комплекс перехвата, современный пассажирский авиалайнер, космодром и т. д.

Для широкого круга читателей.

**М** 0302030400—019  
073(02)—85 31—85

**ББК 65.9(2)—5**  
**33.05**

© Издательство «Знание», 1985 г.

## Читателям о книге

Вниманию читателей предлагается книга, рассказывающая о технических комплексах, о выигрыше, который может дать эта высшая форма построения и организации технических систем, о проблемах, решаемых при их разработке.

Система — понятие очень древнее: оно возникло достаточно давно. Как только человек запряг лошадь в повозку, он уже создал (хотя еще не знал об этом) элементарную систему, состоящую из некоторого числа взаимосвязанных элементов: лошади (двигателя), сбруи (привода), собственно повозки и кучера (управления). Эти элементы были не просто формально объединены друг с другом. Связь между ними была очень тесной, функциональной, как говорят специалисты. Не будь ее, система не могла бы успешно работать.

С помощью хорошо отлаженных систем человек смог достигать целей, ранее не достижимых: например, перевозить грузы на значительные расстояния или двигаться со скоростью, во много раз превышающей скорость пешехода.

Конечно, никакая система не может существовать сама по себе, изолированно. Так, повозке с лошадью нужны дополнительные элементы: дороги, сараи для хранения, постоянные дворы, сено и так далее. Границы систем раздвигались; один элемент влиял на другой, изменял его облик и характер. Круг функционирования и решаемых задач расширялся, а сами системы усложнялись.

Внутренние связи, взаимовлияние элементов, их взаимосогласованность и взаимообусловленность, общая конечная цель системы в целом и, следовательно, всех составных частей, притом достаточно весомая, наличие сопредельных объектов — все это отличительные свойства систем и по сей день. Более того, эти свойства приобрели сегодня решающее значение.

Существование современной цивилизации немыслимо без многочисленных разветвленных систем. Такими структурами пронизаны все области производства, обороны, управления. Они завоевали прочные позиции даже в сфере обслуживания, в быту современного человека.

Развитие производительных сил сопровождалось, кроме колоссального расширения и умножения систем, повышением требований к качеству их функционирования и надежности. Особенно бурно этот процесс происходит в последние 15—20 лет. Крутой подъем технического уровня производительных сил в значительной мере был достигнут с помощью исключительно сложных, но вместе с тем хорошо организованных систем — комплексов.

Современные системы шагнули далеко вперед. Они отличаются от своих предшественников так же, как реактивный самолет от телеги. Новой ступенью развития систем стали именно комплексы. Комплекс объединил в единое целое большое число разнородных крупных систем. Благодаря этому были получены совершенно новые качества, достигнут новый, более высокий уровень организации систем, обеспечено хорошее их взаимодействие.

С появлением комплексов родились такие понятия, как агрегаты, подсистемы, компоненты, большие системы. Внутренняя структура комплексов, связи компонентов друг с другом, особенности функционирования, решаемые задачи и критерии оценки настолько усложнились, что для проектирования и правильной эксплуатации этих объектов, их изучения, выявления закономерностей построения и работы потребовалась новая дисциплина — системотехника. Понадобилась особая методология для рациональной разработки комплексов и решения связанных с этим сложных многоплановых проблем. Возникла необходимость и в соответствующих специалистах — системотехниках.

Обо всем этом пишет Г. А. Меерович в своей книге. Он рассказывает о комплексах не статично, не просто приводит несколько примеров и анализирует их, а вскрывает причины возникновения больших систем и наиболее крупной их формы — комплексов, показывает историческую необходимость и неизбежность становления, диалектический процесс развития этих сравнительно молодых, но высокоэффективных технических формирований. И нельзя не согласиться с утверждением, проходящим красной нитью через всю книгу, что комплекс — один из важнейших рычагов научно-технического прогресса. Поразительные успехи в различных областях промышленности были достигнуты в значительной мере благодаря комплексам.

Но рождение комплексов не проходит гладко. Книга

вводит нас в творческий процесс создания комплексов, знакомит с той лавиной трудностей, которая захлестывает разработчиков, испытателей, освещает многие интересные детали, почти незнакомые широкому кругу читателей.

Автор подробно описал рождение одного из наиболее динамичных комплексов, фокусирующего все основные особенности этого класса сложных больших систем,— комплекса перехвата. Эволюция самолетов-перехватчиков, превращение их в авиационный комплекс, обладающий совершенно новыми свойствами, очень типичны, характерны и интересны. Особенно важно то, что комплексы перехвата следует, пожалуй, причислить к первым объектам этого рода.

Большое и достойное место занимает в книге вопрос о критериях оценки сложных систем. Критерии оценки — это краеугольный камень системотехники и системного подхода. Каждый новый комплекс создается для получения существенного прироста эффективности. Однако при этом обязателен учет как стоимости (затрат), так и фактора времени. Кроме того, обязательному учету подлежит безопасность. Кстати говоря, проблема обеспечения высокого уровня безопасности и примыкающая к ней задача значительного уменьшения опасного воздействия на окружающую среду приобрели особую актуальность в последние годы. Решаются эти проблемы с помощью дальнейшего развития комплексов, проникновения их в новые области. Однако одновременно с этим повышается, и при том значительно, стоимость, увеличиваются сроки создания систем.

В книге убедительно показано, что для полной оценки таких сложных, дорогостоящих и трудоемких объектов, нацеленных на получение значительного эффекта, должны использоваться не один, а четыре критерия: эффективность, безопасность, затраты, время. Только соразмеряя эти четыре критерия, взвешивая их, можно принимать обоснованное решение о целесообразности разработки комплексов или судить об их эффективной работе в широком смысле этого слова.

*А. А. Манучаров, генерал-майор авиации,  
лауреат Ленинской и Государственной  
премий СССР*

## **Мир комплексов и комплексы в мире**

*Такие системы являются большими — большими по числу своих частей, по числу различных типов своих частей, по числу выполняемых функций, по числу входов и — что может оказаться самым важным — по абсолютной стоимости.*

*Г. Х. Гуд, Р. Э. Маккол.  
Системотехника. Введение в проектирование  
больших систем*

### **Ключи к прогрессу техники**

Термин «комплекс», так же как тесно связанные с ним слова «комплексирование» и «комплексный подход», буквально ворвался в нашу жизнь, завоевал в ней прочные позиции. Еще два-три десятка лет назад он был известен лишь узкому кругу специалистов, сегодня он стал почти для всех привычным.

Жизнь общества, его развитие уже немыслимы без комплексов. Решение сложных и многоплановых проблем, стоящих на пути технического прогресса, препятствующих движению вперед, возможно только с помощью комплексного подхода.

Ежедневно, открывая газету, слушая радио или смотря телевизионную передачу, мы узнаем о все новых и новых высокопроизводительных объектах — комплексах, работающих или создаваемых в различных отраслях промышленности, на транспорте, в сельском хозяйстве, в научных организациях.

Вот всего лишь несколько примеров.

В Единую энергетическую систему СССР включен новый комплекс, построенный в районе Саратова, производящий электроэнергию и тепло в огромных масштабах.

Мощный металлургический комплекс пущен на Ижорском заводе.

Введен в строй стан непрерывной разливки стали, представляющий собой сложный автоматизированный комплекс.

Успешно работает паромная система — транспортный комплекс Одесса — Варна.

Непрерывным потоком с точностью до секунды выпускают машины гигантские автомобилестроительные заводы-комплексы в Тольятти и Брежневе.

Днем и ночью работает высокопроизводительный угледобывающий комплекс в Экибастузе.

На орбите — космический комплекс «Союз» — «Салют» — «Прогресс».

Цепь тесно связанных электронных вычислительных машин, скомплексированных со сложными экспериментальными установками, обеспечила автоматизацию научных исследований в одном из институтов Академии наук СССР.

Ведется строительство комплекса сооружений для защиты Ленинграда от наводнений. Построен комплекс защиты города Алма-Аты от селевых потоков.

Лесопромышленный комплекс в Карелии дает не только значительное количество лесоматериалов, бумаги, картона, но и обеспечивает воспроизводство леса.

Гостеприимно распахнул двери новый гостиничный комплекс...

Количество комплексов, строящихся, проектируемых или успешно работающих в нашей стране и за рубежом, настолько велико, что их перечисление заняло бы значительную часть нашей книги.

Даже в одной области, например в авиации, существует много различных комплексов. Не только самолеты большой пассажировместимости и грузоподъемности Ил-86, Як-42, Ту-154, Ил-62, Ил-76, но и маленький юркий Ан-28 представляют собой комплексы. Их полеты обеспечивают радиотехнические комплексы управления воздушным движением, навигации и посадки, размещенные на земле. Комплекс наземного обслуживания, включающий автоматическую систему продажи авиабилетов, помогает справляться с огромными потоками пассажиров.

В газете «Красная звезда» и в телевизионной передаче «Служу Советскому Союзу» часто рассказывается об авиационно-ракетных и зенитных комплексах перехвата, надежно оберегающих наше небо.



А как часто встречаемся мы с комплексным (его еще называют системным) подходом, с результатами его применения или с указанием о необходимости использования для решения той или иной практической задачи.

Создание новых высокоточных станков, выпуск новых химических продуктов, внедрение роботов и манипуляторов на производстве, очистка вод рек и водоемов от вредных примесей, увеличение выпуска товаров, пользующихся повышенным спросом,— эти и еще десятки проблем решаются только на основе комплексного подхода. Отступление от него неизбежно приводит к неудачам и провалам.

Сошлемся на три примера, взятых из газет одного дня.

Проблема повышения надежности и долговечности машин решается в одиннадцатой пятилетке на основе ряда взаимоувязанных мероприятий, то есть на основе комплексного подхода.

Снижение расхода топлива на транспорте, столь важное сегодня, требует комплексного подхода. Для этого составлена комплексно-целевая программа.

Существенная экономия хлеба в масштабах страны или даже отдельного района не может быть достигнута без комплексного подхода ко всей совокупности возникающих при этом проблем.

О ключевой роли комплексов и комплексного подхода в научно-техническом прогрессе свидетельствует следующий примечательный факт: из 84 работ, допущенных в 1982 году к участию в конкурсе на соискание Государственной премии СССР, 21 содержала в названии слово «комплекс»<sup>1</sup>.

### **Несколько вопросов по существу дела**

Хорошо известно, что привычный еще не означает понятный. Быстрое распространение комплексов, их проникновение во многие (если не все) отрасли неизбежно вызывает целый ряд вопросов.

Первый вопрос, возникающий у читателя,— что общего между всеми упомянутыми автором объектами? Действительно ли можно рассматривать с единой точки зрения современную электростанцию большой мощности, металлургический комбинат, грозный комплекс перехвата, автомобилестроительный завод, космические ракеты

и спутники, паромную переправу, сооружения защиты от наводнения или селя, систему автоматизации научных исследований? Не путает ли что-то автор, объединяя в своем рассказе эти совершенно различные объекты, имеющие столь несхожие цели и назначение? Может быть, комплекс — это просто новый синоним завода, фабрики, самолета или иного технического сооружения?

Нет, дорогой читатель, автор не ошибся и ничего не спутал; все упоминавшиеся объекты — родственники, хотя внешне они действительно не похожи друг на друга. Родственные связи — в их структуре, масштабах, стиле работы, многих других сходных и общих чертах. Недаром в специальной литературе комплексы называют «системами большого масштаба» или «большими сложными системами». Пожалуй, в этих понятиях суть дела.

Не каждый завод, не каждый металлургический стан и уж не каждый паром, самолет или корабль представляют собой комплекс. Для того, чтобы так называться по праву, необходимо выполнить целый ряд условий. Магнитогорский комбинат первых пятилеток, самолеты, воевавшие в Великую Отечественную войну, современная ткацкая фабрика — это все еще не комплексы.

Лишь те объекты, которые состоят из **большого числа разнородных и сложных частей-подсистем, тесно связанных между собой, насыщены автоматикой и информационно-вычислительными системами, снабжены хорошим управлением и построены по определенным принципам** (суть их станет понятна несколько позже), обладают свойствами, позволяющими называть их комплексами.

Правда, сказанное звучит пока еще сухо, малопонятно и, вероятно, неопределенно. Необходимо объяснить, что значит разнородные, сложные части, как они связаны между собой, зачем нужна автоматика, высокоточное управление и многое другое. Но для этого нужно время, и мы сделаем это постепенно, страница за страницей. При этом постараемся не привлекать без надобности специальных понятий и терминов, не прибегать к громоздкому научному аппарату.

Рассказать о комплексах и комплексных проблемах достаточно сложно. Тема эта многоплановая. Автор поэтому избрал «концентрический» стиль изложения, рассматривая каждый вопрос с разных сторон, возвращаясь к нему неоднократно, дополняя примерами и иллюстрациями.

Следующий вопрос: когда и как появились комплексы? Естественно, они возникли не на пустом месте. Комплексы представляют собой закономерный, но качественно новый этап развития технических систем, этап, непосредственно связанный с научно-технической революцией.

Напомним, что система — это объединение в единое целое различных элементов, предназначенное для выполнения определенных функций. Родились системы в древности, объединяя поначалу небольшое число достаточно простых элементов. Плуг, запряженный лошадью или волом, конная повозка, ветряная мельница, ирригационный канал, боевая колесница — все это простейшие системы. Конечно, создание «исходных» элементов и объединение их воедино представляло собой великие изобретения, но с высоты сегодняшней техники — это события «простые».

Системы служили средством повышения производительности труда, улучшения хозяйства, иногда мощным боевым оружием. Они позволяли получать определенный, часто значительный выигрыш, или эффект, как принято теперь говорить.

Рождение систем как технического средства трудно отнести к какому-либо историческому периоду, «прикрепить» к какой-то конкретной дате. Они возникали в различных областях постепенно, на протяжении многих столетий. История рассказывает не о системах вообще, а о конкретных орудиях и средствах производства — сооружениях, каналах, сельскохозяйственных орудиях, боевых машинах, станках. О том, что все это — системы, рассуждали только философы; все остальные люди просто пользовались ими, не думая о каких-то присущих им специфических свойствах, особенностях и отвлеченных характеристиках.

Управлял каждой системой человек, хотя уже с древнейших времен делались попытки подключить к управлению автоматику.

С развитием техники системы улучшались, совершенствовались, делались более мощными. Возрастал и выигрыш от них — эффект. Для их работы силы тяглового скота, ветра и воды было недостаточно; потребовались новые или более совершенные источники энергии. Развитие гидросооружений от водяного колеса до мощных гидростанций представляет собой прекрасный пример эво-

люции систем. Появились и другие энергетические системы — паровые машины, двигатели внутреннего сгорания, и мощность их все время нарастала.

В середине 50-х годов нашего бурного XX века многие технические направления претерпели скачок в своем развитии. Появились совершенно новые машины и конструкции, новые технологические процессы, новые материалы. Реактивные двигатели, сверхскоростные самолеты, радиолокация, вычислительные машины, атомная техника, ракеты поражали всех. Однако после первых успехов специалисты каждой отрасли обнаружили, что изолированное функционирование этих новых систем (а то, что это были системы, притом весьма сложные, было само собой разумеющимся) недостаточно эффективно и не отвечает возросшим требованиям.

Так, реактивные самолеты не могли летать и выполнять свои задачи без очень точного, хорошего и надежного управления, без разветвленного наземного обеспечения, без систем жизнеобеспечения на борту, без специальных бетонных взлетно-посадочных полос. Атомному реактору нужны были очень чувствительные средства контроля, мощная защита, системы точного управления (опять управление!), роботы-манипуляторы, совершенная и надежная автоматика. Ракеты также нуждались в точном управлении; кроме того, им нужны были средства стабилизации и ориентирования, специальные стартовые сооружения и многое другое.

Все это стало закономерностью в век НТР. Чтобы все родившиеся системы могли жить, нормально функционировать и развиваться, необходимо было улучшить управление каждой из них, широко использовать автоматику, обеспечить поступление обширной информации и качественную ее переработку, создать еще целый ряд условий. Так возникли принципиально новые виды технических структур — комплексы, объединившие в единое целое множество ставших необходимыми и тоже совершенно новых, сложных систем. Раньше подобных структур просто не было и не могло быть.

Здесь опять возникает серия вопросов: почему потребовалось кардинально улучшать управление? В чем это улучшение заключается? Можно ли сделать комплекс и его системы полностью автоматическими? Какова роль человека?

Подробнее на этих вопросах мы остановимся в последующих разделах.

Рубеж 50—60-х годов стал временем рождения комплексов. Именно с этого периода (а с исторической перспективы такой короткий отрезок представляется мгновением) они стали интенсивно развиваться, расти, завоевывать позиции. Мир второй половины XX века стал миром комплексов, миром больших сложных систем.

Ну хорошо, пусть так, а зачем нам эти самые комплексы? — снова спросит читатель. Отвечая, мы неизбежно должны привлечь важнейшее понятие современного научно-технического прогресса — эффективность.

В нынешних условиях любое техническое мероприятие, каждый создаваемый объект — завод, машина, станок, шахта, самолет — должны оцениваться исходя из того, ускоряют ли они технический прогресс, повышают ли они эффективность.

Здесь мы должны ответить со всей определенностью: именно комплексы обеспечили в последние 15—20 лет значительный рост эффективности, недостижимый никакими другими средствами. Десятая пятилетка не случайно называлась пятилеткой эффективности и качества. В эти годы наряду с выполнением большого числа других важных мероприятий было построено много высокоэффективных комплексов в различных отраслях народного хозяйства.

На всемерное повышение эффективности во всех без исключения областях нацелены решения партии и правительства. Та же задача красной нитью проходит в документах XXVI съезда КПСС, пленумов Центрального Комитета, в исторических постановлениях по Продовольственной программе.

Это направление в развитии советской экономики является стратегическим, долговременным, не терпящим в то же время необоснованного промедления в решении назревших проблем. Поднятие производительных сил общества на качественно новый уровень партия ставит в прямую зависимость от интенсификации, ускоренного внедрения в производство достижений науки и техники, от осуществления крупных комплексных программ.

Комплексы — закономерная ступень развития производительных сил. Они появились именно потому, что оказались объективно необходимыми для обеспечения крутого роста эффективности в различных отраслях хо-

зяйственной, научной и другой деятельности человека.

Но всякий ли сложный объект, состоящий из многих частей-подсистем, обеспечивает прирост эффективности? Да и что такое эффективность, чем ее измеряют?

Здесь снова возникает необходимость использования сослагательного наклонения. Чтобы реализовать прирост эффективности и, следовательно, оправдать создание комплекса (а затраты на их создание весьма велики), нужно обязательно выполнить принципы комплексного подхода, осуществить множество условий.

Нужно правильно выбрать все подсистемы. Должна быть обеспечена хорошая взаимосвязь между частями. Нужно иметь очень хорошее управление всеми этими частями и комплексом в целом. Управление должно быть нацелено (ориентировано, как говорят специалисты) на требуемую эффективность. Должно быть максимально снижено применение ручного труда. Все части, все системы и объект в целом должны иметь очень высокую надежность. Нужно, нужно, нужно... Обо всем этом читатель узнает, дочитав книгу до конца.

И здесь мы подходим к еще одной группе причин, обусловивших переход к комплексам. В числе важнейших предпосылок создания комплексных структур — требование кардинального повышения надежности. Пока еще нельзя гарантировать, что в системе никогда не произойдет отказа. Чем она сложнее, чем больше в ней деталей и соединений, тем, вообще говоря, выше возможность отказа какого-нибудь элемента. А ведь эффективность и надежность тесно связаны друг с другом.

Но есть испытанный способ значительного снижения опасности отказов (заметьте: не самых отказов, а их последствий) — это так называемое дублирование. Оно заключается в параллельном подключении резервных агрегатов, а то и целых систем. На особо ответственных объектах, там, где отказы угрожают серьезной аварией или тем более катастрофой, вводятся даже три, а то и четыре параллельные линии. Специальные, достаточно сложные логические устройства обнаруживают отказы и немедленно, без задержки осуществляют переключение систем. Эти устройства-переключатели должны обладать большой чувствительностью; они должны безошибочно распознавать отказы в работающих системах. Но ведь и их самих надо защищать от отказов!

Так образуется весьма сложная структура парал-

лельных цепей и командно-переключающих устройств, назначение которых — обеспечение надежной работы объекта даже при возникновении отказов в каких-то его элементах. Такая структура — непрменный характерный признак большинства эффективных комплексов.

Да, но ведь надежность можно повысить, улучшая конструкцию каждой детали, добиваясь ее безотказности, — может возразить читатель. Совершенно верно, борьба с отказами ведется на многих фронтах. Повышение надежности каждого элемента и введение резервных, параллельных цепей — две стороны одной медали, взаимозависимые направления развития современной техники. Оба эти направления должны развиваться одновременно и интенсивно, потому что как надежность, так и резервирование имеют пределы.

Необходимость существенного повышения безопасности, исключения возможности значительных аварий или катастроф — одна из серьезнейших и важнейших проблем, стоящая сегодня перед создателями новой техники в большинстве отраслей. И это понятно: уж слишком большие изменения произошли в технике за последние десятилетия, что привело к резкому возрастанию скрытых опасностей.

Функционирование очень многих объектов — самолетов, ракет, судов, электростанций, станков, двигателей, турбин, химических установок, реакторов и т. д. — сопряжено с потенциальной угрозой для человека, как непосредственно связанного с этими объектами, так и случайно находящегося вблизи них. Если не принять специальных мер, то в случае каких-либо нарушений или отказов опасность может возрасти во много раз. Современные технологические процессы могут представлять также угрозу и для окружающей среды.

Максимально снизить степень опасности путем использования защитных устройств, многократного резервирования, автоматизации, применения очень чувствительных средств контроля, внедрения современных средств управления призваны именно комплексы. Они объединяют все эти разнородные сложные компоненты в единый, четко функционирующий, надежный, безопасный и эффективный механизм.

Говоря о возникновении комплексов, нельзя не назвать таких видных ученых и инженеров, как М. В. Келдыш, С. П. Королев, А. Н. Туполев, А. И. Микоян,

П. О. Сухой и других, давших начальный импульс этим перспективным структурам, руководивших их созданием в своих отраслях. Именно они, будучи выдающимися специалистами-организаторами новых научных и технических направлений, стояли у колыбели комплексов. Они своевременно поняли, что трудности, возникшие на пути прорыва техники в совершенно новые сферы, можно преодолеть не за счет какого-то одного изобретения, одной пусть даже наисовременнейшей идеи, а только объединяя, «комплексирова» целый ряд нововведений. Теперь ясно, насколько правилен, перспективен оказался этот путь.

Автор в своей книге задался целью ответить на узловые вопросы относительно комплексов, их назначения и создания, их эффективности и способов ее измерения. Не вдаваясь в подробности, обязательные для научных монографий, автор стремился в сущности решить одну задачу: помочь читателям выработать общее представление о комплексах и связанной с ними проблематике.

### **Нить Ариадны в лабиринте проблем**

Не следует думать, что создание комплексов проходит гладко. Наоборот, на пути ученых, конструкторов, техников и рабочих, проектирующих, строящих и эксплуатирующих комплексы, непрерывно возникают десятки и сотни проблем, больших и малых трудностей.

Комплексы могут дать существенно больший эффект, нежели предшествующие им традиционные системы. Но и трудности им сопутствуют несоизмеримо большие. Современная техника не прощает неверных шагов, ошибочных решений. Конечно, строгость характерна для всех периодов развития средств и орудий производства, но нынешняя техника стала намного сложнее и строже. Немаловажно и то обстоятельство, что любой проблеме соответствует не одно возможное решение, а множество. Между тем выгоду сулит лишь небольшое число вариантов. Кроме того, комплексы намного дороже объектов, строившихся лет 15—20 назад... Следовательно, ошибки могут обернуться очень большими потерями. Поэтому сегодня выбор правильного решения неизмеримо более ответственное дело, чем четверть века назад.

Буквально ежечасно руководителям коллективов, проектирующим большие сложные системы, приходится решать множество вопросов, которые ставит перед ними



жизнь. Вот всего лишь несколько типичных примеров, относящихся к начальной стадии проектирования комплексов.

Какие системы-компоненты необходимо включить в состав комплекса, чтобы поставленные перед проектом задачи решить наилучшим образом, наиболее эффективно? Как выбрать эти системы? Должны ли это быть совершенно новые, еще нигде не применявшиеся системы или более старые, но зато известные, хорошо отработанные? Как объединить, состыковать эти совершенно разнородные и, следовательно, трудно связываемые системы в единое целое? Как обеспечить поступление всей необходимой информации и ее быструю обработку? Насколько широко следует применять автоматические устройства? Как уменьшить долю ручного труда в технологическом процессе, а еще лучше — вообще ликвидировать его? И так далее и тому подобное. Поистине 100 тысяч «почему» и «как».

Заметим, что упомянутые вопросы (в действительности их сотни) не результат чьих-то сомнений, не проявление любопытства, а закономерный этап проектирования, его составная часть. Известно, что работа проектировщика на начальном этапе может быть сведена к формированию четких ответов на определенную цепочку вопросов. По существу, это алгоритм выработки концепции, которая затем должна стать основой проекта.

Есть еще один важный круг вопросов, подлежащих решению при выработке концепции. Задача ускорения технического прогресса требует, чтобы каждый проектируемый или вводимый в строй объект — будь то самолет, корабль, завод, гостиница, металлургический комбинат или электростанция — не только выполнял привычные, хорошо известные функции, но имел определенные преимущества, отличался от своих предшественников определенными показателями.

Число показателей, характеризующих новый объект (да и старый тоже), весьма велико; мы посвятим им в дальнейшем целый раздел. Здесь же укажем, что, например, для транспортной системы желательно повысить скорость, безопасность и регулярность движения, снизить расход топлива, улучшить экономичность, уменьшить численность персонала. Для промышленного предприятия ориентиры, как правило, такие: увеличение объема производства, повышение надежности, долговечности и каче-

ства выпускаемых изделий, снижение расхода энергии, материалов, воды, тепла на единицу продукции. Особенно актуальным остается снижение затрат ручного труда, уменьшение численности работающих, приходящихся на одно выпускаемое изделие.

Не обязательно (да и практически невозможно) одновременно повышать все показатели. Достаточно получить прирост, выигрыш (или снижение, если того требует смысл показателей) по части из них. Но остальные должны соответствовать уже достигнутому, общепризнанному уровню, требованиям соответствующих стандартов.

Выбор показателей, по которым должен быть получен выигрыш, прирост, также входит в задачу формирования концепции. При этом необходимо определить, с помощью каких составных частей-компонентов комплекса можно решить эту задачу.

Если концепция выработана, ответы на все вопросы найдены, то возникают новые трудности, связанные с воплощением принятых решений в жизнь, реализации концепций «в металле», как принято говорить. Много проблем возникает на стадии испытаний и проверок.

В таком сложном, ответственном деле, как создание, испытание и эксплуатация комплексов, нужна строгая научная база, мощный, надежный фундамент. Как тут не вспомнить древнегреческий миф об Ариадне.

Афинский герой Тесей был обречен на съедение чудовищем Минотавром, жившим в лабиринте на острове Крит. Никому из попавших в лабиринт не удавалось еще выйти из него. Но Ариадна, дочь критского царя, помогла Тесею, дав ему клубок ниток. Убив Минотавра, Тесей с помощью нити, закрепленной у входа, смог выбраться из лабиринта. Крылатая фраза «нить Ариадны» означает способ выхода из трудного, запутанного положения.

На помощь создателям комплексов пришла новая наука — системотехника, которая служит фундаментом проектирования больших сложных систем на основе комплексного подхода.

Системотехника исходит из того, что предпосылки и концепции, породившие комплексы, а следовательно, принципы построения, организации, а также трудности и проблемы, им сопутствующие, сходны между собой. Это тоже одна из причин, позволивших нам говорить о комплексах как о близких родственниках.

До появления комплексов общей науки для всех систем не требовалось. Каждый класс систем — станки, машины, двигатели, суда и многие другие — жил и развивался в определенной «изоляции» от всех остальных (хотя, конечно, никакую машину нельзя построить в «обход» запретов, налагаемых природой, то есть без опоры на законы, открытые естествознанием). Теперь же потребовалась наука, нацеленная на решение проблем, общих для всех комплексов.

Для подтверждения сказанного мы позволим себе процитировать известного советского специалиста по кибернетическим системам Г. Н. Поварова. В предисловии к русскому изданию книги А. Холла «Опыт методологии для системотехники» он пишет: «Одним из важнейших аспектов современной научно-технической революции является возникновение техники больших систем, или системотехники, как ее кратко называют. Системотехника — это не только новая отрасль технических знаний, но и новый подход к техническим задачам, связанный с изменением масштабов и форм человеческой деятельности. Количество еще раз перешло в качество.

Мир человека стал гораздо сложнее и в то же время гораздо подвижнее и текучее, чем когда-либо раньше. Рост производства и народонаселения, увеличение мощностей и скоростей, развитие вооружений, напряжения хозяйственной и политической жизни — все это создает острые проблемы, требующие быстрых действий с громадными ресурсами. Ответом было появление больших технических систем, где сотни и тысячи разнообразных компонентов, часто разбросанных по обширной территории, объединяются в одно целое средствами автоматизированного управления, обеспечивающими необходимую быстроту и гибкость реагирования...

Большие системы представляют собой новую, более высокую ступень развития производительных сил по сравнению с прежними, малыми системами — классическими тепловыми и электрическими машинами и аппаратами. Они увеличивают могущество человека, позволяют ему делать больше за меньшее время, решать задачи, иначе неразрешимые. Они же ставят перед ним и новые требования.

В инженерном мышлении происходит ломка многих традиций. Разработка малых систем опиралась прежде всего на детальный анализ, на растущую специализацию

задач и методов. Разработка больших систем, напротив, предполагает интеграцию, синтез, рассмотрение различных сторон явлений. Здесь нужна мудрая дальновидность, умение связать близкие цели с дальними, технические перспективы с социально-экономическими. Это называют системным подходом к технике...

Конечно, малые технические системы будут развиваться и дальше, но техника больших систем шаг за шагом завоевывает господствующее положение. Малые системы становятся частями больших, да и сами все чаще фабрикуются при их помощи.

Наша страна достигла значительных успехов в разработке и применении больших систем. Уже знаменитый план ГОЭЛРО заключал важные элементы того, что впоследствии получило имя системного подхода...»<sup>2</sup>

Системотехника поистине стала путеводной нитью, позволяющей ученым, конструкторам, испытателям, инженерам и другим специалистам находить выход из запутанного лабиринта проблем, сопутствующих созданию и эксплуатации комплексов.

Без строжайшего соблюдения принципов системотехники успеха в этом деле достигнуть нельзя. Хотя легендарный Тесей и убил Минотавра, без нити Ариадны (да еще закрепленной у входа) он не мог бы выйти из страшного лабиринта. Однако этой простой истиной иногда, к сожалению, мы пренебрегаем.

Можно годами строить комплекс, затратить на него огромные средства, а к моменту торжественного пуска или ввода в строй узнать, что он недостаточно эффективен или морально устарел. Случается, что построенный комплекс достигает проектной мощности слишком долго — его приходится длительное время наладивать, доводить. К сожалению, такие факты не столь уж редки. Они встречаются чаще, чем это можно было бы объяснить ссылками на «объективные» причины. Между тем истинная причина таких явлений — потеря путеводной нити, отказ от принципов системного подхода или их недооценка.

Обратившись к основополагающим партийным документам последних лет, мы увидим, что задача ставится так: в двенадцатую пятилетку войти с хорошо отлаженным хозяйственным механизмом, который позволил бы полнее использовать возможности развитого социализма. В решении этой задачи ведущую роль призвана сыграть

экономическая наука. В начале 1984 года «Правда» опубликовала постановление ЦК КПСС «О повышении роли Института экономики АН СССР в разработке узловых вопросов экономической теории развитого социализма». В нем, в частности, сказано: «Не удовлетворяет современным требованиям уровень исследования проблем эффективности производства в условиях преимущественно интенсивного его развития, путей ускорения научно-технического прогресса, улучшения планового управления народнохозяйственным комплексом»<sup>3</sup>.

В нашей книге мы расскажем о некоторых проблемах, связанных с созданием и существованием комплексов, о системотехнике как науке. А чтобы читатель, не будучи специалистом, смог понять, что такое «большие сложные системы», мы предложим его вниманию общеизвестные примеры современных высокоэффективных комплексов, обратившись к военной и гражданской авиации, к космонавтике и автомобилестроению.

### **Сколько граней у комплекса?**

Прежде чем рассматривать конкретные комплексы, представим себе в общих чертах современную большую сложную систему, поговорим о ее облике.

Мы уже знаем, что согласно весьма общему определению комплексом называется объединение в единое целое большого числа разнородных, сложных, крупных систем, тесно связанных между собой. Такое объединение характеризуется рядом свойств: высокой степенью автоматизации, очень хорошим управлением, большой надежностью, невиданной ранее точностью работы, минимальной долей ручного труда в технологических процессах. Попытаемся теперь раскрыть сущность этих определений, отразить наиболее важные, характерные стороны, присущие всем большим системам, несмотря на различия, обусловленные их назначением и задачами.

Для комплекса нельзя назвать одну, самую важную или типичную черту. Он характеризуется одновременно многими свойствами, отделить которые друг от друга невозможно. Такая многогранность находится в строгом соответствии с системным подходом, она вытекает из него.

Одна из существенных особенностей комплекса — крупномасштабность целей, «громადье» задач. Каждый комплекс играет весомую роль в масштабах региона, от-

расли и даже всего народного хозяйства. А ведь цель определяет облик системы, гласит принцип системотехники.

Вспомним примеры, приведенные в начале книги. Комплекс непрерывной разливки позволяет получать стальной прокат в едином процессе, без применения изложниц и блюмингов. Благодаря этому резко сокращаются производственные площади. Сегодня даже далекие от техники люди представляют себе, сколь велика площадь, занимаемая традиционным металлургическим производством, как длинен путь от руды до стальных заготовок. Сократить технологический цикл, уменьшить занимаемые площади — очень важная задача.

Но этого мало. Качество металла при непрерывной разливке значительно улучшается и даже превосходит качество проката. Производительность труда существенно возрастает. Увеличивается и объем выпуска проката.

Обобщая, можно утверждать, что цель комплекса сводится либо к решению на совершенно новом качественном уровне пусть привычных, старых, но очень актуальных задач, либо к получению принципиально новых технических результатов, достижение которых иными путями просто невозможно.

Отсюда ясно, что в самом рождении комплекса должен воплощаться научно-технический прогресс. По конечным результатам, по получаемому эффекту, по множеству показателей и характеристик современные комплексы совершенно несопоставимы с системами, существовавшими даже 15—20 лет назад.

Однако совершенно ясно, что отнюдь не всегда и не везде нужны комплексы. Чтобы было принято решение о создании той или иной большой сложной системы, необходимо наличие на пути развития соответствующей отрасли некоего барьера, преодолеть который можно только путем привлечения новых систем, кардинального улучшения управления, внедрения автоматизации, существенного усовершенствования организации. Ориентация на преодоление технических барьеров еще одна важная особенность комплексов.

Так было в металлургии, в авиации, на транспорте, в судостроении, при постройке гигантских машиностроительных и автомобилестроительных заводов-комплексов и даже в сервисе. Каждая из вновь созданных больших систем выполняла, казалось бы, традиционную задачу —

давала прокат, обеспечивала перевозку пассажиров или грузов, производила машины, предоставляла услуги. Но научно-технический прогресс предъявлял к решению этих задач значительно более высокие и жесткие требования. В этих требованиях и заключалась суть дела.

Так, например, совмещению разливки стали с горячей прокаткой в одном непрерывном процессе мешал «барьер» различия скоростей. Ведь скорость разливки исчисляется одним-двумя метрами в минуту, тогда как скорость прокатки в сто раз выше!

По образному выражению члена-корреспондента Академии наук СССР, Героя Социалистического Труда Г. Химича, ситуация напоминала «звуковой барьер», который пришлось преодолевать конструкторам авиационной техники в 40-х годах <sup>4</sup>. И хотя для взятия «звукового барьера» комплексы еще не потребовались (они возникли позже, на следующих стадиях развития авиации), в производстве стального проката барьер непрерывности был преодолен с помощью комплексов.

Заметим, что идея непрерывности разливки стали родилась более ста лет назад, но воплотить ее в жизнь оказалось невозможным по причинам, связанным не только с металлургией. Нужно было создать не только совершенно новые машины для выполнения каждого технологического этапа, но и сопрячь все этапы в единый слаженный непрерывный поток. А это невозможно было сделать без очень хорошего управления и автоматизации, без разветвленной информационной системы, включающей тысячи датчиков, сигнализирующих о каждом движении огненной ленты.

В машиностроении нужно было существенно повысить качество и надежность выпускаемых машин, резко увеличить их количество, снизить затраты труда на единицу продукции. Барьер состоял в том, что традиционная технология, обычная организация не позволяли сделать этого. Нужно было изменить облик предприятий, превратить их в комплексы. Достигалось это постройкой новых заводов или же кардинальной реконструкцией старых.

В ряде случаев, однако, комплексы возникли сразу. В основном это характерно для новых отраслей, порожденных НТР: барьеры перед ними возникли в самом начале пути. Иначе чем на основе комплексов новые технические направления, машины или виды производства создавать было невозможно. Если авиация пришла к

комплексам, пройдя долгий путь развития, то космическая техника была связана с ними практически с рождения. Так же обстояло дело с атомной энергетикой, производством новых, ранее неизвестных химических продуктов.

Сегодня во многих отраслях работают уже комплексы второго и третьего поколений, несомненно будут рождаться последующие. Это свидетельствует об интенсивном развитии данных видов техники. Каждое новое поколение обязано своим рождением возникновению совершенно новых требований, иных условий.

Но продолжим разговор об облике комплекса. Когда говорят об облике, то имеют в виду не внешний вид (что может быть внешне общего между самолетом Ил-86 и комплексом защиты от наводнения?), а внутреннюю структуру, характер технологического процесса, состав систем, их функции, организацию и управление.

Функционирование комплекса осуществляется обычно в виде многоэтапного непрерывного процесса, имеющего четкое начало («вход») и окончание («выход»). Говоря о «выходе», имеют в виду не только конечный результат, но и требования к этому результату, показатели, его характеризующие, и допуски на эти показатели. Так, например, стальные заготовки в комплексе непрерывной разливки должны иметь на «выходе» строго определенные размеры с очень малыми отклонениями, определенную прочность, вязкость, твердость и т. д.

В отличие от предшествующих систем, в которых технологический процесс осуществлялся как бы рывками, с промежуточными паузами, остановками, отрицательно сказывающимися на результатах, в комплексах непрерывность является органическим свойством, более того, они создаются для обеспечения такой непрерывности. Многие подсистемы комплекса, а главное, его управление и автоматика должны обеспечивать эту непрерывность, сглаживать стыки, соединяющие этапы технологического процесса.

Выше нам уже доводилось затрагивать этот вопрос, когда мы говорили о сопряжении технологических этапов в комплексе непрерывной разливки стали. Здесь же отметим аграрно-промышленные комплексы, о которых так много сказано в Продовольственной программе. Они, в частности, нацелены на непрерывность всего технологического пути продуктов сельского хозяйства от поля



до потребителя. Этот путь включает в себя такие взаимосвязанные этапы, как подготовка земли к севу, сев, уход за посевами, уборка урожая, заготовка, транспортировка, переработка и хранение и т. д. вплоть до появления продуктов на прилавках магазинов или на рынке. Только аграрно-промышленные комплексы могут в современных условиях эффективно, масштабно решить эту гигантскую и очень трудную задачу.

Во многих случаях облик промышленных систем (а теперь и сельскохозяйственных) представляют с помощью так называемых блочных схем, хорошо отражающих важнейшие особенности сложной структуры.

Конечно, схемы рисуют на бумаге, но они полезны и в рассказе. Компоненты комплекса изображаются в виде блоков, соединенных между собой линиями. Это функциональные или технологические связи, информационные потоки, линии коммуникации, воздействия управления.

Каждый блок напоминает куклу-матрешку: ведь он состоит из целого ряда подсистем, те, в свою очередь, из узлов, узлы из элементов (деталей).

В блочных схемах отражена большая роль связей, стыков и взаимодействий. Нарушите эти связи, и система распадется, превратится в конгломерат. Поэтому соединения и коммуникации должны рассматриваться как важнейшие, неотъемлемые части всей структуры.

Подобная многоступенчатость, иерархичность — это единственно возможная форма построения сложных систем. Корни ее уходят в глубину веков. Так, например, древнее египетское государство было организовано по иерархическому принципу, хотя и весьма несовершенному. Само же понятие «иерархия» — греческого происхождения. Обозначает оно «служебную лестницу», то есть ряд чинов, разрядов, званий, расположенных в порядке постепенности от низшего к высшему.

Несоизмеримо более совершенна иерархия в природе. Мало-мальски сложные живые существа обладают «блочной» организацией. Органы дыхания, кровообращения, кроветворения, пищеварения, дыхания, нервная система и т. п. могут рассматриваться как типичные блоки. В свою очередь они состоят из более «низших» органов. И так по ступеням до клеток, играющих в природе роль элементов. А ведь число клеток в органах достигает миллионов и миллиардов. Есть основания полагать, что

иерархическая структура имеет место и в человеческом мозгу.

Обратимся к творениям рук человеческих. Если проследить историю машин и сооружений, то сложность их непрерывно возрастала. Простейшие, элементарные системы содержали несколько десятков элементов. «Малые» системы состояли уже из сотен и тысяч; поэтому сложность можно условно характеризовать числом элементов.

«Средние» системы объединяют десятки тысяч деталей. «Сложные» системы (напомним, что в данном случае этот термин обозначает определенный класс систем) включают от десятка тысяч до миллиона элементов.

Уже давно конструкторы обнаружили плодотворность иерархической организации. Вместо того чтобы создавать одну разросшуюся гигантскую многоклеточную систему, которая, по-видимому, вообще не могла бы работать, ее расчленяют на блоки-компоненты, между которыми должны устанавливаться очень четкие взаимосвязи и взаимоотношения.

Этот принцип возник еще задолго до рождения комплексов. Вспомним самолет. Если первые «летающие этажерки» не требовали блочной структуры (хотя зачатки ее просматривались), то уже на рубеже первого десятилетия нашего века блоки четко оформились. Крыло (точнее, система крыльев, так как самолеты имели две, три и даже четыре несущие поверхности), фюзеляж, двигатели, вертикальное и горизонтальное оперение, шасси, система управления, оборудование — все это типичные блоки-подсистемы, связанные не только конструктивно, но и функционально.

Блочную структуру получили и промышленные системы — предприятия. Действительно, изготовление деталей начинается на станках или машинах; станки последовательно объединяются в группы, группы — в участки. Несколько участков образуют цех, отличающийся единым характером производства. Высшая ступень организации промышленных систем — это завод или фабрика. Помимо цехов, производящих детали или узлы, они включают в себя сборочные цехи, цехи покраски, испытательные стенды, склады, транспортную службу, энергетическое хозяйство и административно-управленческий отдел.

Из сказанного ясно, что уже «малые» и «средние» системы обладали в определенной мере блочной струк-

турой. Появление комплексов сопровождалось существенным развитием иерархичности систем. Этот принцип проник не только в организацию, но и в управление, чего в прежних системах не было. Обусловлено это многими причинами.

Во-первых, число элементов, входящих в комплексы, стало почти астрономическим: оно колеблется от десятков миллионов до сотен миллиардов. По оценкам специалистов, в ближайшем будущем оно сможет достичь 15—20-значных чисел<sup>5</sup>.

Во-вторых, изменился облик и состав блоков-компонентов. Все они стали несоизмеримо более сложными. Мощностъ энергетической части возросла во много раз. В упряжке комплекса теперь не сотни или тысячи лошадиных сил, а миллионы.

Третья особенность структуры заключается в том, что крупные компоненты комплексов имеют определенную автономию (в «малых» и «средних» системах этого нет). Компоненты решают самостоятельную, хотя и ограниченную, производственную или иную задачу, обеспечивают осуществление того или иного этапа технологического процесса. Иногда один этап выполняется с помощью нескольких систем, которые объединяются в один блок-компонент.

В качестве примера сошлемся на автомобилестроительный завод «Тоё когё» в Хиросиме (Япония), принадлежащий к наиболее мощным предприятиям этого типа в мире. По существу, это огромный высокопроизводительный автостроительный комплекс. Завод объединяет 130 цехов, разделенных на шесть объединений-департаментов (они-то играют роль основных компонентов, так как обладают большой автономией). Аналогичное положение имеет место на наших автогигантах ВАЗе и КамАЗе, о которых мы подробно расскажем в одной из последующих глав.

Однако комплекс — это единый неразрывный механизм. Как колеса сами по себе не могут выполнять функции, осуществляемые повозкой, то есть системой в целом, так ни один компонент в отдельности не может выполнить задачи, поставленной перед комплексом.

Не следует, однако, понимать сказанное так, что в технологическом процессе участвуют одновременно все системы. Нет, комплексы обладают так называемой избыточностью: для повышения надежности на одну огра-

ниченную или частную задачу может быть нацелено несколько однотипных (а чаще всего даже разнотипных) систем. При этом только часть из них работает, остальные же находятся в резерве, ждут своего часа. Таким образом, некоторые системы или даже компоненты вступают в действие только при крайней необходимости или в момент опасности. Но этим гарантируется бесперебойная работа всего комплекса в самых тяжелых условиях.

Комплексы продолжают развиваться и расти. За сравнительно короткое время стало ясно, что и они не могут функционировать изолированно, как не могли изолированно существовать «простые», «малые» и «сложные» системы. Задачи, породившие комплексы, развиваются вширь и вглубь; они требуют для своего решения еще более масштабных и вместе с тем более сложных иерархических структур, компонентами которых являются уже не просто системы, а тесно связанные между собой комплексы. Такие гигантские объединения получили наименование отраслевых или производственных региональных комплексов; они могут быть также названы макрокомплексами (от греческого слова «makros» — приставки, указывающей на очень большие размеры).

К подобным структурам несомненно принадлежит аграрно-промышленный комплекс, объединяющий множество предприятий совершенно различных отраслей.

Число элементов в макрокомплексах по ориентировочным подсчетам достигает 30—40-значных чисел и, по-видимому, будет расти и дальше. Мощности макрокомплексов достигают сотен миллионов и даже миллиардов лошадиных сил.

При использовании микротехники, интенсивно развивающейся в последние годы, комплексы могут размещаться на сравнительно небольших площадях. Поэтому название «большие системы» является в определенной мере фигуральным. Для макрокомплексов же характерны очень большие размеры; они, как правило, размещаются на значительной территории.

### **Комплексы — управление и автоматизация**

Практически все системы, созданные человеком, управляемые. Плуг, конная повозка, ветряная мельница, ирригационный канал, корабль, боевая колесница — все эти системы не могли выполнять своего назначения без

управления. Поэтому в каждой из них были предусмотрены устройства, с помощью которых управляющий ими человек осуществлял необходимые управляющие действия.

Очевидно, что без управления невозможно создать организованную систему. Чем больше система, чем выше ее организация, тем лучше должно быть управление. Но как понять здесь слово «лучше»? Ответ должен быть основан на комплексной оценке. Оно означает: точнее, быстрее подчиняется воле человека (а управляет в конечном счете человек); допускает меньше погрешностей; обеспечивает достижение более высоких показателей, характеризующих конечный результат; надежнее, то есть имеет меньше отказов; воздействует на все части и компоненты, входящие в систему. Из сказанного следует, что комплексам должно быть свойственно хорошее, четкое и надежное управление, основанное на автоматизации, нацеленное на получение высоких конечных результатов во всех условиях, в том числе и неблагоприятных. Роль человека в управлении комплексами совсем иная, чем в «обычных» системах,— значительно более высокая; поэтому и степень автоматизации здесь несоизмеримо более высокая.

Поскольку комплекс состоит из большого числа систем, необходимо управлять всеми компонентами, всеми взаимосвязями. Поэтому автоматизация должна быть сплошной, или, как говорят, комплексной (хотя это не обязательно означает полной, то есть работу всех частей и объекта в целом без участия человека). При этом в задачу управления должно входить обеспечение непрерывности технологического процесса. Если на одном из этапов возникают задержки или, наоборот, процесс чрезмерно ускоряется, должны быть приняты немедленные меры к устранению нарушений как того, так и другого вида. Ведь сложной работе комплекса противопоказаны не только заторы, но и местные неожиданные ускорения; и те и другие способны нарушить весь ритм работы. Управление должно также парировать последствия различных опасных и даже аварийных ситуаций.

А задумывались ли вы, читатель, зачем, собственно говоря, нужно управление, каковы его функции и структура, какие к нему предъявляются требования и почему оно усложняется?

Начнем с обыденных примеров; несмотря на простоту, они хорошо иллюстрируют основные принципы управления и позволяют ответить на поставленные вопросы в самом общем виде.

Когда мы, отдыхая, плывем в лодке по морю или озеру, управление служит для соблюдения некоего выбранного нами же маршрута — программы. Загребая одним веслом сильнее или слабее, мы направляем лодку в нужном нам направлении, и она послушно следует нашей воле. Свобода выбора здесь велика, а точности большой для прогулок вблизи берега не требуется. В тихую погоду с управлением этой элементарной системой легко справляется даже не очень опытный гребец; в большинстве случаев можно обойтись и без рулевого.

Но вот внезапно налетает ветер и разыгрывается буря. Теперь к управлению предъявляются несоизмеримо более серьезные требования: лодка не должна перевернуться, и ее, несмотря на трудности, надо причалить в то место, откуда мы отплыли. Этот своего рода конечный результат достигнуть в бурю не столь просто. Теперь рулевой очень был бы нужен, так как гребец должен интенсивно работать обоими веслами. Весьма кстати был бы мощный двигатель и хотя бы несложная навигационная система, дающая представление о нашем местоположении: ведь берега не видно. Поэтому современные прогулочные яхты, не говоря о больших судах, обладают тем и другим, что позволяет им противостоять грозной стихии, уплывать далеко от берега, совершать межконтинентальные рейсы, соблюдать маршрут и более или менее точно придерживаться расписания.

На лодке мы управляемся с помощью несложного мотора, весел и руля; здесь достаточен экипаж из одного-двух человек. На судах и даже на больших яхтах устанавливаются мощные двигатели и множество различных агрегатов. Всеми ими нужно управлять. Для того чтобы численность экипажа не возрастала значительно, приходится применять автоматику.

Наш простейший пример позволяет выделить типичные функции управления: осуществление выбранной программы (проплыть по маршруту, прибыть в заданное место) и соблюдение нормального текущего состояния (не дать лодке или судну перевернуться). В функции управления входит и смена программы при изменении условий (налетела буря, надо возвращаться), и принятие

экстренных мер при возникновении опасной ситуации (в лодке течь, надо вычерпывать воду).

Заметим, что на маленькой лодке все это делает человек вручную; на большом судне для этого используются всевозможные устройства, а гигант водоизмещением 150 тысяч тонн просто насыщен автоматикой.

В этом примере мы соприкоснулись с еще одной серьезной проблемой — устойчивостью системы, то есть с ее способностью возвращаться без вмешательства управления к нормальному состоянию после действия возмущений. Судно, самолет, автомобиль, ракета и даже завод или сложный технологический процесс должны в той или иной мере обладать такой способностью, иначе им трудно (а то и невозможно) выполнять свои функции. Однако при больших и длительных возмущениях одной устойчивости недостаточно; ей должны помогать автоматика и управление.

Для осуществления управления нужно знать, каково истинное состояние системы (в нашем примере — положение лодки относительно берега и причала, а также ее крен), с тем чтобы действовать в правильном направлении. Очевидно, что управлять вслепую, не располагая информацией, нельзя.

В примере с лодкой информационную задачу решает гребец, причем делает он это на глаз, ориентируясь по очертаниям берега и положению лодки; конечно, сам он не задумывается о столь громком названии своих функций. На большом судне указанная задача решается капитаном и рулевым с помощью навигационных и многочисленных радиоэлектронных систем. Она даже может решаться автоматически. Все это позволяет плавать в плохую погоду, в шторм и ночью, обеспечивает высокую точность судовождения.

Чем бы ни вызывалось усложнение морского судна или самолета как системы (первое, что приходит на ум, — это стремление конструкторов создать всепогодное транспортное средство, способное плавать или летать на большие расстояния, в то же время экономичное и безопасное), в конечном счете это влечет за собой совершенствование управления.

Особо точные, буквально ювелирные манипуляции должны осуществляться при швартовках судна, при проходе через опасные участки. Здесь нужно особенно точное управление. Вообще заключительный этап движения,

плавания или полета — причаливание, швартовка, посадка, въезд в гараж или на стоянку — требует большого искусства управления, и его начинают автоматизировать. Хорошо известно, что современные самолеты большую часть захода на посадку выполняют автоматически или полуавтоматически (летчик пилотирует самолет по командам приборов). Это существенно снижает зависимость полетов от погоды, повышает их безопасность. Но такой уровень совершенства достигается за счет значительного усложнения самолета.

Другой привычный и очень характерный прием управляемого объекта — телевизор. Включая и выключая его, выполняя необходимую настройку, то есть изменяя яркость, контрастность, частоту строк, фокусировку, громкость звучания и т. д., мы тоже осуществляем управление. Но в данном случае, правда, мы не столько управляем телевизором, сколько проводим регулировку множества агрегатов, входящих в его состав. И если на первых моделях все делалось вручную, то теперь, когда телевизор превратился в типичную «среднюю» систему, очень много операций взяла на себя автоматика.

И в этом примере легко обнаружить знакомые нам функции управления, хотя соотношения их изменились. На первом месте стоит соблюдение нормального функционирования (регулировка, настройка). Реализация выбранной программы (включение, переключение, выключение) играет относительно меньшую роль, все это легко выполняет тот, кто пользуется телевизором.

Если перейти к другим сложным техническим системам, то увидим, что везде прослеживаются эти же функции. Каждая система имеет свою программу, связанную с достижением конечного результата; существует большая необходимость в различного рода регулировках для поддержания нормального состояния самой системы и ее многочисленных подсистем.

Доставить пассажиров и груз из пункта А в пункт Б, сварить в мартене сталь, вспахать и засеять поле, построить столько-то машин в день — все это формулировки (пусть сильно упрощенные, поскольку к ним нужно было бы добавить ряд дополнительных условий, а также требований как технологического, так и экономического характера) конечного результата. Чтобы его достичь и выполнить все условия, нужно располагать соответствующей программой, которая служит ориентиром для



управления. Так, чтобы из пункта А попасть в пункт Б, нужно проехать какие-то промежуточные пункты, скажем В, Г, Д, Е и Ж. В одних следует свернуть направо, в других — налево. Нужно строго соблюдать график движения, чтобы прибывать во все пункты вовремя, по расписанию. Очень важно сегодня экономить топливо; поэтому программа содержит указания о скоростях движения, режимах работы двигателей и других агрегатов, потребляющих энергию. Заметим, что Колумб, отправившись на поиски пути в манящую Индию, плыл не наугад, а имел определенную программу и, как полагают некоторые исследователи, даже карту.

Сварить сталь, вспахать и засеять поле, построить машины — для всего этого тоже нужны программы. Их задают не только всему предприятию, но и каждому цеху, отделению, участку и каждому рабочему месту. Иными словами, в сложных системах имеет место определенная иерархия программ.

Если бы не возникали непредвиденные обстоятельства, коварный случай не вмешивался бы в нормальный ход событий, а требования к точности и качеству не были бы столь высоки, то выполнить программу, достигнуть поставленной цели было бы достаточно просто. Управление можно было бы поручить малоквалифицированному работнику или сравнительно несложному автомату. В заданные моменты времени они осуществляли бы запрограммированные управляющие воздействия. В зависимости от объекта это могли бы быть отклонения руля, включение или выключение двигателей или других агрегатов, изменение скорости, температуры, оборотов, сопротивления либо иных параметров, подача необходимых веществ, материалов и т. д.

В действительности же задачи управления несоизмеримо сложнее. Соблюдению нормального состояния и, следовательно, выполнению программы мешают всевозможные помехи, случайные факторы, опасные неожиданности (вспомним бурю, застигшую лодку вдали от берега). Борьба с ними — важнейшая задача управления. Нарушить нормальное функционирование могут и отказы тех или иных агрегатов. Управление должно предусматривать мероприятия и на этот случай, например, отключение неисправного агрегата, включение резервного.

Любой объект, любая система подвержены воздействию возмущений. Местом приложения возмущений могут быть и отдельные части системы, отдельные агрегаты. Плывающей лодке даже в относительно спокойную погоду угрожает порыв ветра, случайная волна, неосторожность пассажира, подводный камень. В определенной мере им противостоит устойчивость лодки, но без управления, повторяем, лодка собьется с нужного курса или просто останется на месте, не осуществит своей программы.

Применительно к производству нельзя заранее знать, каковы точно значения «входных» параметров — качества и состава сырья, характеристик комплектующих изделий и т. п. Они могут изменяться в пределах допусков, иногда даже выходить за эти пределы. Отклонения возможны и в режимах работы станков, машин, аппаратуры, например, из-за различий в настройке, колебаний подаваемой энергии или электрического напряжения. Отклонения допускают и люди, участники технологических процессов. Парировать все эти отклонения, колебания и возмущения должно управление, поскольку устойчивость системы оказывается недостаточной, чтобы противостоять возмущениям. В значительной мере могут повысить устойчивость различные автоматы. Вспомним центробежный регулятор Джеймса Уатта — этот первый автоматический агрегат, обеспечивающий постоянство оборотов паровой машины.

Из сказанного вырисовывается следующая общая структура управления, являющаяся частью системы более высокого уровня (в специальной литературе такая система называется объектом управления).

Во-первых, необходимо иметь четкую цель, определенный конечный результат, который должен быть достигнут благодаря управлению. Во-вторых, в системе должен быть «блок» (одушевленный или неодушевленный), осуществляющий управление. В-третьих, надо иметь с помощью чего управлять, то есть «блоки» для осуществления управляющих воздействий. В-четвертых, должна поступать информация о результатах управления. В-пятых, надо управлять также многочисленными агрегатами, входящими в состав объекта как сложной системы. Следовательно, должна иметь место определенная иерархия управления. В-шестых, должна быть предусмотрена возможность воздействия (при необходимости) на аварийные, резервные агрегаты. Значит, такие

агрегаты должны быть в составе объекта. В-седьмых, система должна обладать определенной устойчивостью.

И все же эта схема еще неполная.

Управление проводится в соответствии с некоторой программой, подготовленной до начала процесса, либо сформированной во время процесса. Следовательно, в структуре должен быть «блок», определяющий программу и корректирующий ее в дальнейшем.

Объект, подлежащий управлению, подвержен воздействию множества случайных факторов, поэтому он должен сам по себе обладать определенной устойчивостью. Однако основную роль в парировании вредных воздействий этих факторов играет, как уже указывалось, управление. Поэтому, прорабатывая схему управляемого объекта, надо всегда предусматривать некий «блок» возмущений, которые могут воздействовать на всю структуру. Только после этих дополнений можно считать схему управления законченной.

В прежних традиционных системах ключевой фигурой управления был человек. Обобщенно его теперь называют оператором. Им были в наших примерах гребец и кучер, водитель автомобиля и машинист поезда, пилот, летавший на самолете до «комплексной эры», и сталевар. В нашей условной схеме он олицетворял целый ряд «блоков», в первую очередь блок управления, блок информации, блок формирования программы.

В течение многих веков информация, необходимая для управления, поступала к оператору визуально. Он воспринимал окружающую обстановку, определял ее изменения, сопоставлял с тем, что соответствовало программе, принимал решения, воплощал их в жизнь с помощью соответствующих средств и органов управления. Естественно, он допускал ошибки, но в целом результаты управления соответствовали требованиям к точности.

Общий прогресс и развитие техники изменили, с одной стороны, цели систем, повысили требования к конечным результатам, к точности соблюдения программы; с другой стороны, несоизмеримо сложнее стали сами системы, которыми надлежало управлять. Увеличение количества элементов и числа взаимосвязей повлекло за собой значительное усиление возмущающих факторов. Как ни парадоксально, сложные системы подвержены воздействию возмущений и помех в гораздо большей степени, чем элементарные, простые системы.

Еще одна новая особенность заключается в том, что существенно быстрее протекают процессы в самих системах. В них теперь вовлечены значительно бóльшие материальные массы и объемы, бóльшие мощности, чем когда-либо раньше. А это, естественно, потребовало увеличения быстродействия управления, еще большей точности.

Визуальной информации стало совершенно недостаточно для управления, а само управление становилось все более тяжелым и трудным.

В состав систем конструкторы стали включать все более сложное и многочисленное оборудование, назначение которого в конечном счете заключается в том, чтобы обеспечить оператора необходимой информацией и облегчить управление. И все же изменения в системах на первых порах опережали управление. Вследствие этого трудности не уменьшались, а возрастали и накапливались. В 50—60-х годах на пути развития техники во многих отраслях возник «кризис» в информационных и управляющих системах. Это был своего рода барьер, препятствовавший продвижению вперед. Не преодолев новый барьер, нельзя было добиться увеличения эффективности, которого требовал научно-технический прогресс.

Выход заключался в коренном усовершенствовании всей структуры управления при одновременном соблюдении комплексного подхода. Хотя «блоки», описанные выше, в основном сохранились, их внутреннее содержание стало совсем иным. Они превратились в специализированные сложные информационные и управляющие подсистемы, компоненты комплекса<sup>6</sup>. Человек-оператор оказался «узким местом» процесса управления, и он уступил ряд своих функций многочисленным машинам, приборам, электронным устройствам. Бурно развивалась автоматика. Основой информационных и управляющих компонентов стали быстродействующие ЭВМ. Число агрегатов, блоков, датчиков, входивших в состав этих блоков — компонентов комплекса, резко увеличилось.

Можно утверждать, что необходимость существенного улучшения и облегчения управления послужила толчком к созданию многих комплексов. Здесь причины и следствия тесно переплетены между собой. Хорошее управление необходимо, в частности, из-за высокой сложности больших систем, наличия множества взаимо-

связей между компонентами. А в возрастание сложности, увеличение числа связей само управление внесло немалую лепту, поскольку в иных больших системах до 40 и даже до 50 процентов общего числа элементов приходится на долю информационно-управляющих блоков. Более того, появились самостоятельные информационно-управляющие комплексы и автоматизированные системы управления (АСУ), назначение которых состоит в сборе и обработке очень больших массивов информации, в осуществлении управления макрокомплексами.

Конечно, само по себе наличие ЭВМ, даже самых быстродействующих, еще не признак комплекса. Для этого должны быть соблюдены все остальные условия, о которых рассказывается в нашей книге. Если исходная информация собирается вручную, данные вводятся в ЭВМ с помощью тысяч перфокарт, а результаты машинного счета обрабатываются тоже вручную техниками-расшифровщиками, то перед нами всего лишь несколько модернизированная, но все же архаичная вычислительная группа обычной системы. Ведь здесь нарушены важнейшие условия — непрерывность, «равнопрочность» всего технологического потока, присущие комплексам.

ЭВМ в комплексах должны выполнять не только обработку информации и трудоемкие расчеты, но и осуществлять функции управления. Сбор всей необходимой информации, накопление ее и ввод данных в ЭВМ должны выполняться автоматизированно, с минимальной затратой ручного труда (исключить его в ряде случаев пока еще не удастся). Выдача информации из ЭВМ и различных автоматических устройств должна выполняться автоматически в наглядном и легко доступном виде.

С внедрением автоматизированных систем человек не был исключен из сферы управления. Время «кнопочного рая», обещанное увлеченными кибернетиками и писателями-популяризаторами, пока еще не наступило. Прогноз, основанный на анализе развития техники и, в частности, управления, указывает, что такое время, пожалуй, никогда не наступит.

Человек был избавлен от многих тяжелых и трудоемких функций; в комплексах, соответствующих не на словах, а на деле своему названию, ручной труд сводится к минимуму. Но за человеком осталась главная обязанность — принимать наиболее важные, ключевые решения. Они должны приниматься на основе данных, подго-

товленных соответствующими системами комплекса. Кроме того, человек обязан выполнять функции общего контроля систем комплекса. И здесь ему на помощь приходят многочисленные подсистемы автоматизированного контроля. Наконец, человек должен брать на себя управление в наиболее ответственные, критические моменты. Иначе говоря, человек является резервным элементом системы.

С созданием комплексов роль человека изменилась еще в целом ряде важных областей производства. Напомним, что в малых и средних системах человек обслуживал машины и агрегаты, подготавливал их к работе, настраивал и регулировал. От него, по существу, зависела точность каждой операции и, следовательно, точность конечного результата. Очень много операций, в особенности транспортировка, сортировка, складирование, установка, выполнялись вручную. Объясняется это тем, что человек хорошо приспособлялся ко всем подобным функциям, а создать необходимые механические устройства, которые могли бы заменить здесь человека, техника еще не была готова.

Как кучер вручную запрягал лошадь, подгонял сбрую, устранял мелкие дефекты и, главное, нагружал и разгружал повозку, так и в обычных малых и средних системах много операций осуществлялось людьми различной квалификации, в том числе разнорабочими и грузчиками. Доля этой категории рабочих была очень велика. С увеличением масштабов производства возникал как бы новый барьер — барьер ручного труда.

Ручной труд представлял собой серьезное препятствие на пути расширения производства хотя бы потому, что требовалось огромное число работников. Поэтому одна из задач, поставленных при организации комплексов, сводилась к резкому снижению доли ручного, малоквалифицированного труда, исключению трудоемких операций по транспортировке, складированию и установке изделий и деталей. На это была нацелена комплексная механизация и автоматизация, что означало устранение «узких» трудоемких мест не в одной-двух точках производства, а везде, где они возникают.

Непрерывность технологических процессов должна обеспечиваться широким применением эффективных механизмов и автоматических устройств, а также (если это возможно) роботов. Большое место в комплексах

занимают станки и машины с программным управлением. В них функцию настройки и управления взяли на себя электронные автоматы. И наконец, связи между компонентами комплексов должны осуществляться не с помощью ручного труда, а на основе современной технологии, автоматики и электроники.

Одно из перспективных направлений здесь — создание роботизированных комплексов, объединяющих преимущества и роботов и комплексов. В них все упоминавшиеся выше операции установки и снятия деталей, перенос их со станка на станок, складирование и изъятие со склада, а также покраска, сварка и т. п. выполняют роботы. При этом все этапы и участки должны быть теснейшим образом увязаны между собой, для чего, опять же, необходим системный подход. Без такой увязки эффект от комплекса резко снизится несмотря на оснащение его роботами и автоматами.

К требованиям, предъявляемым сегодня к автоматизированным системам управления, относится гибкость. Ведь любой процесс, какую бы отрасль мы не взяли, должен через какое-то время измениться, обновиться. Причиной может явиться переход на новые изделия, смена программ, модернизация производства и многое другое. В прежних системах автоматизированное управление было «жестким»; изменения либо совсем не могли быть сделаны без смены оборудования, либо требовали больших затрат средств, сил и времени. Сейчас системы управления и автоматики организуются так, что переход может осуществляться быстро, менее болезненно и надежно.

Еще одно требование — защита управления от возможных ошибок наладчиков. Ведь даже небольшая случайная ошибка в настройке автоматов может привести к серьезным сбоям всего производства, повлечь за собой большие потери.

# От «летающих этажерок» к большим системам

*Все, что происходит сегодня, это следствие  
того, что происходило в прошлом.*

*И р в и н Ш о у*

### Концепция — стержень проекта

В одной книге невозможно рассказать подробно обо всех наиболее интересных комплексах. Мы опишем детально лишь некоторые типично большие системы — авиационные, ракетно-космические, автостроительные. При этом будут оттенены общие, характерные особенности, присущие всем комплексам.

В настоящей главе речь пойдет об эволюции самолетов-истребителей, точнее о превращении истребителей-перехватчиков в авиационно-ракетные комплексы перехвата.

Истребители — наиболее динамичный класс самолетов, первым осваивающий технические новинки. Так, наивысшие для своего времени скорости, наибольшие высоты полета, наиболее мощные двигатели, самое совершенное оборудование — у истребителей. Они, естественно, обладают большой огневой мощностью... Однако истребители лидируют и в другом: число проблем, решаемых в процессе их создания, является, пожалуй, наибольшим среди всех типов самолетов.

Из истории авиации. Еще во время первой мировой войны наш соотечественник капитан второго ранга Щербачев выдвинул идею «контристребителя», то есть по современным понятиям перехватчика. Самолет должен был перехватывать и уничтожать пулеметным огнем вражеские машины на подступах к обороняемым районам или населенным пунктам. Для максимального ускорения встречи с противником — это свойство исключительно важно для перехватчиков, что уже тогда понимал Щербачев,— самолет должен был взлетать



с помощью рельсовой катапульты. Поскольку из-за большой (по тем временам) скорости — свыше 170 километров в час — посадка на сушу была затруднена, предполагалось посадить самолет на воду.

Задание на создание «контристребителя» было дано одновременно трем конструкторским бюро. Весной 1918 года одно из них закончило постройку самолета. Однако машина, представлявшая собой значительное техническое новшество, не была доведена и не испытывалась. Вместе с тем можно считать самолет Щербачева родоначальником всех последующих перехватчиков<sup>7</sup>.

Самолеты-перехватчики составляют очень важную часть противовоздушной обороны, ПВО, как говорят сокращенно. Функции их со времен «контристребителя» Щербачева практически не изменились, хотя общие технические данные и, следовательно, решаемые задачи выросли колоссально. Авиационные конструкторы всегда уделяли созданию перехватчиков очень большое внимание. С развитием средств нападения совершенствуются и улучшаются самолеты-перехватчики.

Мы видим эти самолеты на авиационных парадах и на экранах телевизоров, читаем о них в газетах, слышим про них в передачах по радио, хотя по известным причинам данные их не раскрываются.

Перехватчики находятся, можно сказать, на острие развития авиационной техники, они в передовом ее эшелоне. Совершенно естественно, что именно перехватчики одними из первых столкнулись с техническими трудностями, заставившими конструкторов в 50—60-е годы искать новые пути организации систем, приведшие потом к созданию комплексов. С тех пор комплексы появились во многих отраслях народного хозяйства. Но пример авиации ПВО в этом смысле особенно характерен. Целый ряд факторов, о которых речь пойдет ниже, обусловил в те ставшие уже историей годы переход от обычных самолетов-перехватчиков к авиационным комплексам перехвата, сделали его неизбежным и необратимым.

А что такое обычные самолеты?

Самолеты, которые сегодня мы считаем обычными, лет 25 назад просто не существовали. Летавшие же в те годы самолеты в свою очередь далеко ушли от тех, что строились в 20—30-е годы. Поэтому мы должны хотя бы вкратце коснуться эволюции летательных аппаратов.

Заря авиации. «Летающие этажерки» — так иронично, а порой и всерьез именовали первые, далекие от со-

вершенства летательные аппараты, от которых произошли современные ракетноносцы, сверхзвуковые истребители и бомбардировщики, комфортабельные, скоростные пассажирские лайнеры. Тогда эти «летающие этажерки» повсеместно вызвали восторженный интерес, поражали воображение. Причем не столько скоростью, которая, естественно, была весьма небольшой, не столько высотой полета, которая исчислялась несколькими сотнями метров, сколько самим фактом полета.

Достичь такого поразительного успеха, а к нему человек стремился много веков, удалось благодаря крылу (вернее, системе крыльев), оперению, легкому и вместе с тем мощному (по тем временам) мотору с винтом и управлению. Объединенные в одно целое эти четыре элемента, точнее подсистемы, поскольку каждая состояла из многих агрегатов, образовали систему, способную летать.

Изолированно ни одна из частей летать не могла, как не могла выполнять свои функции «усеченная» система, например самолет без крыла, оперения или управления. Вместе же они обладали необходимой «летучестью», устойчивостью и управляемостью, благодаря чему самолет подчинялся воле пилота.

Таким образом, обычный самолет с самого начала представлял собой малую систему, которая, пройдя все стадии усложнения, превратилась ныне в систему наиболее высокого уровня — комплекс.

Авиация принадлежит к тем отраслям техники, которые не терпят застоя. В ней то и дело рождаются новые идеи и конструктивные решения, влекущие за собой качественные изменения самолетов. Изменения касаются не только внешнего вида, но и назначения и выполняемых функций. Отсюда неизбежно должен измениться состав и характеристики элементов, входящих в самолет как систему.

На втором десятилетии своей жизни самолеты приобрели военную специальность. Мирные «летающие этажерки» превратились в самолеты-разведчики, бомбардировщики, истребители. На них появился новый элемент — вооружение. Еще раньше конструктивно оформился фюзеляж. Поскольку самолет начал подниматься все выше и выше, уходил все дальше от родного аэродрома, куда ему обязательно предстояло вернуться, а двигатель становился все более мощным, потребовалась еще одна

важная подсистема — пилотажное оборудование. И все это не стояло на месте, а ускоренно развивалось, совершенствовалось.

Одновременно росло число проблем, которые надо было решать конструктору, и он уже не мог заниматься всем сразу. Возникла объективная потребность в коллективах конструкторов — в конструкторских бюро. Те в свою очередь не могли работать изолированно, так как нуждались в помощи науки. Появились специализированные научно-исследовательские институты (вроде всемирно известного ЦАГИ) и летно-испытательные центры. Добавим к этому еще заводы по производству самолетов и двигателей, и мы получим еще одну систему — систему разработки и производства самолетов. Такой системы не было на заре авиации, когда каждый, кто задумал построить самолет, практически все делал сам; помощь других была очень ограничена, далеко не столь масштабной и разносторонней, как теперь.

Иным стал и сам процесс рождения новой машины, каждой новой конструкции.

Новую машину надо спроектировать, построить, да не в одном, а в нескольких экземплярах, чтобы иметь возможность тщательно ее проверить в испытаниях. Успех самолету может обеспечить только достаточно плодотворная и прогрессивная концепция, четкая руководящая идея, основанная на глубоком понимании конструктором задач, которые предстоит решать машине, и трудностей, мешающих выполнить эти задачи. Поэтому новая концепция должна содержать также технические пути преодоления трудностей, ожидаемых на пути реализации проекта.

Для выработки плодотворной концепции конструктор должен ощущать характер и направление развития авиации, в особенности того типа самолетов, над которым он работает. Это очень наглядно проявилось в годы второй мировой войны. Война по отношению к авиации сыграла роль своеобразного фильтра: она забраковала одни машины, включая даже такие, которые накануне, то есть в конце 40-х годов, считались хорошими, и дала путевку в жизнь другим, созданным как раз на основе перспективных концепций, но казавшихся иным специалистам не совсем удачными. Все дело в том, что преимущества новой концепции далеко не всегда очевидны.

Словом, авиационные комплексы, о которых мы будем дальше говорить подробно, появились не на пустом месте. Они были подготовлены всем ходом развития авиации.

Но как возникла идея комплексов, как стало ясно, что иначе самолет, обладающий необходимыми данными, не создать?

Концепция комплекса и ее практическое воплощение не есть чье-то персональное творение и достижение; она — плод коллективного творчества и труда, хотя роль руководителя коллектива здесь достаточно велика. Вот почему мы должны рассказать о работе авиационных конструкторских бюро — КБ, как их называют сокращенно.

Авиационное КБ обычно строится по так называемому бригадному принципу: коллектив его разбит на четкие подразделения — отделы и бригады, отвечающие за основные вопросы проектирования. Так, бригады крыла, фюзеляжа или шасси проектируют крылья, фюзеляж и шасси каждого самолета, создаваемого в КБ; отдел испытаний проверяет каждый самолет как изделие.

Руководители бригад и отделов стремятся в первую очередь развить свое родное направление, обеспечить ему преимущество. Но самолет, как любой сложный объект, может успешно решать задачи, ради которых он спроектирован, только при гармоничном, сбалансированном сочетании всех качеств, всех компонентов. Этот основной принцип проектирования — одно из важнейших положений системного подхода.

Правильное сочетание свойств и учет всех требований, нужное развитие технических направлений, позволяющее достичь поставленных задач, должен обеспечивать ответственный руководитель КБ — его главный (а в наиболее крупных организациях — генеральный) конструктор. Именно он должен наметить проблему, а затем из множества данных, подготовленных его ближайшими помощниками, мозговым центром КБ, сформулировать исходную концепцию. Он твердо следит за реализацией этой концепции. Именно за ним право окончательного принятия решений, которые, как у полководца на поле боя, могут привести к успеху и к неудаче. Такова цена решений главного, таков груз его ответственности.

На пути осуществления проекта возникают десятки и сотни препятствий, трудностей, «подводных камней». Все их нужно преодолеть, обойти, повести дело так, чтобы осуществление замысла шло в соответствии с выбранной концепцией.

Если смотреть с исторических позиций, то совокупность свойств и характеристик самолета не есть нечто неизблемое, заданное раз и навсегда. Будь это иначе, мы вероятно, не так далеко ушли бы от «летающих этажерок». И уж, конечно, ни о какой специализации авиационной техники не могло быть и речи.

Обычно уже на стадии предварительного проектирования какие-то свойства будущей машины выделяются; им отдается преимущество, за которое нередко приходится платить снижением некоторых других качеств, ухудшением технологичности, увеличением стоимости и т. д. Но чем выше эта плата, тем, естественно, у конструктора меньше шансов на успех. История как отечественной, так и мировой авиации знает немало примеров, когда по этой причине гибли замыслы, оставались не реализованными заманчивые идеи и весьма привлекательные предложения.

В умении найти счастливое соотношение преимуществ и платы за них — секрет успеха и КБ и его руководителя. А свести плату до минимума или избежать ее совсем удается очень немногим конструкторам. Но именно их проекты обеспечивают научно-технический прогресс в авиации, как, кстати, в других отраслях техники.

Как же развивались истребители в течение последних сорока лет? В предвоенные годы скорость серийных истребителей достигла 450—550 километров в час. Мощность двигателей, а самолеты были снабжены поршневыми винтомоторными силовыми установками, составляла 1050—1350 лошадиных сил\*. Буквально накануне войны удалось установить на некоторые лучшие образцы самолетов, предназначенные для серийного выпуска, скорострельную пушку. В сочетании с одним-двумя крупнокалиберными пулеметами она существенно повысила боевые качества истребителей.

Заметим, что до этого истребители были вооружены

---

\* Двигатель М-105П мощностью 1050 лошадиных сил был в 1940 году установлен на истребителях Як-1 и ЛаГГ-3. Истребитель МиГ-3 имел двигатель АМ-35А мощностью 1350 лошадиных сил.

только пулеметами; когда-то они были поистине грозным оружием, теперь же малая их эффективность стала своеобразным препятствием на пути развития этого типа самолетов. Истребители, атакуя противника, могли подойти к нему, но сбить не удавалось: живучесть боевых машин существенно возросла.

Уже в тяжелейших условиях войны советским конструкторам удалось при тех же двигателях улучшить характеристики самолетов — повысить скорость и маневренность, не потеряв дальности. Это было достигнуто сравнительно несложной доводкой — улучшением поверхности крыльев и фюзеляжа, устранением щелей, установкой так называемых зализов, улучшивших обводы самолетов. Эти мероприятия были далеко не очевидными; рекомендации по их выполнению дали конструкторам ученые. Последующее улучшение двигателей, повышение их мощности принесло дополнительный прирост скорости.

В разгар войны наши конструкторы приступили к созданию новых истребителей. Надо было существенно повысить скорость полета и огневую мощь, сохранив маневренность и дальность. Но самое важное заключалось в том, что эти данные необходимо было получить при минимальном изменении конструкции, с тем чтобы не прерывать выпуск самолетов на серийных заводах. Ведь фронт требовал самолеты непрерывно.

Используя современную терминологию, можно утверждать, что предстояло применить комплексный подход для того, чтобы в тех труднейших условиях не только сконструировать новые боевые машины, но и наладить их массовый выпуск, не прерывая поток поступления оружия на фронт.

Отечественная авиапромышленность успешно решила эту архисложную задачу. Взамен хорошо воевавших, но уже нуждавшихся в серьезном усовершенствовании истребителей, сконструированных в основном до войны, были созданы новые типы самолетов. В 1943 году знаменитый Як-3 располагал максимальной скоростью 660 километров в час, а Ла-7 мог развить скорость до 648 километров в час. Таким образом, новые двигатели и улучшение аэродинамики обеспечили прирост скорости более чем на 50—80 километров в час, что по тем временам было очень много. На 30—40 процентов была увеличена огневая мощь<sup>8</sup>. Кроме того, была предусмотрена уста-

новка реактивных снарядов (тогда они были неуправляемыми) — воздушного варианта знаменитых «катюш».

Особенно ценным было то, что в борьбе за новые истребители наши выдающиеся авиаконструкторы А. С. Яковлев и С. А. Лавочкин сумели выиграть время. Проектирование, постройка опытных образцов и испытания были выполнены за очень сжатые сроки.

Такого успеха удалось добиться благодаря сохранению базовой схемы самолетов и большинства элементов конструкции. Заметим, что конструктивная схема «яков» и «лавочкиных» не менялась в течение всей войны; на их основе было построено много типов машин и их модификаций.

Но не только высокие боевые данные характеризовали эти машины. Они были очень технологичными, производство их обеспечивалось при сравнительно простой оснастке.

Рассказывая обо всем этом в нашей книге, посвященной комплексам, мы должны констатировать: при создании этих самолетов было использовано много элементов комплексного (по нынешним понятиям) подхода, хотя по большей части на интуитивном уровне.

**Из истории авиации.** В годы второй мировой войны появились новые виды оружия — реактивные самолеты и самолеты-снаряды (ФАУ-1 и ФАУ-2), с помощью которых немецко-фашистское командование рассчитывало добиться решающего превосходства над войсками антигитлеровской коалиции. Среди первых реактивных самолетов был и Ме-163, специально сконструированный как вертикально взлетающий перехватчик. Однако ни реактивные истребители, ни ФАУ не спасли гитлеровцев от разгрома: 2 мая 1945 года Красная Армия взяла Берлин, а в полночь с 8 на 9 мая был подписан акт о безоговорочной капитуляции фашистской Германии.

Немецкие реактивные самолеты летали значительно быстрее винтомоторных, но были крайне ненадежными, конструктивно чрезвычайно «сырыми». Их конструкторам явно не удалось решить проблемы, сопутствующие рождению этого вида техники. Поэтому большая скорость не давала им в сущности никакого преимущества перед винтомоторными истребителями. «Немцам полеты первых реактивных самолетов доставили много неприятностей,— пишет А. С. Яковлев в книге «Цель жизни».— Освоение этих машин было связано с многочисленными катастрофами. Последние объяснялись не только новизной полета на реактивном самолете, но главным образом той лихорадочной спешкой, с которой нацистские правители

стремились запустить в серийное производство недостаточно проверенные и наспех сделанные машины и побыстрее начать применение их на фронте»<sup>9</sup>.

## Преодолевая барьер за барьером

В первые послевоенные годы наступил кризис поршневой авиации, приведший к ее закату и открывший эру авиации реактивной. Поршневой двигатель, успешно служивший на самолетах с начала их рождения, уперся в барьер мощности: дальнейшее увеличение скорости и высоты полета, этих важнейших показателей технического прогресса, оказалось невозможным. Начиная с некоторой скорости (для истребителей 680—710 километров в час), рост мощности поршневого двигателя, потребного для полета, сопровождался таким увеличением его массы, что ни о каком дальнейшем улучшении летных данных не могло быть и речи\*. Резко падала экономичность, поскольку колоссально возрастал расход топлива. И как следствие всего этого катастрофически снижалась дальность и продолжительность полета.

Не все конструкторы признали этот факт сразу и безоговорочно. Некоторые (их было немного) предлагали повысить мощность поршневого двигателя за счет несоразмерного усложнения всей силовой установки, размещения на самолете дополнительного, весьма тяжелого нагнетателя воздуха, модификации воздушного винта и т. д. Однако этот путь в целом был бесперспективным.

Усложненная силовая установка не давала того, что от нее ждали, но приносила много неприятностей; главной из них было резкое падение надежности.

Этот факт иллюстрирует положение, что не всякое наращивание систем, не всякое «комплексирование» может дать ощутимый положительный эффект. Только перспективная структура, включающая прогрессивные компоненты и подсистемы, основанная на плодотворной, дальновидной концепции, может привести к успеху. Только реализация мероприятий, повышающих, а не снижающих надежность, может повысить эффективность. Это правило нельзя забывать, говоря о комплексах.

---

\* Величина этой скорости была предсказана Б. Н. Юрьевым еще в 1936 году.



Выход из создавшегося положения был только один — переход на новые турбореактивные двигатели (сокращенно ТРД), обладавшие несоизмеримо лучшими характеристиками, чем поршневые моторы. Масса, приходящаяся на единицу мощности (вернее, на единицу тяги), даже у первых, еще далеко не совершенных ТРД была намного ниже, чем у любого поршневого двигателя. Значительно лучше были и такие показатели, как расход топлива, лобовая площадь, определяющая сопротивление самого двигателя, и многие другие. При полетах в атмосфере (а самолеты летают только в атмосфере) ТРД обладал очень большими возможностями, обеспечивающими ему значительную выгоду в широком диапазоне условий применения.

Но для того чтобы устанавливать такие двигатели на самолеты, надо было их иметь. Несмотря на то что нашей стране принадлежит приоритет в создании теоретических основ ТРД, их у нас в то время — сразу после войны — еще не было \*. Поэтому предстояло прежде всего освоить новые двигатели и наладить их серийный выпуск.

Первые ТРД отличались невысокой надежностью. Но специалисты понимали, что это были «детские» болезни, а не принципиальные пороки старости, как у поршневых двигателей. Эти недостатки можно было преодолеть (и они были преодолены), осуществив целый комплекс мероприятий, разработанных учеными и конструкторами. Читатель, наверное, заметил, что автор использовал термин «комплекс», поскольку в то время шла речь о серии различных, но тесно увязанных между собой мероприятий.

Как и в войну, фактор времени вновь играл ключевую роль: опоздать с выходом реактивных истребителей нельзя было ни в коем случае. Вообще время всегда подстегивает авиационных конструкторов, заставляет их принимать быстрые, но хорошо продуманные, глубоко обоснованные решения. Оно же, как это ни парадоксально, требует проведения тщательных, всесторонних испытаний. Ведь «сырые» проекты, скороспелые решения в конечном счете оборачиваются потерей времени. Но и затяжка, промедление, топтание на месте весьма и весь-

---

\* Теория воздушно-реактивного двигателя была разработана Б. С. Стечкиным и опубликована в 1929 году.

ма опасны. И здесь мы опять должны повторить: особенно важно выбрать правильную перспективную концепцию.

**Из истории авиации.** В декабре 1945 года перспективы развития нашей авиации неоднократно обсуждались в Центральном Комитете партии и Советском правительстве. Во избежание отставания в области реактивной авиации было решено принять срочные меры по улучшению опытного строительства самолетов новых типов, двигателей, оборудования и оказанию широкой помощи научно-исследовательским институтам.

В конце декабря 1945 года было внесено предложение — построить машину, подобную немецкому реактивному истребителю Ме-262, и запустить ее в серию. Вопрос этот обсуждался на высоком уровне, и предложение было отвергнуто: запускать в серию копию Ме-262 было бы ошибкой. Во-первых, этот самолет был явно неудачной конструкцией, сложной в управлении и неустойчивой в полете. Во-вторых, копирование «мессершмитта» отвлекло бы ресурсы на эту машину и нанесло бы большой ущерб работе над отечественными реактивными самолетами<sup>10</sup>.

Ведущие конструкторские бюро, в первую очередь КБ А. С. Яковлева, А. И. Микояна и М. И. Гуревича, С. А. Лавочкина, еще в конце войны приступили к работе по созданию реактивных истребителей. 24 апреля 1946 года совершили первый полет два реактивных самолета — одномоторный Як-15 и двухмоторный И-300, получивший впоследствии наименование МиГ-9\*.

Лучшие самолеты-истребители с поршневыми двигателями, созданные в конце второй мировой войны, обладали максимальной скоростью 650—720 километров в час. Новые же машины, пройдя горнило испытаний, совершили скачок по скорости в 150—190 километров в час. Хотя заветного для всех авиаконструкторов тех лет рубежа — 1000 километров в час — они еще не достигли, полученные результаты были впечатляющими. Даже для современного читателя, привыкшего к огромным скоростям, летные данные этих самолетов должны внушать уважение. Ведь это были первые шаги реактивной авиации.

Следует сказать, что теоретически существовала возможность превысить установленную для этих самолетов максимальную скорость. Однако летчику приходилось

---

\* Это были еще не серийные самолеты, а специальные модификации или опытные объекты.

сдерживать машину, как норовистую лошадь. В летных испытаниях при полетах со скоростью, большей 900—910 километров в час, обнаружались неблагоприятные, даже загадочные поначалу явления. Самолет начинал произвольно крениться или «клевать носом» и мог даже потерять управление. Это ощущалось приближение к грозному «звуковому барьеру», о котором уже некоторое время предупреждали ученые.

Скорость звука в атмосфере равна 1300—1000 километров в час (она снижается с уменьшением температуры и, следовательно, с увеличением высоты). При полете самолета или другого летательного аппарата со скоростью, приближающейся к этой величине, резко изменяется характер обтекания, если не приняты специальные меры, уменьшающие или ликвидирующие такой эффект. Но тогда, почти 40 лет назад, данное явление не было изучено; поэтому такие меры и не могли быть приняты. Первые реактивные самолеты строились еще по канонам дозвуковой авиации. Поэтому скорость их должна была быть строго ограничена.

В результате глубоких и хорошо поставленных исследований ученые пришли к выводу, что дальнейшее продвижение по скорости требует кардинального изменения облика самолета, его аэродинамической компоновки. Появилось стреловидное, а для полетов с большими сверхзвуковыми скоростями — треугольное крыло. Для этих крыльев были предложены специальные профили, определяющие форму крыла в продольном сечении.

**Из истории авиации.** В мае 1942 года летчик Г. Я. Бахчиванджи совершил первый полет на первом советском реактивном самолете конструкции В. Ф. Болховитина (БИ-1) с жидкостно-реактивным двигателем А. М. Исаева и Л. С. Душкина\*. Самолет создавался как перехватчик; вооружение — две пушки калибра 20 миллиметров. 27 марта 1943 года, выполняя очередной испытательный полет, Бахчиванджи погиб, заплатив своей жизнью за освоение реактивной техники. Катастрофа была вызвана резким и неожиданным нарушением управляемости на больших числах  $M^{**}$ , когда летчик дал

---

\* В отличие от турбореактивного двигателя в жидкостно-реактивном двигателе топливо окисляется не атмосферным кислородом, а специальным окислителем (например, азотной кислотой), запас которого находится на самолете.

\*\* Число  $M$  есть отношение скорости полета самолета к скорости звука в этих же условиях.

полную тягу двигателю и самолет чрезмерно разогнался. Непосредственной причиной катастрофы явилось прямое крыло. О том, что на таких скоростях эффективно стреловидное крыло, тогда просто еще ничего не знали.

Интенсивные исследования ученых ряда специальностей, энергичные работы конструкторов и технологов самолето- и двигателестроения позволили в короткое время реализовать два важнейших фактора научно-технического прогресса в авиации, сыгравших поистине революционную роль,— создать мощные, надежные турбореактивные двигатели и снабдить самолет стреловидными (а впоследствии и треугольными) крыльями. Именно это обеспечило возможность прорыва звукового барьера.

В конце 1947 года поднялся в воздух знаменитый МиГ-15. Горизонтальная скорость этого самолета превышала 1000 километров в час. В марте 1948 года он уже поступил в серийное производство.

В феврале 1950 года опытный самолет МиГ-17 со стреловидным крылом в устойчивом горизонтальном полете на высоте 2200 метров превзошел скорость звука. Этот самолет вскоре был передан в серийное производство и стал одним из самых массовых истребителей того периода. До этого, еще в декабре 1948 года, скорость звука была достигнута и на короткое время превзойдена на другом опытном самолете — на Ла-176 конструкции С. А. Лавочкина. Но произошло это не в горизонтальном полете, а в снижении; несколько позже Ла-176 превзошел скорость звука и в горизонтальном полете. Заметим, однако, что по ряду причин эта машина в серию не пошла <sup>11</sup>.

Преодоление звукового барьера явилось началом новой ступени развития авиации — эры сверхзвуковых полетов. Но на пути авиации было еще много барьеров, известных и неизвестных.

Поскольку в технике, а в авиации особенно, ничто новое не дается легко и просто, конструкторам при реализации новых проектов пришлось столкнуться с множеством проблем. Так, стреловидное крыло, дающее самолету неограниченные преимущества на больших числах  $M$ , поначалу доставило конструкторам немало неприятностей! Самолеты с такими крыльями на малых и средних скоростях, в особенности на взлете и посадке, характеризовались плохой устойчивостью. Естественно, конструкторы и ученые с таким недостатком не мирились и искали пути его устранения.

Принципиальные трудности для новых самолетов заключались также в существенном расширении диапазона

скоростей и высот полета. Двигателю, всем системам, а также летчику (что, пожалуй, еще трудней) необходимо было обеспечить нормальные условия работы и на малых, и на больших, предельных скоростях, как у земли, так и на огромной высоте.

Преодоление всех трудностей шло по нескольким направлениям. Одно сводилось к совершенствованию аэродинамики самолета, улучшению его конструкции. Например, несколько продольных перегородок на крыле кардинально улучшили обтекание, устранили опасные явления, возникавшие на некоторых режимах, и существенно улучшили аэродинамические характеристики. Однако нащупать такие простые на первый взгляд решения было далеко не просто: они не лежали на поверхности, их надо было искать и искать. К сожалению, подобные простые схемы не исчерпывают всех вопросов. Понадобилось множество экспериментов в аэродинамических трубах, специальные летные испытания, а также теоретические изыскания для нахождения оптимальных вариантов. В результате были выработаны все необходимые рекомендации для проектировщиков и конструкторов.

Второе направление ставило своей задачей совершенствование двигателей и всей силовой установки, включавшей также входные воздухозаборники, сопловой аппарат, топливную систему, систему регулирования и управления двигателями. Вначале в состав силовой установки включались отдельные дополнительные агрегаты, улучшавшие работу двигателей. За сравнительно короткое время эти агрегаты разрослись и превратились в самостоятельные, очень важные подсистемы.

Третье направление заключалось в установке на самолет систем и оборудования, ранее не применявшихся и созданных впервые.

Здесь следует вновь вернуться к понятию «система» и изменению элементов самолета за длительный период развития авиации. Действительно, самолет обязан своим рождением объединению в систему нескольких ключевых элементов — крыла, оперения, мотора с винтом, управления. Семь десятилетий назад в полетах без выполнения каких-либо функциональных заданий, проводившихся на малых высотах с небольшой скоростью, все эти элементы в их достаточно простом виде обеспечивали самолету необходимые летные свойства. Роль других, например колес или кабины, была вначале невелика, но вскоре и

они приобрели большое значение и подверглись соответствующим изменениям. Так, колесо со стойками превратилось в сложное шасси, ставшее затем убирающимся.

Наконец, очень большая группа элементов, хорошо известных сегодня, определенный период отсутствовала, либо потому что эти элементы не были нужны, либо из-за того, что промышленность не могла их в то время создать. Так, привычный для каждого из нас фюзеляж конструктивно оформился только в 1911 году. Пилотажное оборудование, средства спасения и многое другое появилось или через несколько лет, или значительно позже.

Безопасность полета длительное время оставляла желать лучшего. Без преувеличения можно сказать, что авиация первые годы держалась на смелости и отваге летчиков, многие из которых были одновременно и конструкторами своих машин. Сколько из них заплатили жизнью за конструктивные дефекты, за стремление пробиться в область неведомого! Публика смотрела на гибель авиаторов как на неизбежную дань опасному и в сущности противоестественному увлечению: рожденный ползать летать не может.

Александр Блок в стихотворении «Авиатор», датированном 1910—1912 годами, писал:

Но снова в золотом тумане  
Как будто — неземной аккорд...  
Он близок, миг рукоплесканий  
И жалкий мировой рекорд!

Все ниже спуск винтообразный,  
Все круче лопастей извив,  
И вдруг... Нелепый, безобразный  
В однообразье перерыв...

И зверь с умолкшими винтами  
Повис пугающим углом...  
Ищи отцветшими глазами  
Опоры в воздухе... пустом!

Уж поздно: на траве равнины  
Крыла измятая дуга...  
В сплетенье проволок машины  
Рука — мертвее рычага...

Однако сами авиаторы — летчики, конструкторы, ученые — не считали аварию, а тем более катастрофу, сопровождающуюся гибелью людей, чем-то закономерным.

Наоборот, они всеми силами добивались снижения риска, повышения безопасности полетов. Уже в 20-е годы было признано, что безопасность — один из главных факторов, определяющих совершенство летательного аппарата. Но обеспечить ее в должной мере было весьма и весьма трудно. Наиболее серьезные работы в этом направлении начались в 40—50-е годы и продолжаются по сей день.

Можно с уверенностью сказать, что после того как самолеты стали играть все возрастающую роль в военной и гражданской областях, безопасность и эффективность превратились в решающие критерии каждой машины. Если полеты на летательном аппарате сопряжены с большой опасностью, то ни о каком практическом применении его не может быть и речи. С другой стороны, если эффективность самолета низка и он не может выполнять своих задач, то, естественно, ставится под сомнение целесообразность такой машины, ее существование, даже если полет на ней безопасен.

Мы столь подробно остановились на всех этих вопросах потому, что они в большой степени определяют и характер эволюции самолетов, и изменение самой организации проектирования. Определяют они усложнение систем, превращение самолета в комплекс. Многие системы появились на самолете (а в дальнейшем и на земле, в узлах обеспечения полетов) для того, чтобы обеспечить необходимую безопасность, повысить эффективность. Но мало спроектировать систему; надо убедиться в том, что она действительно выполняет свои функции именно так, как задумал конструктор. В полете же очень часто проявляются неожиданные отрицательные моменты, либо снижающие эффективность, либо угрожающие безопасности. Поэтому усложнение систем требует все более тщательных испытаний.

По мере увеличения скорости и высоты полета, а также с возникновением все новых и новых задач, которые жизнь ставила перед авиацией, изменялись элементы самолета. Так отвечали конструкторы на возрастающие требования к летным данным, к эксплуатационным характеристикам, к безопасности, к надежности, к прочности. Все эти требования были завязаны в один тугой узел и не могли быть оторваны друг от друга. Только совместное их выполнение обеспечивало продвижение авиации вперед. Очевидно, что конструктор, не сумевший

выполнить всего этого, не мог рассчитывать на создание конкурентоспособного самолета.

Даже небольшой прирост скорости или изменение другой важной характеристики самолета (высоты, дальности, скороподъемности и т. д.) требовал определенных усовершенствований. Скачок же по скорости на 50—80 километров в час, не говоря уже о больших величинах, достигался ценой значительных изменений многих элементов как первоначальных (ключевых), так и появившихся в процессе развития авиации. Это в свою очередь приводило к росту сложности. Уже в предвоенные годы многие из элементов и агрегатов превратились в сложные подсистемы (их иногда, как и в других отраслях, называли системами), состоявшие из многих узлов и деталей.

Для увеличения подъемной силы и обеспечения безопасной посадки на крыле была размещена серия подвижных устройств — щитков, предкрылков, закрылков и других. В полете на большой скорости они убирались, а на взлете, посадке и некоторых других режимах выдвигались. Для уборки и выпуска этих устройств нужны были специальные агрегаты — механический, пневмо- или гидропривод. Таким образом, крыло из элемента тоже превратилось в систему.

Весьма сложной конструкцией стало убирающееся шасси.

Об эволюции мотора, приведшей к широкому внедрению реактивных двигателей, мы уже рассказали.

Существенно преобразилось управление; оно также по праву получило наименование системы, причем достаточно сложной.

Преодоление звукового барьера и выход самолета на большие сверхзвуковые скорости можно было реализовать только с помощью установки новых систем (причем таких новшеств должно было быть достаточно много) и дальнейшего развития уже имевшихся. При этом основные компоненты самолета превратились в малые и средние системы.

О развитии силовой установки (агрегатов, обеспечивающих работу двигателя) мы тоже уже говорили: в ней, в частности, появилась своя автоматика для подбора наилучших режимов работы агрегатов на каждой скорости или высоте полета. Это не только обеспечивало



наибольшее значение тяги, но и существенно сэкономило топливо.

Для отклонения рулей или элеронов на больших скоростях усилий летчика было уже совершенно недостаточно. Потребовались специальные гидроусилители, а следовательно, дополнительная гидросистема, питающая их. Рост скоростей взлета и посадки вызвал необходимость перехода к шасси с носовым колесом, которое мы теперь видим на каждом самолете.

Стала также необходимой система эффективного торможения самолета. Назначение ее состояло в существенном сокращении длины пробега при посадке, а также расстояния, проходимого самолетом при экстренном прекращении взлета (например, в случае пожара). Такая система получила мощные колесные тормоза, убирающиеся тормозные щитки на фюзеляже и крыле, парашют, выпускающийся за хвостом самолета, и, наконец, реверс, изменяющий направление тяги двигателей на обратное. Выпуск и уборка щитков осуществлялась с помощью пневмо- или гидросистемы.

Закономерным было появление катапультного кресла, обеспечивающего спасение летчика при авариях на больших скоростях, когда выпрыгнуть из самолета совершенно невозможно. Именно катапультное кресло и сопряженные с ним агрегаты, такие, как система принудительного сброса фонаря, позволили преодолеть «барьер аварийного покидания». Этот барьер оказался серьезным препятствием на пути повышения скорости, поскольку, как только что было сказано, конструктор обязан заботиться не только об успешном решении поставленных самолету задач, но и о спасении летчика в случае аварии.

Для полетов на больших высотах кабина была сделана герметической. Это в свою очередь потребовало разработки специальной системы для наддува воздуха, кондиционирования и контроля.

Чтобы повысить надежность, пришлось внести значительные изменения в систему управления, разместить на самолете дополнительные агрегаты для дублирования основных на случай их отказа. Заметим, это тоже были шаги к созданию комплекса.

**Из истории авиации.** За первым поколением реактивных истребителей последовало второе: среди них были МиГ-17, МиГ-19 и другие машины. В полном соответствии с тенденцией развития истреби-

тельной авиации самолеты начала 50-х годов были уже по-настоящему сложными системами. Они стали гораздо сложнее первых реактивных самолетов и, конечно, истребителей времен минувшей войны. Но, что знаменательно, создателям этих самолетов не казалось, что они перешагнули некий рубеж и вошли в область качественно иных, чем прежде, категорий и понятий. Еще у всех в памяти были неудачные попытки преодолеть звуковой барьер путем повышения мощности и усложнения поршневого двигателя. Силовые установки реактивных самолетов казались проще, строже. Они имели меньший вес и габариты; кроме того, исчез винт, сыгравший немалую роль в возникновении звукового барьера. А такие новинки, как катапультное кресло, гидроусилители, резервные агрегаты, появились на самолетах, можно сказать, буднично, деловито. Ведь по своей природе они были сугубо авиационными агрегатами. Несколько выделялась в этом отношении бортовая радиолокационная станция: ее назначение — существенно повысить качество информации о цели (возьмем на заметку это новое понятие — информация о цели), а не улучшать летные данные.

Каждый барьер в отдельности еще не требовал создания комплексов. Но на пути развития авиации было столько препятствий и трудностей, что многочисленные мероприятия по их преодолению или устранению в сумме очень усложнили авиационную технику. А ведь это усложнение коренным образом отличалось от усложнения поршневой авиации. Оно было основано на перспективных концепциях, существенно повышало надежность, эффективность и безопасность.

### **Трудный ребенок в семье истребителей**

Рассказав о поистине революционном скачке, происшедшем с истребителями на рубеже 40—50-х годов, мы можем вернуться к наиболее, пожалуй, сложной и трудной ветви этого класса самолетов — к перехватчикам. Перехватчики заимствовали многое от своих сородичей — истребителей, но в силу специфики решаемых задач они отличаются от них рядом признаков.

Чтобы понять задачи перехватчиков, нужно представить себе возможности противостоящих им сил. Перехватчики должны преградить путь дальней (ее еще называют стратегической) авиации. Основу ее в те годы (середина и конец 50-х годов) составляли бомбардировщики и разведчики, летавшие на очень больших высотах.

Среди них были дозвуковые и сверхзвуковые самолеты. Стало быть, перехватчики должны были обладать и еще более высокими летными данными, и очень большой скороподъемностью, чтобы за считанные минуты набрать необходимую высоту и выйти в положение для атаки. Да и саму атаку перехватчик должен был выполнять с первого захода; второй заход практически оказывался невозможным, и тогда противник мог уйти безнаказанным. Напомним, что обязательными для перехватчика должны быть герметическая кабина и специальное высотное оборудование для обеспечения длительного полета в условиях больших высот. Обязательным стало и катапультное кресло. Снаряжение летчика должно было быть рассчитано не только на внезапную разгерметизацию кабины, но и на свободное (с помощью парашюта) снижение с больших высот в случае аварийного покидания самолета.

Само собой разумеется, перехватчику необходимо мощное, эффективное вооружение. В то время на вооружении состояли крупнокалиберные авиационные пушки, секундный залп которых по сравнению с образцами периода войны возрос в несколько раз.

Однако и это еще далеко не все. Перехватывать и уничтожать противника следует как можно дальше от обороняемого объекта, а это значит, что перехватчик должен лететь навстречу цели с большой скоростью и располагать достаточным запасом топлива.

И наконец, последнее, но не менее важное, чем все, о чем говорилось выше. Само существование перехватчика будет оправдано лишь при условии, что его можно будет с достаточной точностью наводить на цель — ночью ли, днем ли, при ясном небе или в условиях сплошной облачности. Перехватчик должен быть всепогодным!

И здесь мы вплотную сталкиваемся с комплексной проблемой управления, о которой уже говорилось в первой главе.

Для перехватчиков эта проблема исключительно остра. Ведь для точного наведения надо иметь информацию о том, где находится цель сейчас и где она будет находиться через некоторое время, когда перехватчик с ней сблизится. По этой информации надо составить программу движения перехватчика и реализовать эту программу. При этом очень важно, чтобы к началу атаки наводимый самолет своим оружием смотрел на цель,

иначе атака сорвется. Значит, в процессе наведения мало вывести перехватчик в заданную точку пространства, надо еще правильно ориентировать его.

Как видим, к перехватчикам и процессу управления ими предъявляется большое число требований, причем многие из них неизбежно ведут к противоречивым конструктивным и техническим решениям. Следовательно, они должны быть тщательно взаимоувязаны и сбалансированы. Поэтому правильно говорить не о наборе, а о комплексе требований.

В целом по основным характеристикам и, стало быть, по конструкции и составу оборудования самолеты-перехватчики должны отличаться от фронтовых истребителей, действующих вблизи фронта и вступающих в бой с противником на средних и нередко малых высотах. Фронтовые истребители, как правило, видели цель и в точном наведении с земли практически не нуждались. Иное дело — перехватчики: они без помощи «земли» не могли располагать информацией о цели и не могли осуществлять наведение на нее.

**Из истории авиации.** Почти все ведущие конструкторы нашей страны в разное время, даже в условиях войны, когда главная задача заключалась в том, чтобы поставлять фронту все необходимое для победы, занимались проектированием и строительством перехватчиков. Однако добиться, чтобы машина удовлетворяла всей совокупности требований, никак не удавалось: то не доставало высоты или скороподъемности, то был велик расход топлива, что, следовательно, накладывало серьезные ограничения по дальности, то оказывалось слабым вооружение... А самое главное, в условиях войны невозможно было довести проекты до серийного производства, хотя отдельные типы перехватчиков строились небольшими партиями. К таковым относится самолет Як-9ПД, построенный в ОКБ А. С. Яковлева.

В середине войны Н. Н. Поликарпов закончил проектирование самолета ВП(К) — высотного перехватчика с двигателем 1900 лошадиных сил и воздушным нагнетателем. Крыло имело очень большой для самолета такого типа размах — 11 метров. Вооружение — две пушки калибра 23 миллиметра. По расчетам, скорость должна была составлять 715 километров в час на высоте 14 000 метров — это был рабочий потолок перехватчика, на который он должен был подняться за 18 минут. В 1943 году самолет начали строить, но работа не была завершена.

В 1944 году ОКБ А. И. Микояна спроектировало и построило опытные образцы высотного стратосферного истребителя-перехватчика И-222. Вооружение его — две пушки калибра 20 миллиметров. По отношению к существовавшим машинам потолок самолета должен был возрасти на 3—4 километра, что само по себе представляло исключительно трудную задачу. В силовую установку поршневого двигателя были включены два турбокомпрессора и центробежный нагнетатель. Все это позволило сохранить мощность двигателя в условиях разреженной атмосферы до очень больших высот.

Самолет начал летать в мае 1944 года. В испытаниях были достигнуты рекордные летные данные: скорость 680—690 километров в час сохранялась до высоты 13 100 метров. Потолок превысил 14 500 метров. Однако и этот самолет в серию не пошел, поэтому неясно, смог бы он выполнять свои функции на предельных высотах.

Герметическая кабина И-222, доведенная до совершенства, стала основой для проектирования ряда последующих «мигов»<sup>12</sup>.

Как уже говорилось, особое значение для перехватчиков имеют вопросы обнаружения противника и наведения на него. Поэтому еще перед войной была создана специальная служба воздушного наблюдения и оповещения — ВНОС. Ее дальние посты, оборудованные звукоулавливателями (а иногда даже путем простого наблюдения за небом — «воздухом», как тогда говорили), осуществляли обнаружение вражеских самолетов и определяли примерное направление их полета. Все эти данные передавались в штаб по телефону или по радио. Командир соединения должен был организовать подъем перехватчиков навстречу врагу. В полете перехватчик получал по радио от командира корректирующие указания, но они были очень редкими.

Заметим, что на современном языке этот процесс называется целеуказанием. По существу, это еще не было наведением перехватчика на цель, а лишь прообразом такой формы управления. Ведь перехватчику указывалась весьма ориентировочная программа действий.

Получив такое целеуказание, перехватчик летел навстречу противнику до тех пор, пока его пилот не обнаруживал цель своими глазами, то есть не устанавливал с ней «зрительного контакта». После этого он должен был начинать атаку. Как правило, перехватчик стремился зайти противнику в хвост, поскольку такое положение наиболее выгодно для атаки при применении пушек и пулеметов.

Хотя точность целеуказания по описанной схеме была низкой, оно оказало неоценимую услугу самолетам-перехватчикам и истребителям, несшим трудную службу в войсках ПВО. Помощь наземных постов и корректирующие команды по радио существенно помогали перехватчикам находить противника и поражать его на достаточном удалении от обороняемых объектов. Отражались налеты не только днем, но и ночью.

Конечно, в некоторых случаях перехватчики не выходили на цель. Но все же можно утверждать, что точность целеуказаний, как и информационное обеспечение авиации в целом, были сбалансированы, если можно так выразиться, с летными данными самолетов того времени.

Заметим, что перехват осуществлялся преимущественно на высотах 5—8 километров. Но отдельные вражеские самолеты шли и на гораздо большей высоте. Большую роль в ПВО сыграли самолеты МиГ-3, спроектированные перед войной; участвовали в отражении налетов и другие истребители.

**Из истории авиации.** Самолет Як-9ПД с дополнительным воздушным нагнетателем — специальный высотный перехватчик, максимально облегченный с целью достижения высоты 14 000 метров \*. Броневая спинка сиденья пилота заменена фанерной. Из вооружения оставлен один пулемет. В 1943 году было выпущено пять экземпляров. Предназначался для борьбы с немецким высотным разведчиком «Юнкерс-388», который в 1943 году часто появлялся над Москвой на высоте около 13 000 метров. Долгое время это сходило ему безнаказанно, так как зенитный огонь там его не доставал, а самолетов, способных подняться на эту высоту, у нас еще не было. Для облегчения Ю-388 совершенно не был вооружен, поскольку он не боялся перехватчиков.

Як-9ПД при облегчении и с применением воздушного нагнетателя уже смог достичь высоты более 13 000 метров, но на пределе своих возможностей. Самолеты встретились. На той же высоте и на совершенно таком же режиме шел «юнкерс». Оба самолета едва смогли сделать поворот даже при большом радиусе виража. И хотя Як-9ПД обладал гораздо большей скоростью, ему очень трудно было занять положение для атаки. Самолеты покружились и разошлись, но только с тех пор «юнкерс» над Москвой больше не появлялся <sup>13</sup>.

---

\* Як-9ПД — одна из 15 модификаций самолета Як-9, фронтового истребителя времен Великой Отечественной войны.

Примерно в середине второй мировой войны удалось кардинально улучшить систему получения информации о воздушном противнике. Совершенно секретная тогда новинка — наземная радиолокационная станция — позволяла получать мгновенные и точные данные о движении цели, тогда как звукоулавливатели засекали координаты пролетевшего самолета с большим запаздыванием: ведь звук идет с высоты, скажем, 10 километров более 30 секунд. Радиолокаторы обнаруживали самолеты на значительном удалении от своего расположения, в любую погоду, не только днем, но и ночью. В структуре ПВО они заменили вскоре всю устаревшую систему постов визуального и звукового наблюдения.

Казалось бы, внезапное нападение противника на города и тыловые районы теперь исключалось. Но эффективность противовоздушной обороны зависит от многих факторов. Действительно, благодаря внедрению наземных радиолокаторов кардинальным образом улучшилось качество поступающей информации и тем самым качество целеуказания. Однако для перехвата нужны еще хорошие самолеты-перехватчики, мощное вооружение, хорошее, точное наведение и еще многое другое, о чем речь пойдет дальше. В частности, нужна еще хорошая взаимосвязь между этими компонентами. Применительно к изменившимся условиям все это вскоре составит комплекс перехвата, которого тогда еще не было даже в проектах.

Как уже успел заметить читатель, программа полета перехватчика при наведении на цель отличается от программ других летательных аппаратов. Перехватчику надо, вылетев из точки А, встретиться с противником, который не стоит на месте, а движется с определенной, но неизвестной нам скоростью. Здесь надо помнить: радиолокатор определяет с большой точностью положение цели; направление ее движения и скорость вычисляются со значительной погрешностью (эти погрешности были особенно велики, когда радиолокация и вычислительная техника только развивались). Кроме того, цель может маневрировать, изменять направление движения и скорость. Все это сильно затрудняет прогнозирование положения цели.

Известная нам всем со школы классическая задача о движении из точки А в точку Б сильно изменяется: точка Б перемещается в направлении, о котором известно довольно мало. Задача приближается к другой из-

вестной формулировке отнюдь, правда, не из учебника: иди туда, не знаю куда. Так вот, наведение и есть управление самолетом, обеспечивающее встречу его с такой подвижной целью. Ввиду возможных погрешностей наведение предполагает частую корректировку программы движения, с тем чтобы не только обеспечить встречу с целью, но и правильное ориентирование перехватчика по отношению к цели.

Осуществлял наведение тогда человек-оператор. Это был командир или руководитель полетов, следивший за воздушной обстановкой на экране локатора. Он мысленно строил траекторию движения цели и определял, где должна быть та самая точка Б, в которую надо вывести перехватчик. При этом оператор делал предположение (принимал гипотезу, как говорят специалисты), что цель будет продолжать двигаться в том же направлении. Исходя из такой схемы, он давал по радио указания перехватчику о нужном направлении.

Получая через некоторое время новые данные, оператор корректировал свою схему и давал перехватчику новые указания. В этом состоял секрет решения задачи: только благодаря частым исправлениям можно осуществить встречу с подвижной целью.

Описанная структура представляла собой крупное достижение. Она была значительным шагом вперед по сравнению с прежним целеуказанием и создала хорошую информационную базу авиации, обеспечила управление перехватчиками. Но... опять это вечное «но»! В авиации, как, пожалуй, ни в одной другой отрасли, действует своеобразный закон относительности. Все технические средства пригодны только для определенных, конкретных условий и быстро устаревают, если эти условия значительно меняются.

Описанная только что структура хорошо себя зарекомендовала для действий против целей, летавших на высотах до 10—12 километров с дозвуковыми скоростями. Будет ли она пригодна для следующего поколения самолетов, которые станут летать на значительно большей высоте?

В середине 50-х годов самолеты, которые могли стать объектом перехвата, летали уже на высоте 16—18 километров. Следовало ожидать, что в ближайшие годы они поднимутся еще выше — на 20—22 километра. Отдельные типы специальных высотных разведчиков обладали



еще большей рабочей высотой, где, как казалось их создателям, они были недосыгаемыми (вспомним Ю-388).

Авиационные конструкторы в ответ на это продолжали совершенствовать самолеты-перехватчики. В соответствии с установившимися концепциями они стремились улучшить сам самолет и его системы. Наземная система получения информации и наведения в том виде, как она была описана выше, представлялась вполне приемлемой. Поэтому естественным было решение использовать ее для новых машин.

Еще одно крупное усовершенствование было реализовано в авиации за несколько лет перед этим; мы его тоже уже касались. Речь идет о бортовой радиолокационной станции. К тому времени стало ясно, что визуальное обнаружение цели летчиком (дальность его равна примерно 3—4 километрам) не отвечает возросшим летным данным самолетов. Резкое увеличение скорости полета и высоты затрудняли выполнение атаки с таких небольших расстояний. Понадобилось изыскать пути увеличения расстояния, с которого возможна атака. Этому же требовали условия всепогодного перехвата, необходимость обнаружения противника ночью и в плохую погоду.

Хотя первые образцы бортовых локаторов обладали еще сравнительно небольшой дальностью, они позволили увеличить дистанцию начала атаки в полтора-два раза, сделали перехват более уверенным.

**Из истории авиации.** Маршал Л. А. Говоров, в 1948 году возглавивший Войска ПВО страны, поставил вопрос о создании всепогодного перехватчика, способного барражировать в воздухе длительное время, обнаруживать на значительном расстоянии цель, перехватывать и точно поражать ее. Предполагалось выводить самолет в нужную точку по указаниям наземных радиолокационных станций обнаружения и наведения, а это возможно лишь при его надежной двухсторонней связи с землей.

Заказ на самолет-перехватчик получили сразу несколько КБ... Свои самолеты они представили на государственные испытания почти одновременно. Начались полеты... Какой же истребитель лучше? Наконец, сошлись на том, что наиболее соответствует поставленным задачам двухместный Як-25. А. С. Яковлев учел, что дальность обнаружения цели зависит от диаметра радиолокационной антенны. И он отвел под нее широкий отсек в носовой части фюзеляжа, заключив ее в сферический обтекатель, а двигатели расположил на пилонах под крылом по обеим сторонам фюзеляжа <sup>14</sup>.

В начале 50-х годов дозвуковой барражирующий перехватчик по многим причинам уже не удовлетворял возросшим требованиям. Нужен был самолет с значительно более высокими летными данными.

Так, для выполнения перехвата начала складываться (но еще не сложилась) «большая система», включавшая совершенный самолет и разветвленную информационную систему. Последняя в свою очередь состояла из наземной и бортовой части. Однако компоненты этой системы не были в достаточной степени согласованы между собой. Связи между наземными службами, самолетом и бортовыми подсистемами, в том числе локатором, были еще слабыми, неоформленными. К чему это привело, мы расскажем в следующем разделе.

### **Свойства системы не равны сумме свойств частей**

Наш рассказ подошел к кульминационному моменту — к обстоятельствам, при которых сформировалась концепция создания взамен привычных, традиционных истребителей-перехватчиков авиационно-ракетных комплексов перехвата. Конечно, в различных областях техники концепция больших систем складывалась по-разному. Применительно к некоторым системам идея комплексов и комплексирования — это плод научного предвидения, и появилась она до возникновения объективных предпосылок к этому. Но в большинстве отраслей она сложилась только тогда, когда дальнейшее развитие того или иного технического направления стало невозможным без внедрения комплексов. Именно так обстояло дело во всех случаях, взятых нами в качестве примеров.

Для того чтобы в авиации сделать такой весьма трудный шаг, нужен был мощный толчок. С одной стороны, требовалось четкое понимание, что иначе как с помощью комплексов достичь поставленных целей уже нельзя. С другой — необходим был серьезный импульс для развертывания работ по конструированию всех необходимых компонентов и их объединению, стыковке в единый комплекс.

Вот как это происходило.

Несколько самолетов-перехватчиков начали разрабатываться почти одновременно. У каждого были свои особенности и своя судьба, иногда весьма драматическая. Но было в проектах и много общего.

Как же выглядел высотный сверхзвуковой перехватчик тех лет? Он обладал треугольным или стреловидным крылом, причем передняя кромка составляла очень острый угол к направлению полета. В носовой части фюзеляжа, в воздухозаборнике, под конусом обтекателя размещалась антенна бортовой радиолокационной станции. Для обеспечения оптимальных условий обтекания на больших скоростях конус был весьма острым, но главное, он был подвижным, так как площадь воздухозаборника должна была на больших числах  $M$  изменяться в зависимости от режима работы двигателя.

Значительно изменился турбореактивный двигатель. Существенно возросла его мощность; он получил так называемую форсажную камеру, в которой осуществлялось сгорание дополнительной порции топлива. Это позволяло в течение определенного, хотя и относительно короткого времени, почти на треть увеличивать, форсировать тягу. Именно это дало возможность повысить скорость и скороподъемность самолета, довести их до требуемых значений. Одновременно еще больше усложнилась силовая установка, потребовалось специальное регулирование воздухозаборников (о чем уже говорилось выше) и соплового аппарата.

Дальнейшее развитие получило навигационное оборудование. Ведь перехватчику, для того чтобы по командам с земли лететь в заданном направлении, необходимо было знать точное свое местоположение. Это оборудование должно было, не снижая точности, работать при больших и длительных ускорениях, свойственных полету на перехват.

Самолет получил усовершенствованную герметическую кабину, рассчитанную на длительные полеты на больших высотах (а ведь высота выросла весьма ощутимо). На самолете были установлены — также усовершенствованные — система жизнеобеспечения летчика и кресло для аварийного покидания путем катапультирования. Мощная бортовая радиостанция надежно связывала перехватчик с командным пунктом.

Вероятно, небезынтересно будет отметить такую деталь, характеризующую усложнение самолета: на борту впервые установили турбохолодильную установку с кондиционером, совершенно, казалось бы, непривычную для авиации систему. Появление в авиации «неавиационной» системы вызывалось, конечно, необходимостью: хотя

«наверху» за бортом температура очень низкая, в кабине в результате аэродинамического нагрева отнюдь не было холодно; наоборот, на больших сверхзвуковых скоростях там становилось очень даже жарко. Кстати сказать, этому явлению предстояло в самом недалеком будущем стать еще одним барьером на пути развития реактивной авиации.

Конструкторам казалось, что они сделали все возможное, выполнили все требования, предъявляемые к перехватчику в новых условиях. Но в авиации последней, наивысшей инстанцией, определяющей правильность выбранной концепции, истинность проектных решений, являются летные испытания. Именно они решают в конечном счете судьбу машины. Строгий экзамен обнаруживает часто дефекты, скрытые от глаза инженера или ученого. А иногда в испытаниях проявляются новые, ранее неизвестные явления, вследствие чего полет протекает совершенно иначе, чем это предполагалось при проектировании. В особенности такая возможность существует в тех случаях, когда самолет должен летать в условиях, не встречавшихся ранее, то есть когда полет совершался на новых типах машин. И наш «герой» в образе некоего безымянного перехватчика, «перехватчика вообще», тоже врывался в область больших чисел  $M$  и очень больших высот. Здесь можно было ждать много неожиданностей, притом не обязательно аэродинамического характера. Ведь самолету предстояло в этих новых условиях выполнять очень сложную и тяжелую операцию, в осуществлении которой должны были участвовать как новые, так и старые системы. Как поведут они себя, как будут взаимодействовать друг с другом? Будут ли общие свойства самолета как сложной системы, состоящей из большого числа частей, столь же высокими, как это ожидалось согласно проекту?

История авиации знает много примеров, когда самолеты, в которых было воплощено много интересных новинок, не проходили суровых проверок летных испытаний, хотя они создавались выдающимися конструкторами.

**Из истории авиации.** Самолет БИ-1, о котором уже шла речь, обладал очень высокими (не только для своего времени) данными: максимальная скорость — более 800 километров в час, скороподъемность — 82 метра в секунду. Вместе с тем испытания показали, что полет на нем очень опасен. Наличие азотной кислоты, служившей

окислителем для топлива ракетного двигателя, требовал исключительных мер предосторожности. Переход за скорость 800 километров в час грозил катастрофой (гибель Г. Я. Бахчиванджи).

По результатам испытаний стало ясно, что самолет не может быть использован ни как перехватчик, ни как истребитель также из-за того, что обладал чрезмерно малой продолжительностью полета: общее время, за которое топливо полностью израсходовалось, не превышало 7 минут. Этот недостаток не покрывался значительным преимуществом в скорости и скороподъемности над истребителями тех лет. И хотя была построена первая так называемая головная серия из восьми самолетов, БИ-1 в серийное производство передан не был и не применялся<sup>15</sup>.

Главная цель летных испытаний новых перехватчиков заключалась в проверке того, как выполняются требования, предъявляемые к ним, как реализуется операция, ради которой они были созданы. Именно проверка возможности перехвата являлась сердцевиной летных испытаний. Заметим, что в то время еще не существовало каких-либо других способов оценки боевых возможностей самолетов. Такие способы появились позже, о чем мы расскажем в следующей главе.

В практике летных испытаний многое делалось впервые. Ранее в испытаниях оценивались только летные данные самолетов и устанавливались количественные значения большого числа характеристик. Теперь же в дополнение ко всему этому предстояло определить, насколько эффективен самолет в целом. Такое расширение задач испытаний объясняется возросшей сложностью новой техники, повышением ответственности выполняемых функций.

Однако приступить к этой основной задаче можно было только после того, как будут проверены и отработаны все системы самолета, а его устойчивость и управляемость признаны вполне хорошими.

Применительно к такой сложной системе, в которую превратился самолет, выполняющий перехват, оценивать работоспособность следовало как бы на трех уровнях: автономном, системном и полном.

Автономные свойства какого-либо компонента, в том числе и самого самолета как летательного аппарата, проверяются без учета работы других подсистем, вне связи с операцией, ради которой самолет создан. Вторым, более высоким уровнем проверок является испытание

подсистем, работающих в сопряжении с другими агрегатами при выполнении самолетом не всего полета, в лишь характерных этапов или некоторой части операции. Этот уровень может быть условно назван системным. Наконец, третьим уровнем является проверка всего состава подсистем, всех частей и компонентов при выполнении полета в целом и всех фаз операции. Когда самолет представлял собой простую систему, состоявшую из небольшого числа элементов, такого разделения оценок и испытаний не требовалось. Элементов было мало, и полет хотя бы без одного из них — например, двигателя или управления — не мог быть осуществлен. Превращение же самолета в сложную систему повлекло за собой изменение всей технологии проверок. Нужно было испытать каждую подсистему, проверить поочередно объединенную работу нескольких подсистем, убедиться, что «стыки», соединяющие различные агрегаты и подсистемы, функционируют правильно. Наконец, предстояло оценить, как самолет и сопряженные с ним системы, в том числе установленные на земле, выполняют перехват высотных и скоростных целей.

Трудности испытаний возросли еще и потому, что существенно расширился диапазон условий, в которых предстояло работать самолету, двигателю и оборудованию.

И вот испытания начались. Вначале все шло хорошо. Двигатель не потребовал больших доводов: режим «форсажа», вызывавший из-за новизны некоторые опасения, показал себя с лучшей стороны. Успешно проходили строгий экзамен и другие агрегаты: силовая установка, регулируемый воздухозаборник, герметическая кабина, новое катапультное кресло, усовершенствованная навигационная система, радиолокатор, пушки и даже турбохолодильник. После неизбежных для всякой новой машины доводочных работ все они показали достаточную надежность и высокие характеристики.

Используя введенную выше терминологию, можно утверждать, что автономно каждый агрегат нового перехватчика соответствовал поставленным требованиям.

Говоря о самолете как об автономном летательном аппарате, имеют в виду его способность выполнять полет до предельных значений скорости и высоты без осуществления каких-либо целенаправленных операций. В нашем случае — это полет без наведения на «цель», то есть без

имитации выполнения атаки. Именно это было установлено в первой части испытаний. Новый самолет быстро выходил на большую высоту, хорошо управлялся, выполнял различные маневры. Он был способен ставить рекорды высоты, скорости и скороподъемности. Но каков он как перехватчик? Это должны были показать последующие этапы испытаний.

Без удовлетворительной автономной работы каждой подсистемы невозможно рассчитывать на хорошую работу всего объекта. Однако хорошая автономная работоспособность частей еще не гарантирует возможность выполнения операции в целом и тем более ее успех. Причин здесь может быть несколько. Например, при осуществлении операции могут оказаться необходимыми какие-то дополнительные функции, для которых просто нет соответствующих подсистем, или же агрегаты, предназначенные для такой роли, выполняют эти функции не так, как следует. Подсистемы могут быть плохо состыкованы друг с другом или, что часто бывает, не согласованы между собой.

При системной, а тем более полной проверке важны не столько оценки конкретных агрегатов, сколько определение возможности выполнения всеми компонентами, объединенными в единое целое, заданных функций. В примере, о котором идет речь, это вначале проверка отдельных задач, играющих решающую роль при перехвате, а затем оценка возможности эффективного выполнения перехвата цели с определенными характеристиками.

Когда приступили ко второй фазе испытаний, то поначалу тоже казалось, что ничего угрожающего не происходит. Наведение на «цель», летящую с дозвуковой скоростью на средних высотах, проходило успешно. Когда же в испытательных полетах начались наведения на «цели», летевшие на тех же средних высотах с большими скоростями, грянул гром: несколько экспериментов оказались неудачными; зачет по ним не был получен. Наведение же на «цели», летевшие на больших высотах, прошли совершенно неудовлетворительно: лишь в незначительном числе попыток удалось выйти на «цель». В остальных — перехватчик либо не обнаруживал ее, хотя выходил на заданную высоту, либо не мог выполнить атаку, либо, что уже совсем было непонятно, не мог даже выйти в заданную точку.

Получался парадокс. Имея прекрасный самолет, от-

личный двигатель, хорошую бортовую радиолокационную станцию, мощную пушку, новое оборудование, невозможно было решать поставленную задачу в требуемом объеме. Перехватчик не выходил в нужное положение, летчик не обнаруживал «цели», не был в состоянии выполнить атаку, расходовал горючее и должен был не солоно хлебавши возвращаться на базу. Иными словами, каждая часть системы работала хорошо, вместе же они не давали нужного эффекта.

Можно оценить вероятность успеха как отношение числа успешных полетов к общему их количеству в испытаниях. При этом полеты должны быть проведены в одинаковых условиях. В нашем примере это означает, что наведение должно осуществлять на одну и ту же «цель», летящую на тех же высотах, с той же скоростью. Вероятность успеха — один из важнейших показателей эффективности сложных объектов, а значит, и самолета.

Читатель, наверное, знает, что вероятность как количественная характеристика может изменяться от нуля (невероятное событие) до единицы (достоверное событие всегда, при всех условиях эксперимента). Предпочтительное значение вероятности различно для различных объектов. Для стрелка из обычного оружия вероятность попадания в цель, равная 0,9, считается высокой (мы не имеем в виду рекордсменов). Такое же значение в качестве характеристики безопасного приземления на парашюте совершенно неприемлемо. Здесь необходимо добиться по меньшей мере вероятности 0,9999 (четыре девятки, как говорят специалисты)\*.

Результаты испытаний показали, что применительно к средним высотам и дозвуковым скоростям «целей» вероятность успешного наведения оценивалась величиной, близкой к единице. Для сверхзвуковых «целей», летевших на тех же средних высотах, она заметно снижалась, но ее можно было еще признать удовлетворительной, хотя и с большой натяжкой. Но на больших высотах эффективность наведения упала до недопустимо низкого уровня.

Нелишне напомнить, что еще в первые послевоенные годы высота, которую мы только что называли средней, считалась недостижимой для истребителей и зенитного

---

\* Для гарантии безопасного приземления парашютист имеет еще и запасной парашют, что существенно повышает вероятность безопасного приземления.



огня. Затем она стала потолком следующего поколения машин. Теперь же предстояло летать, а главное, вести, если понадобится, боевые действия значительно выше. Так проявлялся в авиации тот самый «закон относительности», о котором нам уже доводилось говорить.

Итак, возник явный и совершенно неожиданный «барьер эффективности».

Разгадать причину, мешающую самолету выполнять боевую задачу, нам помогут методы системотехники и исследования операций. Вспомним: на автономном уровне каждый элемент, в том числе самолет и наземная система наведения, действовал хорошо. Значит, причины, породившие «барьер эффективности», следует искать на следующих уровнях функционирования сложной системы — на системном и полном. Следовательно, недостатки, дефекты кроются во взаимосвязях, в управлении, в условиях применения. Весьма возможно, что отдельные компоненты полной системы уже не годятся для выполнения сложной задачи, хотя автономно они вполне работоспособны.

Давайте еще раз вспомним, как действовал перехватчик в процессе наведения. Совершая наведение, летчик не был предоставлен самому себе, как в автономном полете: он выполнял команды руководителя полета, передаваемые по радио с наземного пункта управления. По этим командам летчик должен был вывести свой самолет в такое положение относительно цели, в котором возможно обнаружение ее бортовой радиолокационной станцией. Заметим, что именно здесь проявляется характерный «стык» двух компонентов описываемой сложной системы.

После «захвата» цели бортовым локатором, летчик должен был начать атаку по информации, получаемой с его индикатора — экрана; в конечном счете ему предстояло поразить цель огнем своих пушек. Вот как, в частности, пишет в своей книге «Испытано в небе» (М., 1965) летчик-испытатель М. Л. Галлай:

«Одно из... испытаний заключалось в том, что я взлетал на двухместном реактивном МиГе, выходил в зону воздушных стрельб, там закрывался темной непрозрачной шторкой, и, видя одни лишь приборы, выходил в атаку на мишень, буксируемую на длинном тросе другим самолетом. Прицеливание, ведение огня боевыми снарядами, выход из атаки... — все это выполнялось из закрытой кабины.

Быстро выработалась привычка: крутящаяся, мерцающая зеленая отметка на экране индикатора стала выглядеть убедительной, надежной, ненамного менее наглядной, чем непосредственное наблюдение «собственными глазами»...

И вот мы в воздухе. Несколько минут полета — и на экране индикатора появляется дрожащий флуоресцирующий крестик. Это — наша цель. Энергично доворачиваю машину на нее, краем глаза поглядывая на приборы слепого полета — как со скоростью, не великоват ли крен? Нет, ничего, все в приемлемых пределах... Загоняю метку цели в нужное положение... Теперь нужно не упустить ее: машина круто, с нарастающей перегрузкой вписывается в крутой вираж... Палец на гашетку... От короткой пушечной очереди самолет ритмично дрожит, будто кто-то быстро бьет его по днищу молотком... Но до мишени, судя по прибору, остается едва несколько секунд полета. Резким рывком бросает самолет в сторону, — метка цели, мелькнув, исчезает с экрана: теперь столкнуться с мишенью невозможно.

Все — боевой заход сделан. Плавным виражом с горкой выходим в исходную позицию для следующего захода...»

В данном примере описаны типичные испытания уже на системном уровне: идет проверка функционирования трех подсистем сложной системы — самолета, бортового радиолокатора и пушки при выполнении атаки. С одной стороны, условия существенно отличаются от автономного полета. Летчик не просто выполняет те или иные маневры, а прицеливается по метке на индикаторе локатора. При этом ему приходится доворачивать самолет, изменять подъемную силу, создавать крен, но не произвольно, а ровно настолько, насколько это нужно. Локатор и его антенна подвергаются воздействию перегрузок, положение их в пространстве резко меняется, что может сказаться на качестве работы.

С другой стороны, условия испытаний все же несколько идеализированы: истребитель атакует не реальную цель, а мишень, буксируемую на тросе. Наведение как этап, предшествующий атаке, отсутствует — оно просто не нужно, так как мишень находится впереди истребителя.

Очевидно, что при переходе к следующему — полному — уровню испытания могут выявить новые особенно-

сти или трудности. Проявиться эти особенности могут в «стыках» компонентов, проверявшихся ранее отдельно или не полностью.

В операции перехвата на полном уровне участвует целая цепь взаимосвязанных компонентов-звеньев: наземная радиолокационная станция — воздушная обстановка на ее экране — руководитель полета — самолет-перехватчик — его летчик — бортовой радиолокатор — пушки — цель. В процессе перехвата вся цепь должна осуществлять как бы единый непрерывный поток действий-операций. Заметьте, читатель, мы написали «должна», потому что, возможно, это условие и не выполняется — цепь разрывается в наиболее слабых местах.

Ключевое положение в этой цепи, в этом потоке занимал человек, точнее, два оператора — руководитель полетов и летчик. От их действий в очень большой степени зависит успех всего дела и, в частности, непрерывность потока. Исключительно велика была роль управления самолетом, бортовой локационной станцией и пушками (ведь стрельба — это тоже своего рода управление).

Но в цепи большое значение имеет согласованность звеньев, надежность «стыков», непрерывность прохождения сигналов, указаний, команд. Нарушите хотя бы один «стык», и цепь разорвется, эффективность снизится, а то и вообще упадет до недопустимо малой величины.

При полетах в ненапряженных условиях — в нашем случае во время наведения перехватчика на мишень, летящую на средних высотах с относительно небольшой скоростью, — все звенья цепи были хорошо согласованы между собой. Именно это обеспечивало успех операции. Оба оператора справлялись со своими задачами, а управление осуществлялось просто, надежно и хорошо. Руководитель полета быстро оценивал обстановку на экране и вырабатывал правильные команды. Летчик в свою очередь правильно воспринимал эти команды и, управляя должным образом самолетом, обеспечивал его полет по нужной траектории. После «захвата» цели бортовым локатором, летчик переходил на управление по меткам на индикаторе в кабине и успешно выполнял атаку.

Такая согласованность и непрерывность цепи была отработана в испытаниях, а также при эксплуатации предшествующих самолетов, летавших на меньших скоростях и высотах.

С выходом на большие высоты и скорости характеристики двух звеньев, самолета-перехватчика и цели, резко изменились; вследствие этого значительно быстрее стала изменяться воздушная обстановка. Характеристики же остальных звеньев практически остались прежними. Но теперь они перестали соответствовать новым, существенно возросшим требованиям.

Согласованность звеньев, непрерывность всего потока нарушилась; цепь распалась, что и породило «барьер эффективности».

В быстро меняющихся условиях человек-оператор (точнее, руководитель полета) уже не способен за то короткое время, которым он располагает, воспринять информацию, переработать ее должным образом, правильно оценить воздушную обстановку, принять нужное решение и передать по радио точные команды. Даже само перечисление функций руководителя полета заняло у нас много места, а каково их выполнить за считанные секунды?!

Испытания показали, что воздушная обстановка, возникающая на обзорном экране наземного локатора, требует значительного времени для восприятия и анализа. Из-за высоких скоростей полета метки цели и перехватчика перемещаются на экране очень быстро. Поэтому руководитель полета либо формирует команды со значительными ошибками, либо вынужден делать сравнительно большие перерывы. Но в этом случае команды выдаются также с ошибками, поскольку они соответствуют данным, находившимся на локаторе несколько минут назад. Читатель легко может себе представить, насколько за это время сместятся перехватчик и цель.

Поскольку перехват стал очень скоротечным, руководитель успевал передать команды всего несколько раз за полет. Летчик перехватчика со своей стороны не мог по этим командам (даже когда они были правильными) строить верную траекторию, так как он был сильно загружен пилотированием самолета. Легко понять, к чему приводит наложение ошибок пилотирования на ошибки наведения.

Но не только в контуре «наземный оператор — летчик» происходят срывы, ошибки, промахи. Плохо вписывался в цепь перехвата и самолет-перехватчик (вернее, цепь была плохо согласована с ним). Дело в том, что маневренность самолетов ухудшается с высотой и ростом

скорости. Хотя у разных самолетов это происходит на разной высоте, но тем не менее происходит, и с этим надо считаться. Разворот для захода в хвост цели, который перехватчик мог легко и быстро выполнить на средних высотах, на высотах вблизи «потолка» делать очень трудно: вспомним пример — Як-9ПД. Следовательно, наведение надо строить иначе, так, чтобы разворот осуществлялся значительно ниже и перехватчик выходил на высоту цели, уже будучи правильно ориентированным. Кроме того, в таких условиях совершенно непригодными как основной вид вооружения оказались пушки: они требовали сближения с целью до малых расстояний и выхода перехватчика на высоту полета цели, не допускали больших ошибок в начале атаки, так как потом эти ошибки нельзя было исправить за короткое время. А ведь ошибки практически неизбежны, тем более при наличии несогласованных звеньев цепи перехвата. Совершенно ясно, что недостатки вооружения также внесли существенную лепту в падение эффективности.

Недостатки выявились и в характеристиках бортового радиолокатора. В данной цепи в конкретных условиях высотного, скоростного перехвата дальность его оказалась недостаточной.

Если подвести итог сказанному, то вырисовывается следующая четкая картина. Грозный, непонятный «барьер эффективности» оказался разгаданным благодаря применению методов исследования операций. Сущность его стала понятной. Он был порожден возросшими летными данными самолетов, резкой изменчивостью воздушной обстановки, недостатком информации, плохим управлением на системном (и полном) уровне, ограниченными возможностями вооружения. Однако все последние факторы являлись производными возросших значений скорости и высоты полета.

Следовательно, надо было «лечить» не самолет или одну-две из его функциональных систем. Необходимо было кардинально преобразовать всю цепь, привести ее в соответствие с изменившимися летными данными самолетов. Нужно было обеспечить хорошее согласование звеньев, гарантировать непрерывность процесса.

Перед нами прошла драматичная судьба одного самолета, не обозначенного соответствующим индексом, как это издавна принято в авиации. Не обозначенного потому, что это не какая-то реальная, конкретная машина,

а, как мы уже говорили, «перехватчик вообще», самолет-обобщение, отразивший в себе пути и перепутья развития одного типа военного самолета на протяжении послевоенных десятилетий. Это как в литературе: за тем или иным художественным образом стоит либо один, либо несколько прототипов.

Но одну оговорку, пожалуй, стоит сделать: не все самолеты, проектировавшиеся в те годы, имели точно такую судьбу. Так, не все без исключения новые машины выдержали автономные испытания.

**Из истории авиации.** В сентябре 1949 года ОКБ С. А. Лавочкина выпустило двухместный самолет Ла-200, разрабатывавшийся как всепогодный перехватчик. Два турбореактивных двигателя были расположены по обычной схеме — в фюзеляже, уступом, один за другим. Вооружение — три пушки калибра 37 миллиметров. На самолете стояла бортовая радиолокационная станция, он был снабжен усовершенствованным радионавигационным оборудованием. И то и другое согласно проекту предназначалось для перехвата самолетов противника на больших высотах в любых метеоусловиях.

Первый испытательный полет состоялся 9 сентября 1949 года. В испытаниях, длившихся свыше года, были выявлены определенные недостатки самолета. Когда соответствующие доработки были произведены, самолет вторично был предъявлен на испытания, которые закончились к апрелю 1951 года. В серийное производство передан не был, так как уже не соответствовал новым, измененным требованиям, сформулированным в 1950 году.

По новым требованиям ОКБ С. А. Лавочкина на основе Ла-200 приступило к проектированию модификации самолета, получившего обозначение Ла-200Б. Машина получила двигатели большей мощности (установленные по той же схеме — уступом) и усовершенствованную радиолокационную станцию, занимавшую весь нос фюзеляжа. Вооружение то же, что на Ла-200. Станция позволяла вести поиск цели на больших (по тем временам) дальностях и обеспечивала прицеливание для стрельбы из трех пушек.

Основные испытания были начаты в конце 1952 года. Было выполнено свыше 110 полетов (основной летчик-испытатель М. Л. Галлай). Самолет обладал скоростью, превышавшей скорость звука, хотя и ненамного, и исключительно большой дальностью полета.

В серийное производство Ла-200Б также не пошел, так как не имел преимуществ перед перехватчиком А. С. Яковлева, уже поступившим в серию. Теперь был нужен не барражирующий, а, как читатель знает из предыдущего рассказа, «точечный» сверхзвуковой перехватчик. Отрицательные результаты, полученные на Ла-200 и

Ла-200Б, а также общий анализ развития техники привели С. А. Лавочкина к мысли о новом поколении самолетов и создании на их базе авиационно-ракетных комплексов. Исходя из этого был спроектирован Ла-250 — сверхзвуковой истребитель-ракетносец, один из первых в этом классе самолетов.

Ла-250 был очень крупный (для перехватчиков своего времени) самолет. Он обладал треугольным крылом; два мощных турбореактивных двигателя размещались по бокам фюзеляжа. Радиолокатор с большой дальностью действия располагался в носу; ракеты класса «воздух-воздух» (так их окрестили, поскольку они пускались с самолета и должны были поражать самолеты) подвешивались под крылом.

Самолет обладал также целым рядом других новых систем, необходимых для полета как на больших, так и на малых скоростях и выполнения своих задач во всем диапазоне высот. Обладал он и элементами автоматики. Многие из этих систем, впервые примененных С. А. Лавочкиным, были потом после соответствующих усовершенствований использованы другими конструкторами на других самолетах.

С целью расширения фронта работ на испытания были представлены три экземпляра опытного самолета. Первый вылет на одном из них состоялся в июле 1956 года. Однако в силу новизны и ряда других причин испытания проходили с очень большими трудностями. Объем доводочных работ оказался очень большим. Двигатели работали неустойчиво и также нуждались в длительной, серьезной доводке. Большой цикл работ потребовался для доводки управления и автоматики. С этой целью впервые в нашей стране был построен электро-моделирующий стенд.

Несмотря на определенные положительные результаты, самолет в целом испытания не прошел. Сказалось, и то, что сам генеральный конструктор С. А. Лавочкин переключился на разработку совершенно новой машины и эта работа почти целиком поглотила его. Во время испытаний новой машины на далеком испытательном полигоне в 1960 году смерть настигла этого выдающегося советского авиаконструктора.

Ла-250 можно считать прообразом первых советских авиационных комплексов. В этом смысле его вклад в отечественное самолетостроение очень значителен <sup>16</sup>.

Ко всему сказанному следует добавить еще одно важное обстоятельство, выявившееся при испытаниях, а также проявившееся при эксплуатации серийных машин. Благодаря значительному росту летных данных, о котором мы уже неоднократно говорили, самолеты того

периода подошли к еще одному барьеру или очень серьезному препятствию. Речь идет о всевозрастающих трудностях посадки, в особенности при плохой видимости.

Рост скорости полета, увеличение массы самолетов и другие факторы непрерывно повышают требования к посадочному минимуму погоды. Минимумом он называется потому, что при более плохих условиях посадка (а иногда и взлет) уже не разрешается. Для посадки самолетов тех лет нужна была высота облачности не менее 400 метров и хорошая видимость. Для того чтобы создать действительно всепогодный самолет — а перед перехватчиками, как помнит читатель, стояла именно эта задача, — мало обеспечить ему с помощью тех или иных средств возможность успешного полета на больших высотах в любых метеорологических условиях как днем, так и ночью. Нужно решить и другую не менее важную задачу — обеспечить гарантированную посадку при низкой облачности, плохой видимости, ночью, в туман, снег и дождь. Без этого проблему всепогодности решить нельзя. Иначе можно столкнуться с таким положением, когда перехватчик, выполнивший успешно перехват воздушной цели, не сможет безопасно сесть!

Для решения этой задачи надо было и физически и информационно разгрузить летчика не только при перехвате, но и при посадке даже в хороших метеоусловиях, не говоря уже о плохих.

### **Цель, комплексы и постановка задачи**

На примере создания перехватчиков мы показали, как в авиации возникли реальные, объективные предпосылки к переходу от традиционной структуры самолетов к авиационным комплексам. Эти предпосылки возникли не случайно, только у одного типа самолетов; они проявились не только в проекте какого-то одного конструктора, при испытаниях лишь одного перехватчика. Эти предпосылки складывались в связи с общим мировым прогрессом авиационной техники, являлись закономерной вехой на эволюционном пути авиации. Аналогично дело обстояло практически и в других отраслях техники.

Мы преднамеренно оставляем в стороне предпосылки иного характера, хотя именно они в сущности и являются определяющими. Мы имеем в виду те предпосылки, а точнее говоря, причины, которые связаны с агрессив-



ными помыслами империализма и которые в силу этого вынуждают нас в целях усиления оборонной мощи Отчизны всемерно заботиться о прогрессе вооружения и, следовательно, авиации.

Как мы видели, технические предпосылки создания комплексов появились в виде двух серьезных препятствий: «барьера эффективности» и «барьера всепогодной посадки». Первый барьер четко дал о себе знать при испытаниях опытного самолета-перехватчика, рассчитанного на высотные операции, второй ограничивал полеты ряда новых истребителей. Конечно, это были не изолированные явления. В несколько ослабленном и поэтому не очень явном виде с ними столкнулись еще раньше строевые летчики в частях, выполнявшие учебно-боевые полеты на серийных машинах.

Разумеется, серийные самолеты, бывшие тогда в эксплуатации, обладали не такими высокими летными данными, как опытные машины.

Некоторым специалистам, анализовавшим причины снижения эффективности, казалось, что суть проблемы заключалась именно в недостаточности летных данных: не слишком большом потолке, недостаточно большой скорости и так далее. А ведь нам уже приходилось писать, что данные этих самолетов намного превышали характеристики самолетов конца 40-х годов: скорость превышала звуковую, и она тогда считалась рекордной.

«Стоит только определенным образом улучшить летные данные, и все эти недостатки исчезнут», — говорили эти специалисты. Они исходили из бытовавшего в некоторых кругах мнения, что тот самолет лучше, который летает «дальше всех, быстрее всех и выше всех». Реализация крылатой фразы (появившейся еще в 30-х годах) об обязательной триаде летных качеств должна, мол, автоматически обеспечивать самолету преимущество при выполнении боевой операции.

Спору нет, скорость, высота и дальность — это важнейшие показатели самолета. Но указанная концепция, если ее взять в целом, исходила из неверных посылок. Более того, она никогда не соответствовала столбовой дорожке авиации, ибо нельзя обеспечить самолету одновременно преимущества по всем важнейшим параметрам (об этом, как помнит читатель, мы тоже уже рассказывали).

На настоящей стадии развития техники требование

повысить только летные данные, не изменяя другие звенья цепи, с которыми взаимодействует самолет, было глубоко ошибочным. Самолет в том виде, как он развивался раньше, то есть как совершенный летательный аппарат с высокими летными данными, действовавший без разветвленного наземного оборудования, без автоматизированного управления и средств информационного обеспечения, без специального вооружения, уже изжил себя и не мог выполнять сложные боевые задачи.

Рост скорости, высоты и дальности сам по себе уже не приводил к увеличению эффективности, а наоборот, не будучи подкрепленным целым рядом дополнительных систем, мог, как мы только что видели, даже вызвать снижение вероятности боевого успеха.

Совершенно ясно, что барьер, с которым столкнулась авиация, был обусловлен не столько недостаточно высокими летными качествами самолетов тех лет, сколько нарушениями в гораздо более широкой цепи функционирования, охватывающей значительно большее число звеньев и узловых вопросов. Привлекая для анализа сложившейся ситуации методы теории исследования операций, мы как бы расширили угол нашего зрения, включив в рассмотрение множество других звеньев. Благодаря этому мы смогли увидеть в деталях всю цепь перехвата.

Анализ показал, что «лечить» надо не одно, а сразу несколько «больных» мест и тем самым обеспечить равнопрочность всей цепи.

Вкратце можно следующим образом сформулировать основные задачи по созданию эффективности комплекса перехвата, вытекавшие из проведенного анализа.

Во-первых, следовало значительно ускорить обработку информации, поступающей с наземного радиолокатора, и повысить точность формирования заданной траектории наведения (то есть траектории, по которой перехватчику следовало лететь). Необходимые данные летчику перехватчика следовало передавать не три-четыре раза за полет, а гораздо чаще.

Во-вторых, необходимо было максимально разгрузить руководителя полета, возложив на него главным образом общий контроль за ходом наведения. Но это могло быть достигнуто только за счет высокой степени автоматизации наземной системы.

В-третьих, надо было существенно разгрузить летчика и облегчить управление самолетом. При этом, в частно-

сти, целесообразно было рассмотреть различные способы передачи команд и их приема на борту самолета. Сделать это надо было для того, чтобы обоснованно выбрать наиболее удобный для летчика способ.

В-четвертых, надо было добиться, чтобы в процессе наведения перехватчик летел как можно ближе к заданной траектории. Следовательно, надо было за счет автоматизации управления самолетом уменьшить, а еще лучше исключить всевозможные ошибки управления. Заданная траектория должна была обеспечивать не только высокую точность выхода на цель, но и малый расход топлива и, конечно же, выход на максимальный рубеж перехвата. Это предъявляло дополнительные, и притом очень серьезные, требования к выбору программ полета и к самому управлению.

В-пятых, надо было дать перехватчику значительно более мощное оружие — управляемые ракеты класса «воздух — воздух». Применение ракет позволило бы существенно отодвинуть точку наведения (расчетную точку, в которую в итоге должен быть выведен перехватчик) от цели. Это, в свою очередь, облегчит процесс наведения и снизит требования к допустимым ошибкам. Кроме того, применение ракет позволит перехватчику лететь на меньших высотах, то есть ниже цели, а это делает полет менее напряженным. Но, главное, ракеты, обладающие огромной боевой мощностью, обеспечат гарантированное уничтожение противника.

В-шестых, предстояло изменить бортовой радиолокатор, с тем чтобы максимально облегчить управление самолетом в процессе атаки. Дальность обнаружения цели следовало существенно увеличить. Однако основная причина изменения радиолокационной станции — это обеспечение работы ракет. Ведь они потребуют дополнительного управления и наведения.

И наконец, седьмая задача заключалась в обеспечении всепогодной посадки, существенном снижении посадочного минимума.

Как видно, задач у авиаконструкторов было достаточно много, и притом весьма трудных. Для того чтобы создать эффективный перехватчик, отвечающий всем поставленным требованиям, нужно было обязательно решить все эти семь задач. И не изолированно, а в комплексе, совместно и одновременно.

В этом и заключалась новая концепция.

Воплощение всего «пакета» задач в металле должно было привести к комплексам. Если их разорвать, принять к исполнению не все, а только часть, решать не одновременно, а по очереди, то опять ничего не выйдет — не удастся создать эффективный, высотный, скоростной всепогодный перехватчик, способный нести службу по защите рубежей нашей Родины достаточно долго.

Возможно, иным читателям перечисленные задачи покажутся будничными, прозаическими и вовсе несложными. В действительности же за каждым словом приведенных формулировок скрывается огромная работа, которую предстояло сделать. Эта работа требовала значительных усилий не одной авиационной промышленности, а многих отраслей.

Создание комплекса сопряженных разнородных систем вместо слабо связанных между собой, несовершенных звеньев цепи перехвата было единственно возможным и абсолютно правильным решением сложнейшей проблемы. До сих пор авиационный конструктор создавал только самолет, пусть насыщенный оборудованием, но все же воздухоплавательную, летательную машину. За короткий исторический срок эта машина прошла огромный путь от неуклюжих и опасных «летающих этажерок» до потрясающих своей красотой и техничностью сверхзвуковых реактивных самолетов. Теперь же предстояло создать еще и целую цепь новых сложных устройств, которые вместе с самолетом будут составлять уже авиационный комплекс.

Особое развитие должны были получить информационно-управляющие подсистемы. Предстояло создать автоматизированную наземную систему наведения — прямое, но существенное развитие наземной радиолокационной станции. Важной частью этой системы должна была стать вычислительная машина.

Предстояло также установить на самолет управляемые ракеты и оснастить его целым рядом дополнительных и очень важных агрегатов, существенно улучшающих управление. Часть этих агрегатов должна была выполнять команды наземной системы и как можно точнее вести самолет по установленной программе, другая — обеспечивать запуск ракет с предельной дальности.

**Из истории авиации.** В 1962 году генеральный конструктор академик А. Н. Туполев писал в журнале «Авиация и космонавтика»

(№ 6, с. 3—4): «Идея воздушных ракетноносцев не нова. В советской боевой авиации она была воплощена в жизнь еще накануне второй мировой войны, когда появились практически применяемые реактивные снаряды — наши первые боевые авиационные ракеты. В августе 1939 г. во время боев на реке Халхин-Гол в воздух поднялись и нанесли громадный ущерб воздушному противнику советские самолеты с установленными на них ракетами. Это были по существу первые в мире самолеты-ракетноносцы.

Реактивные снаряды широко использовались Советскими Военно-Воздушными Силами в боях Великой Отечественной войны. Штурмовики с помощью этого оружия поражали танки и другие цели на поле боя.

Однако реактивные снаряды того времени были неуправляемы, давали большое рассевание, и для поражения цели требовалось нередко применять большое количество этих снарядов».

Дальность пуска управляемых ракет намного превышает расстояние, с которого пускались неуправляемые снаряды. Проводя параллель с самолетами, можно утверждать, что управляемые ракеты настолько же ушли от неуправляемых, насколько ушли от «летающих этажерок» реактивные самолеты.

Существенным обстоятельством, повышающим эффективность, было и то, что структура комплекса благодаря наличию целого ряда дополнительных компонентов снижала чувствительность самолета к неблагоприятному воздействию различных помех и природных факторов. Дело в том, что немалое противодействие полету «обычного» самолета, в особенности на предельных режимах, оказывают природные силы. А ведь высотный перехват, как мы видели, выполняется именно на таких режимах. Нарушение радиосвязи, отрицательное воздействие атмосферных факторов, погрешности приборов и оборудования, отказы материальной части — все эти проявления природных сил увеличивали ошибки и в конечном счете снижали шансы на успех операции. Ликвидировать эти вредные воздействия можно было введением резервных систем, существенным повышением точности, использованием специальных компенсирующих устройств и т. д.

Итак, новая концепция, появившаяся как следствие отрицательных результатов испытаний... А ведь история мировой авиации знает примеры, когда конструктор, даже достаточно крупный, получив в испытаниях отрицательный результат и не сумев довести объект до нужного

уровня, прекращал разработку и больше не возвращался к этому направлению. Напомним, что доводка обычно заключается в улучшении характеристик или улучшении функционирования путем сравнительно несложных, но очень эффективных доработок каких-либо узлов или элементов. Иногда доводка сводится к изменению конструктивных или регулировочных параметров.

Правда, найти слабые места и, следовательно, точки приложения доводки архитрудно. Для этого требуется большое искусство и специальные методы. Так, для устранения тряски хвоста на одном из самолетов поставили специальные полоски на крыле, чтобы улучшить обтекание и повысить устойчивость воздушного потока. Иными словами, с тряской хвоста боролись, доводя крыло. Поэтому говорить «несложные доработки» не совсем точно: выражение это не отражает существа дела, условность его очевидна. И все-таки от его употребления вряд ли нужно отказываться, и вот почему: при таких доработках общая генеральная концепция и структура объекта в целом не меняются.

Совсем иное положение возникает тогда, когда испытания указывают на необходимость полной замены агрегатов или оборудования, причем не на улучшенные типы того же класса, что стояли раньше, а на принципиально новые образцы. Еще более трудная ситуация возникает в тех случаях, когда приходится прибегать к использованию новых элементов, к кардинальному изменению структуры. Вот это поистине сложнейшая проблема! И возникает она из потребности на ходу менять концепцию.

Ведь новые агрегаты, а тем более новые элементы, надо иметь (чаще всего их приходится создавать заново). Они должны быть самым тщательным образом проверены и испытаны — ведь наряду с положительными результатами они могут привнести и ряд отрицательных моментов. Им надо найти место на самолете, что, как правило, само по себе невероятно трудно. Ведь самолет проектировался без учета этих агрегатов. Наконец, новый агрегат надо состыковать с другими системами, уже установленными на машине, его надо органически «вписать» в структуру. Все сказанное требует больших проектно-конструкторских работ, времени и сил. А время не ждет! Если затянуть работы по доводке, машина может морально устареть, и все усилия окажутся затраченными впустую.

Повторимся: доводка неизбежна в тех случаях, когда в процессе испытаний возникают «обычные» (думается, кавычки тут уместны), или локальные, трудности. Хотя они и «обычные», то есть естественные, точно предсказать, в чем они проявятся, невозможно. Можно лишь с уверенностью сказать, и притом на 100 процентов, что они будут, если, конечно, генеральная концепция машины выбрана правильно и ее менять не надо. Об этом свидетельствует отнюдь не единичный пример, а весь опыт развития авиации и техники вообще.

Генеральная концепция меняется тогда, когда возникают не локальные, частные трудности, а непреодолимые прежними методами барьеры. Если идти по прежнему пути, использовать старые способы и схемы, эти барьеры не преодолеть.

Говорили мы уже о том, что не все сразу и безоговорочно понимают и принимают это. Поэтому изменение концепции — проблема не только техническая, но в известном смысле и психологическая. Конструкторский коллектив — это люди, вложившие в тот или иной проект свою душу, свои творческие силы, время и — не будем бояться громких слов! — частицу жизни. И вот выходит, что в конечном счете все это зря... Кто примирится легко с таким положением?

Отсюда вывод: новая концепция может быть успешно реализована, если она станет понятной всем конструкторам — от руководителя до рядового исполнителя, и они «заболеют» ею, поймут, что требуется от каждого из них. Создать такую атмосферу, добиться, чтобы неудача привела к успеху, — задача главного конструктора.

Если главный сделает это — успех ему обеспечен. Ведь решение общей большой задачи состоит из решения множества мелких, частных задач. За каждой из них стоят бригады, группы, сектора, наконец просто отдельные конструкторы. Организация конструкторской работы в очень большой мере состоит в расчленении общей задачи на целую систему более мелких, частных задач. Но делать это надо так, чтобы ничего не было упущено, чтобы обеспечивалось достижение цельного конечного результата, причем результата нужного. Как тут не вспомнить о комплексном, системном подходе, о котором уже мы столько раз говорили.

Венец успеха каждого конструкторского коллектива — серийное производство объектов его труда и успешная их

эксплуатация. Причем желательно, чтобы «длительность жизни» объекта была максимальной. Именно эффективность серийного объекта при выполнении задач, ради которых он создавался, служит основным критерием успешности проектирования. Под таким углом зрения можно говорить об эффективности проектно-конструкторских работ.

Но пускать в серию или тем более в массовое производство следует только полностью и всесторонне проверенную машину, показавшую в испытаниях не просто хорошие, а отличные результаты. Само собой разумеется, что машина должна быть основана на перспективной концепции, и это тоже должно быть подтверждено материалами испытаний. Иначе в эксплуатации проявится множество недостатков, и это неизбежно снизит, причем весьма резко, эффективность изделия. К сожалению, указанная истина не всегда соблюдается; причин здесь может быть много, но это не меняет сути.

**Из истории авиации.** Говоря о серийном производстве, нельзя забывать весьма драматический пример, относящийся к концу 30-х годов. События в Испании (1936—1939) показали, что важнейшим фактором для истребителей стал перевес в скорости (горизонтальной и вертикальной), без которого маневренность самолета не может иметь значения\*. Поэтому после 1938 года истребители-бипланы, строившиеся в течение многих лет, окончательно отпали как класс самолетов. Присущее им исключительно большое сопротивление, вызванное наличием системы двух крыльев, породило барьер для увеличения скорости. Монопланная схема выдвинулась как единственно возможная для самолетов нового поколения. Однако определенный период промышленность была вынуждена выпускать устаревший истребитель И-153 полуторопланной схемы. Подобное же положение было и с другим серийным истребителем — И-16, который хотя и был монопланом, также уже исчерпал себя как тип. Несмотря на то что оба эти самолета обладали способностью быстро поворачиваться вокруг своей оси, маневренность их в целом была недостаточной из-за невозможности осуществлять быстрый разгон. Кроме того, они уступали своим потенциальным противникам в скорости и высоте полета, в бронезащите и в вооружении.

Принципиально новые и дальновидные концепции принесли в авиастроение молодые коллективы А. С. Яковлева, С. А. Лавочки-

---

\* Под маневренностью самолета понимается его способность быстро изменять свое положение в пространстве.



на, А. И. Микояна и других конструкторов. Но их самолеты были созданы позже, почти что перед самой войной. Так, истребитель МиГ-1 и сменивший его вскоре МиГ-3 начали выпускаться во всевозрастающих количествах в конце 1940 года. В войну самолеты МиГ-3 хорошо показали себя в системе ПВО как высотные и ночные перехватчики и успешно боролись с налетами немецких бомбардировщиков <sup>17</sup>.

Очевидно, что судить об эффективности конструкторской деятельности вполне правомерно, так же как об эффективности технического объекта, хотя методы оценок в обоих случаях различны. Заметим, что лишь тот конструкторский, проектный или научный коллектив способен жить долго и быть эффективным, который, используя текущую концепцию, своевременно рождает новую, прогрессивную идею, а затем гибко и мобильно переходит к ее реализации, отбрасывая старую.

Из истории космонавтики. Весьма редкая способность формировать новые концепции на основе отрицательных результатов экспериментов и тем самым превращать неудачу в успех была свойственна ряду выдающихся конструкторов, прославивших нашу промышленность, технику и науку. Так, например, Сергей Павлович Королев еще на заре космической эры, обнаружил исключительно интересные, далеко идущие возможности в... неудачном испытательном полете одного из беспилотных спутников. На этом спутнике отработывались системы будущих космических комплексов, в частности вспомогательная двигательная установка для торможения.

Вот как описывает случившееся один из участников тех испытаний:

«Из-за неверной ориентации он (спутник.— Г. М.) получил вместо торможения дополнительную скорость и перешел на другую орбиту. Его так и не удалось вернуть на Землю.

Помнится, специалисты были очень огорчены. А Сергей Павлович Королев увидел тогда в незапланированном переходе корабля с одной орбиты на другую первый опыт маневрирования в космосе.

— А спускаться на Землю,— сказал помощникам главный конструктор,— корабли, когда надо и куда надо, у нас будут. Как миленькие будут! В следующий раз посадим обязательно.

С того времени «как миленькие» возвратились на Землю многие космические аппараты самого различного научного и народнохозяйственного назначения <sup>18</sup>.

Но с того времени, добавим, эти и другие аппараты совершали успешные маневры в космосе, переходя с одной траектории на дру-

гую. Практическую возможность таких маневров показал тот неудачный эксперимент.

Есть известный афоризм: «Хорошо поставленная задача уже наполовину решена». Это, конечно, не более чем метафора. Однако бесспорно, что в сложных, полных проблем и драматизма ситуациях, возникающих столь часто на пути развития любой отрасли, высоких результатов может достичь лишь тот, кто уяснил, в чем заключается задача, и на основе этого наметил правильную цель.

Хорошо поставленная задача указывает верное направление. Неправильно поставить задачу — значит направить разработки по неверному пути, потратить впустую силы и потерять время.

Кстати говоря, такое же положение возможно при нечеткой, расплывчатой формулировке, следствием чего будет неверное, расплывчатое понимание задачи исполнителями. Коллектив, выбравший неверные цели, ошибочные концепции, высоких результатов не добьется.

Все сказанное — прописные истины, которые многим читателям могут показаться очевидными, а некоторые даже удивятся, зачем автор столь подробно говорит об этом. К сожалению, с этими истинами по тем или иным причинам иногда не считаются. Особенно трудно реализовать их, когда необходимо создать комплекс. Причина здесь — в сложности самой задачи. Большинство аспектов этой сложности мы осветили в нашей книге.

Правильная постановка задачи не лежит на поверхности, не видна невооруженным глазом. Для ее нахождения (точнее, для ее формулировки) нужны не только серьезные исследования, глубокий анализ имеющихся и полученных дополнительно данных, в том числе результатов испытаний и экспериментов. Нужен еще широкий кругозор, предвидение, интуиция. Но всех этих человеческих факторов мало, хотя они исключительно важны. Необходимо еще, чтобы технический уровень, возможности производства и, что особенно существенно, научно-технический потенциал страны и отрасли позволяли реализовать принятую концепцию.

Можно высказать предположение (повторяем, это только гипотеза), что С. А. Лавочкин не стал развивать комплекс перехвата после неудач с Ла-250 именно пото-

му, что, столкнувшись с трудностями доводки этого сложнейшего самолета, не видел в тот момент реальной возможности получить в короткий срок необходимые компоненты, отлаженные на автономном и системном уровнях. Время создания пилотируемого авиационного комплекса еще не наступило, хотя уже было очень-очень близко.

Положения, высказанные в настоящем разделе, можно дополнить важной и интересной мыслью, высказанной польским историком авиации Э. Цихошем (Сверхзвуковые самолеты. М, Мир, 1983, с. 10): «Связь между развитием авиационной техники и ее использованием носит двусторонний характер. С одной стороны, постановка новых задач вдохновляет конструкторов самолетов на поиск лучших решений. С другой стороны, разработка новой авиационной техники открывает перед авиацией новые возможности ее применения». И, дополним, ставит новые задачи.

Разработка комплекса взаимосвязанных систем позволила преодолеть определенные барьеры, возникшие на пути развития конкретного типа самолета, существенно повысить его эффективность. Но новый тип самолета — авиационный комплекс — применялся иначе, чем его предшественники. Потребовалась разработка (используем распространенные термины) новых «технологических» приемов применения. Без этого эффективность не могла бы возрасти должным образом.

Однако, прежде чем проверить новые приемы, надо создать сам комплекс, тщательно его испытать. А испытания желательно построить так, чтобы новые приемы использования в них уже присутствовали; конечно, не сразу, но на последней стадии.

## Комплекс воплощается в металл

*Опыт многих лет свидетельствует, что реализация научно-технических новшеств, несмотря на некоторые отраслевые нюансы, все-таки остается внедрением, то есть насильственным продвижением вперед в сопротивляющейся среде.*

*Г. Л а х т и н. Правда, 1980, 15 мая*

### Механизм организации и управления

Если считать, что верная постановка задачи — уже половина успеха в создании сложного технического объекта (а предыдущий раздел должен был убедить читателя в справедливости этой метафоры), то возникает вопрос: чем же обеспечивается вторая половина? Более правильно было бы сформулировать вопрос несколько иначе: что гарантирует воплощение в металл новой концепции, основанной на правильных посылах, но требующей приложения огромных усилий, преодоления множества препятствий, устранения десятков и сотен «подводных камней»?

Ответ на эти вопросы однозначен: четкая организация, основанная на принципах системотехники, хорошее управление всем процессом разработки и создания комплексов.

Такой категоричный ответ не должен вызвать удивления, если учесть все излагавшееся выше. Несомненно, важную роль играет хорошее конструирование; но оно само по себе еще не определяет качества проекта, не говоря о качестве построенного объекта. Не менее существен выбор наиболее приемлемых вариантов для многих элементов, подсистем и компонентов, а также структуры в целом. Для этого конструирование должно сопровождаться серьезнейшими теоретическими и экспериментальными исследованиями. Во многих случаях исследования

предшествуют конструированию. Нельзя умалить и роли технологии. В испытаниях и отработке объекта также немалый залог успеха. Таким образом, факторов очень много. И только четкая организация позволяет правильно распределить усилия, обеспечить достижение поставленных целей в заданные сроки. Управление же позволяет вовремя справиться с возникающими трудностями, парировать возмущения и случайные факторы.

Проектирование, постройка и испытания комплекса требуют несоизмеримо больших затрат труда, чем создание любого некомплексного технического объекта. Ведь скачок от средних систем к комплексам сопровождался не только значительным увеличением числа компонентов и связей между ними, но и качественными изменениями всей структуры. Поистине, количество здесь перешло в качество. Пожалуй, именно это и есть главное в объяснении трудностей, возникающих при создании комплексов.

Рождение новой техники в современных условиях — очень сложный, многогранный и дорогостоящий процесс. В нем участвуют большие коллективы, а если говорить о комплексах, то число организаций-участников может достигать нескольких десятков и даже сотен. Стоимость разработок и испытаний очень велика и непрерывно возрастает. Наконец, создание объектов должно идти по определенному графику, с тем чтобы они поступили в эксплуатацию в назначенный срок. Плохая, нечеткая организация может привести к затяжке сроков и чрезмерному, неоправданному увеличению затрат.

Все эти вопросы сплетаются в один общий узел и могут быть решены только с помощью очень совершенной организации коллективного труда. Именно она — стержень всего процесса.

Напомним, для разработки и постройки обычных систем давно начали складываться конструкторско-технологические системы. При переходе к комплексам они претерпели значительные изменения. Теперь мы, по существу, имеем три сопряженные, тесно взаимосвязанные, большие, сложные системы, вовлеченные в единый макрокомплекс, — сам комплекс («металл», как принято говорить в кругах специалистов), множество конструкторских, испытательных, научных и производственных организаций, образующих проектно-технологический комплекс, процесс создания комплекса от формирования требований к нему до внедрения в эксплуатацию. После окончания

этого процесса добавляется четвертый комплекс — эксплуатирующий, но о нем речь впереди.

Не только комплексу, но и сопряженным с ним системам (в том числе процессу создания) свойственны все характерные особенности, указанные в первой главе, например, большое число разнородных компонентов и этапов, тесные взаимосвязи между ними, иерархическая структура, исключительно большая роль управления и т. д. Организация макрокомплекса и управление им воздействуют не на одну, а на все три сопряженные системы, обеспечивая достижение поставленной при проектировании цели.

Цель эта — не просто построить комплекс. Сказать так — было бы сильным упрощением. Цель эта — создать высокоэффективный комплекс в установленный плановый срок (а еще лучше сократив его) при минимальных затратах. Главное здесь то, что комплекс должен строго соответствовать всем поставленным требованиям!

На пути к достижению этой цели возникает много препятствий: по тем или иным причинам не удастся добиться выполнения всей суммы требований, либо же сроки выполнения отдельных этапов работ начинают возрастать. Причины могут содержаться в других сопряженных системах, в недоработках комплекса, дефектах проектирования или же в недостатках организаций, создающих этот комплекс. Они могут быть вызваны и пробелами планирования, дефектами процесса создания, отсутствием какого-либо этапа. Поэтому-то и нельзя отрывать эти системы друг от друга.

Устранить все препятствия, помехи и случайности призвано управление разработками комплекса. Заметим, оно обладает еще одним важным «универсальным» признаком, характерным для любых видов управления, — программой, о необходимости которой мы говорили в первой главе. Ею является план создания комплекса.

Каким же способом осуществляется в организационно-технических системах управление? Конечно, природа управляющих воздействий здесь совершенно иная, чем у самолета, корабля или телевизора. Но возможностей управления не так мало. Существует целый арсенал средств воздействия на многозвенный процесс создания новой техники. Это и разбиение на этапы, и четкое планирование каждого этапа, и рациональная организация каждого звена, этапа и компонента, и концентрация уси-

лий на важнейших, критических участках, и автоматизация большинства работ, и многое другое, в том числе моральные и материальные стимулы.

Организация работ не должна быть, как принято говорить, «жесткой», то есть неизменной, незыблемой. Должна быть предусмотрена возможность корректировки, маневра, усиления слабых мест.

Проиллюстрируем все сказанное примером создания первых комплексов перехвата. Но начать рассказ мы должны с изменений в организации промышленности.

Еще в начале 40-х годов проектирование и постройка самолета были под силу сравнительно небольшим конструкторским бюро, насчитывавшим 50—60 человек. В реализации же задач, необходимых для создания комплексов, принимают участие многотысячные коллективы, объединяющие инженеров, техников и рабочих огромного числа специальностей.

В конце 50-х годов в ряде отраслей, в первую очередь в авиации, стали складываться головные организации для руководства всеми подобными работами. Поскольку дело было новым, вначале имелось несколько различных предложений. В одном из них предлагалось выбирать в качестве головной организации небольшие «элитные» КБ с малым числом сотрудников. Их задача — только координировать, а не создавать, говорили авторы этого предложения. Однако руководители большинства отраслей промышленности с подобным вариантом не согласились.

Головная организация должна быть сама очень мощной; в ее составе должны быть специалисты по очень многим вопросам, в том числе и по тем, которые являются профилирующими для организаций-созрабатчиков. Более того, головная организация сама должна разрабатывать наиболее важный компонент комплекса (в авиации — самолет). Иначе головная роль превратится в фикцию и комплекс создан не будет!

Сложность и многогранность процесса разработки комплексов привели к невиданной концентрации конструкторско-проектного труда. Разработка новых образцов техники потребовала также разветвленной сети лабораторий для проверки систем и оборудования, а впоследствии и для моделирования условий эксплуатации нового объекта (и это помимо существенного развития специализированных научно-исследовательских институтов и лабораторий).

Разработка самолетов и вертолетов была в конце 50-х годов сосредоточена в нескольких больших ОКБ, возглавлявшихся генеральными конструкторами. Только таким мощным организациям (и, добавим, их выдающимся руководителям) оказалось по плечу создание комплексов и доведение их до серийного производства. С этой целью во всех ОКБ были, в частности, развернуты многочисленные лаборатории для стендовой проверки работы электро- и радиолокационного оборудования, гидро- и пневмосистем, управления самолетом, силовой установки и других компонентов. Существенное развитие получила и их летно-испытательная и доводочная база.

Одновременно стало ясно, что без определенных организационных изменений в самих головных КБ комплексы не создать. Это не означало, что следовало полностью менять сложившийся порядок, перекраивать структуру КБ, в которой предусматривались отделы или бригады, отвечавшие за каждый узловой вопрос проектирования самолета — его конструкцию, прочность, аэродинамику, двигатель, вооружение, испытания и т. д. Наоборот, надо было продолжить эту практику и выделить подразделение, отвечающее за комплекс на системном и полном уровнях.

Этому подразделению необходимо было поручить работу по выбору компонентов комплекса, их стыковке в единое целое и анализу функционирования. Оно же должно было проводить оценку эффективности комплексов и поиск «узких» мест. Заметим, что все это представляло собой сплошную целину; методы решения всех перечисленных задач нужно было разрабатывать на ходу, непосредственно в процессе выполнения работ.

Это же подразделение должно было координировать действия разработчиков и других отделов КБ во всем, что касалось комплекса. Без такой руководящей, или головной, ячейки (между прочим, весьма мощной) столь сложное и многогранное дело не могло бы двигаться, а вероятность успеха была бы близка к нулю.

**Из истории авиации.** Заслуженный летчик-испытатель СССР, Герой Советского Союза, доктор технических наук М. Л. Галлай, лично знавший почти всех видных конструкторов того периода, вспоминает (Наука и жизнь, 1980, № 1): «В условиях сосредоточения опытного самолетостроения в больших, как правило, многотысячных творческих коллективах заметно изменился — не мог не измениться! — и сам облик конструктора, стоящего во главе такого коллектива. Он уже не



мог быть только эрудированным инженером, генератором идей, изобретательным конструктором, обладателем творческой жилки. То есть, конечно, все это при нем должно было остаться, но обязательно дополниться талантами умелого организатора, признаваемого коллективом лидера (и следует добавить: не только своего КБ, но и многих организаций-созрабатчиков, а также ведомств, руководящих соответствующими отраслями.— Г. М.), проницательного психолога, а порой и дипломата. Вот и получилось, что не один одаренный конструктор, успешно создававший новые, хорошо летающие аппараты в 20—30-х годах, позднее либо перешел на второстепенные роли, либо оказался вообще в стороне от самостоятельной конструкторской деятельности. Когда думаешь о каждом из них, остро ощущаешь несправедливость, проявленную судьбой по отношению к ним. А в целом видишь процесс закономерный или, во всяком случае, объяснимый».

Создание комплексов шло параллельно с бурным развитием теоретических основ проектирования больших систем. Научно-техническая революция породила целый спектр новых дисциплин — радиолокацию, теорию управления, теорию ракет, теорию исследования операций, теорию вычислительных машин, теорию моделирования... Каждая из них в свою очередь распадается на множество ветвей. Кроме того, интенсивно развиваются аэродинамика высоких скоростей, термодинамика, прочность, аэроупругость, теория конструкций... Казалось, все это необходимо для построения авиационного комплекса, но постигнуть все одному человеку невозможно. Появились прекрасные, очень крупные специалисты по каждой дисциплине. Но ведь руководителю работ и специалистам по комплексу нужно охватить очень широкий круг вопросов.

Здесь на помощь пришла та самая системотехника, о которой рассказывалось ранее. Ее развитие тоже шло параллельно становлению комплексов. Она позволила охватить именно те вопросы, которые необходимы для создания комплекса.

Накопленный за много лет опыт разработки таких сложных объектов, как самолеты, и, добавим, системотехника как наука, позволили сформулировать основные принципы проектирования комплексов. Кратко они свелись к следующему:

1. Рациональный (обратите внимание: не оптимальный, достичь которого очень трудно, а рациональный, то есть достаточно близкий к нему) выбор компонентов и

подсистем, обеспечивающий выполнение комплексом в целом всех поставленных задач.

2. Тщательное сопряжение компонентов в единый, хорошо функционирующий механизм.

3. Всесторонняя, скрупулезная автономная проверка работоспособности каждого компонента.

4. Оценка работоспособности сопряженных компонентов на системном уровне.

5. Полная оценка работоспособности комплекса и определение его эффективности при решении поставленных задач.

### **Ускоряя свой бег по ступеням проекта**

Основа процесса создания комплекса — проектная документация, подготовка которой из-за чрезвычайно большого объема и необходимости непрерывного контроля хода работ осуществляется не сразу, в один прием, а распадается на несколько стадий. Каждая стадия заканчивается выпуском и согласованием строго регламентированных документов.

Такой порядок (кстати, сложившийся тоже на рубеже 50—60-х годов) позволяет руководителям отрасли, представителям эксплуатирующих организаций и ведомств, контролирующим ход работ, практически непрерывно оценивать сделанное, вносить своевременно поправки и коррективы, принимать обоснованное решение о переходе к следующей стадии. Наконец, он позволяет во всей совокупности данных принимать решение о запуске объекта в серию (или, наоборот, считать его производство нецелесообразным), а в дальнейшем — о принятии комплекса в эксплуатацию.

Проектирование должно вестись таким образом, чтобы на каждой стадии, начиная с самой первой, возникало законченное, хотя и различное по полноте и содержанию представление о комплексе и его компонентах — вначале очень приближенное, слабо очерченное, в конце полностью завершенное.

Такой подход — конечно, при разумном числе стадий и быстром рассмотрении документов — ни в коей мере нельзя считать проявлением бюрократизма. Наоборот, без него усилия могут быть направлены по неверному пути, чреватому рядом неблагоприятных последствий. Однако при затягивании процедуры согласования, при

нагромождении согласующих инстанций или других ошибках организации (заметьте, опять организации!) возможна потеря времени и серьезная задержка всего процесса.

В 1968 году начал разрабатываться и вскоре вышел специальный государственный стандарт на стадии разработки и единую систему конструкторской документации при создании сложных объектов новой техники. Колоссальный объем чертежей и других документов,готавливаемых в процессе проектирования, а также наметившийся в различных отраслях разноречивый в наименованиях, этапах разработки и т. п. потребовал упорядочения всего процесса с помощью такого стандарта. В нем предусмотрено пять стадий выполнения работ.

Началом любого проекта служит *Техническое задание*. В нем устанавливаются полный свод требований к разрабатываемому объекту, основные технические и эксплуатационные характеристики, которые должны быть получены при разработке объекта, а затем подтверждены (это условие следует считать обязательным) при его испытаниях.

Техническое задание — один из важных стимулов научно-технического прогресса. Оно обеспечивает высокие данные и конкурентоспособность создаваемого объекта. Но, как в любом деле, здесь надо знать меру. Завышенные, неоправданные требования приводят зачастую к излишним, даже чрезмерным расходам, большой затяжке сроков создания и поэтому весьма опасны. Точно так же заниженные задания не стимулируют движение вперед и опасны в еще большей степени. Поэтому планирующие организации совместно с головным ОКБ или проектным институтом очень тщательно подготавливают и согласовывают требования на вновь создаваемый комплекс.

Вторая стадия проектирования — это подготовка *Аванпроекта* (дословно: раздел проекта, идущий впереди). Новый стандарт это название не сохранил; оно заменено на «Технические предложения». В них должно быть показано, как будут удовлетворены все требования технического задания, с помощью каких средств это будет достигнуто. Для этого необходимо изложить сущность принятой концепции, показать структуру комплекса, кратко описать каждый компонент и сформулировать полный перечень требований к ним. Требования необходимы организациям-созрабатчикам, которые будут создавать компоненты и подсистемы комплекса.

Очевидно, что при выборе систем, включаемых в комплекс, следует исходить из незыблемого правила: ничего лишнего, только то, что действительно способно обеспечить выполнение требований, повышение эффективности до заданного уровня. Конструкторы обязаны учитывать и степень готовности систем к тому, чтобы из них можно было реально, сегодня, а не завтра, составить работоспособный комплекс.

Если мы хотим получить эффективный, хорошо функционирующий комплекс в достаточно короткий срок, то не следует включать в его состав сырые, неиспытанные, недоведенные агрегаты и системы, а тем более изделия, которые их разработчикам кажутся очень хорошими, но существуют пока на бумаге. На отработку таких систем уйдет слишком много времени, а его-то обычно нет. Кроме того, в испытаниях эти агрегаты могут вообще не достичь проектных данных.

С другой стороны, совершенно ясно, что ориентироваться на старые, пусть хорошо работавшие, но морально уже изжившие себя системы тоже нельзя. В состав комплекса надо включать только технически прогрессивные компоненты. Поэтому создавать их надо загодя. Однако полностью готовых, годных к включению в комплекс без всяких доделок систем может и не быть. В большинстве случаев именно так и бывает. В особенности не следует рассчитывать на готовность узлов сопряжения агрегатов, изготавливаемых различными организациями. Все это нужно проектировать и изготавливать заново, исходя из требований, указанных в техническом задании.

Все эти взаимные увязки, распределение обязанностей, стыковки компонентов и, добавим, организаций, их создающих, выполняются на стадии разработки аванпроекта. Главное здесь — ничего не забыть и не упустить!

Вернемся вновь к авиационно-ракетному комплексу перехвата. Создание его явилось совершенно новым делом для многих коллективов. Кроме трудностей естественных, обычных для случаев, когда берешься за что-то новое, возникли и другие, — их можно уподобить кругам на воде от брошенного камня. Ну, к примеру, такая. В первых авиационных комплексах неизбежно должны были появиться компоненты, которых авиастроители просто не знали, они для них были непривычны. И проектировали их другие, не авиационные конструкторы по совершенно иным принципам и стандартам в организа-

циях, принадлежащих другим ведомствам, подчас далеким от авиации.

— Ну и что же, в чем тут трудность? — спросит читатель. — Берите и внедряйте в свои комплексы достижения соответствующих отраслей — эка важность!

Увы, это просто лишь на первый взгляд. Редко бывает так, чтобы «чужое» достижение подходило вам, как ключ к замку. Особенно это касается авиации. Тут «чужие» достижения надо, как правило, подгонять, подчинять требованиям и стандартам сугубо авиационного характера: по весу, размерам, свойствам выдерживать перегрузки и вибрации, по многим другим параметрам, специфичным для объекта, которому надлежит быть установленным и эффективно работать на летательном аппарате.

Все компоненты комплекса должны быть «припасованы» к конкретному самолету-носителю, а самолет-носитель согласован с этими компонентами. Иными словами, нужно было не только внедрить новые технические достижения в авиацию, но и превратить новые компоненты в авиационные агрегаты. Для этого недостаточно ужать их (чтобы найти место на самолете) или сделать прочнее. Их функционирование не должно требовать от самолета таких маневров, которые он делать не может, а отказ (ведь системы не могут быть абсолютно надежными) не должен ввергать самолет в какие-либо неприятности, грозящие аварией. Говоря образно, самолет следовало защитить от ошибок и отказов этих систем.

Справедливости ради следует сказать, что с указанной проблемой конструкторы авиационных КБ — а они находятся на передовом крае развития техники и, следовательно, первыми встречаются со многими трудностями — столкнулись, устанавливая на перехватчик бортовой радиолокатор, снабженный простейшим вычислителем. Он должен был вычислять сигналы управления самолетом во время атаки. Трудности оказались достаточно серьезными: экран локатора и поступавшие на него сигналы, метки, были не очень заметны для летчика; вычислитель в ряде случаев выдавал команды на такие маневры, которые самолет вообще не мог выполнить, в особенности на больших высотах. Проблема усугублялась тем, что даже простое взаимопонимание между специалистами-самолетчиками и радиоэлектронщиками достигалось не сразу. Понадобились как раз те качества, о которых писал М. Л. Галлай в цитируемых выше

воспоминаниях. Именно после достижения взаимопонимания локатор и его вычислитель были доведены.

Другую проблему можно кратко сформулировать как обеспечение эффективного взаимодействия компонентов. Мы уже говорили, что подсистемы нельзя просто сложить или соединить. От этого эффективность всей системы не возрастет, а, возможно, даже упадет. Из подсистем надо сделать единый, слаженный механизм, в котором все части четко взаимодействуют, принося в систему совершенно новые свойства. Именно взаимодействие разнородных компонентов должно существенно повысить общие характеристики системы в нашем примере — авиационного комплекса.

Естественно, каждый разработчик, в том числе и конструкторы самолетных агрегатов (ряд агрегатов создается самостоятельными конструкторскими бюро), занимаясь своим объектом и отвечал только за него. Вся тяжесть стыковки, увязки, согласования ложилась на плечи головных ОКБ, а внутри их — на подразделения комплексных систем. Успех всего дела зависел от широты их подхода, от способности охватить всю проблематику комплексов, от знания и умения применить на практике принципы системотехники. В немалой степени зависел успех и от качества требований к компонентам, подсистемам и агрегатам, подготавливаемым этими подразделениями.

Вся многоступенчатая процедура проектирования была призвана облегчить эту работу, исключить возможные ошибки, повысить эффективность разработок. На каждой стадии уточнялись и корректировались данные, системы совершенствовались, ошибки и просчеты, неизбежные в каждом серьезном деле, устранялись.

Третья стадия проектирования — подготовка *Эскизного проекта*. Он предусматривает значительно более глубокую проработку принятой концепции и многих ее деталей, чем аванпроект. В нем содержатся принципиальные конструктивные решения каждого элемента, их связей и комплекса в целом. Он дает хотя и общее, но достаточно полное представление об устройстве каждого агрегата и сущности межагрегатных связей.

Важная особенность эскизного проекта заключается в том, что в нем должны быть приведены обоснованные данные (полученные не только с помощью расчетов, но и на основании экспериментов), достаточно полно харак-

теризующие комплекс. В числе таких данных должны быть материалы, по которым можно было бы судить, как в различных условиях, возможных в процессе эксплуатации, будут выполняться операции, заданные комплексу.

Разработка методов определения таких данных на стадии, когда объект и его составляющие еще не построены, а только создаются, представляет собой серьезную проблему даже сегодня, когда существуют моделирующие установки, ЭВМ третьего и четвертого поколения и наука шагнула далеко вперед. Но два-три десятилетия назад подобные методы только разрабатывались, а в наличии были лишь ЭВМ первого поколения.

Развитие методов прикладной математики и моделирования, широко известных теперь, в значительной мере обязано разработке комплексов. Именно большие системы дали импульс этим направлениям.

Как мы видели в описанном выше примере, недостатки перехватчика «докомплексной схемы» проявились четко в летных испытаниях. Совершенно ясно, что летные испытания — наиболее полный и достоверный способ проверки новой техники. Но их можно начинать только тогда, когда самолет и все его компоненты полностью построены и укомплектованы. Ведь самолет нельзя выпустить в полет недостроенным. Однако ждать окончательной постройки комплекса очень долго. Ряд принципиальных вопросов необходимо проверить на первых стадиях создания.

До сих пор для этих целей использовались расчеты; с их помощью прогнозировались летные данные, прочность и другие характеристики самолета. Теперь же расчетов стало совершенно недостаточно. С появлением комплексов значительно усложнились вопросы, связанные с функционированием большинства систем. Особенно это относится к авиационной технике. Если же вспомнить задачи, решить которые необходимо было для создания комплексов, то их оценить с помощью расчетов было просто невозможно. Для оценки показателей эффективности достоверных методов расчета еще не существовало.

Инженеры и ученые развернули интенсивные исследования, чтобы разработать методы предварительной проверки компонентов и комплекса в целом путем моделирования. Это был смелый, новаторский шаг, открывший новое, очень перспективное направление отработки сложных систем и комплексов. При этом было предложено

несколько видов моделирования — *математическое*, то есть с помощью ЭВМ, *полунатурное* — с применением реальных объектов и с участием человека-оператора, и *натурное* — с использованием специальных летающих лабораторий. К описанию сущности моделирования мы еще вернемся. Пока же укажем, что оно позволило существенно сократить сроки создания сложных объектов, повысить их эффективность и качество.

Четвертая стадия разработки комплексов — это подготовка так называемого *Технического проекта*. Как сказано в упоминавшемся нами стандарте, он должен содержать окончательные технические решения всех элементов комплекса, его подсистем и компонентов. На этой стадии разрабатываются и строятся макеты и опытные образцы систем, входящих в комплекс. Все они подвергаются тщательным испытаниям на автономном и системном уровнях.

Заключительной стадией разработки комплекса служит разработка *Рабочей документации* для серийного производства.

Хотя стилей работы существует много, автору лично нравится следующий организационный принцип, сложившийся в некоторых конструкторских коллективах: рассмотрение множества вариантов на начальной стадии, в процессе разработки аванпроекта; выбор одного-двух вариантов для детальной проработки на стадии эскизного проекта; полная незыблемость документации, разработанной в техническом проекте и пошедшей в производство.

Изменения в уже созданную конструкцию следует вносить только тогда, когда результаты испытаний четко показали необходимость доводки; на все изменения следует получить разрешение главного конструктора или его заместителя. Вместе с тем у главного конструктора, а следовательно, у руководителей соответствующих бригад и отделов всегда должно быть в запасе по меньшей мере одно решение (конечно, в рамках принятой исходной концепции). Оно пускается в ход лишь в исключительных случаях. Однако ради того, чтобы в таком исключительном случае не нарушался четкий ритм работ, запасное решение необходимо.

Хотя, как говорится, возможны и другие варианты, такой порядок обеспечивает слаженную работу всего проектно-технологического комплекса, включающего, по-



мимо конструкторских отделов, производственные подразделения, лаборатории, испытательные организации, многочисленных смежников и, наконец, в дальнейшем, после завершения всей рабочей документации,— серийные заводы. Как показывает практика, сбои в работе, вынужденные простои, заторы почти исключаются; предприятия, несмотря на накал борьбы за эффективность выпускаемых объектов и сроки, не лихорадит.

### Этапы, компоненты, стыки

Мы рассказали, как формировались требования к авиационно-ракетному комплексу перехвата и вырабатывалась его техническая концепция. Продолжим дальше наше повествование.

По существу, на первых двух стадиях выполнялись поисковые исследования, шло «ощупывание» проблемы. На этом пути было много трудностей. Не было еще готовых подсистем, которые можно было бы использовать как компоненты. Было неясно, как стыковать компоненты друг с другом, какова в деталях должна быть организационная структура комплекса. Много споров возникало вокруг степени автоматизации управления: нужно ли стремиться к полной автоматизации или же более правильно включить операторов в контур управления и обработки информации.

Главное же заключалось в том, чтобы заранее выявить слабые места будущего комплекса, чтобы в дальнейшем уделить им наибольшее внимание. Таковыми, в частности, оказались стыки компонентов и этапов функционирования.

Важность всей этой работы трудно переоценить. По существу, были подготовлены силы, определены пределы возможного, намечены реальные пути для штурма барьера эффективности.

Неожиданный затор на пути создания новых самолетов послужил мощным толчком к резкому ускорению и расширению работ. Сжатая до предела пружина стремительно распрямилась.

Что же представляет собой комплекс перехвата? Из каких компонентов он состоял? Как в общих чертах осуществлялось его функционирование?

Относительно так называемого активного участка работы комплекса в принципе было ясно, что тут должно

быть пять основных компонентов: наземная автоматизированная система дальнего наведения, самолет-носитель, бортовая радиолокационная станция, ракеты «воздух — воздух» и бортовая навигационно-пилотажная система. Мы не включили сюда традиционные компоненты самолета-носителя: силовую установку, систему управления, систему жизнеобеспечения, аварийного покидания самолета и т. п. — с ними никаких проблем уже не было.

Для выполнения гарантированной всепогодной посадки необходимы были еще два компонента: наземная радиотехническая система привода на аэродром и обеспечения захода на посадку и бортовая система навигации и управления, сопряженная с наземными агрегатами.

Каждая из этих систем-компонентов сама по себе достаточно сложна и включает целый ряд подсистем и агрегатов. Те в свою очередь состоят из многочисленных блоков, узлов и т. д.

**Из истории авиации.** Для того чтобы дать читателю представление об эволюции элементов самолета-носителя как компонента авиационного комплекса, приведем выдержки из статьи генерального конструктора по двигателям С. К. Туманского (Авиация и космонавтика, 1963, № 3):

«...Что нового появилось в управлении современным турбореактивным двигателем? Оно стало весьма сложным и включает в себя большое число операций. Причем каждая операция должна быть хорошо согласована с изменяющимся режимом работы двигателя. Выполнить все это вручную летчику совершенно невозможно.

Вот почему, создавая новые двигатели, конструкторы стремятся высвободить летчика от управления многими операциями. У летчика должен быть лишь один сектор (имеется в виду так называемый сектор газа — рукоятка, управляющая изменением числа оборотов двигателя.— Г. М.), а все остальное делает автоматика.

Автоматические системы управления решают и другую задачу — защиту двигателя и самолета от опасных режимов. Они включают в себя ограничители максимальных величин расхода топлива, давлений, температур, оборотов ротора и т. п.

Автоматические системы обычно запускают двигатель на режим наименьших оборотов ротора, переводят на режим максимального числа оборотов, включают и выключают форсажный режим и строго сохраняют заданный летчиком режим при изменении скорости и высоты полета...

Автоматические системы для силовых установок, рассчитанных на средние и большие скорости полета, изменяют положение подвиж-

ных деталей, регулирующих площадь входной части канала. Это улучшает условия работы воздухозаборника и двигателя и предотвращает возможность срывных явлений.

Даже краткий перечень функций, выполняемых автоматическими системами управления, показывает, насколько они сложны и многообразны. Их создание, обеспечение эксплуатационных удобств и высокой степени надежности требует значительного времени, средств и усилий крупных специализированных коллективов».

Кстати говоря, сложность комплекса, многообразие его компонентов породили еще одну проблему — терминологическую. Достаточно указать, что в ряде литературных источников и многих технических документах сложные системы и их компоненты сами называются комплексами: например, наземный автоматизированный комплекс дальнего наведения, бортовой пилотажно-навигационный комплекс и т. д. Во избежание путаницы мы будем использовать уже принятые понятия и термины, исходя из описанной выше иерархической лестницы: комплекс — компоненты — подсистемы — агрегаты — узлы. Объединение комплексов будем, как условились, называть макрокомплексами.

В предшествующих разделах неоднократно говорилось о непрерывности функционирования комплекса, о необходимости обеспечения этого важнейшего свойства сложных систем. Как выглядит этот вопрос применительно к комплексу перехвата?

Действие авиационно-ракетного комплекса от взлета до атаки и поражения цели, а затем последующего возвращения самолета на аэродром посадки как раз и есть такой непрерывный, но далеко не однородный процесс. Так, активный участок, то есть собственно перехват, расчленяется на шесть различных этапов; четыре из них выполняет самолет, два — ракеты. Применительно к самолету это следующие этапы: взлет и выход в исходную точку (отсюда начинается этап наведения); полет по командам наземной системы дальнего наведения; полет по сигналам бортовой радиолокационной станции (включающий атаку и пуск ракет); выход из атаки и уход от пораженного объекта.

Полет ракеты, естественно, происходит после ее пуска. Первый этап — это движение от точки пуска до сближения с целью, второй — поражение цели боевой частью.

Таким образом, этапы функционирования не обязательно следуют один за другим; они могут происходить и параллельно: пока ракета летит к цели, перехватчик отворачивает от нее и возвращается на базу.

Завершающий участок полета самолета (после выхода из атаки) состоит из возвращения в район аэродрома — «привода», как его часто называют, снижения, захода на посадку и собственно посадки. Здесь возможны и подварианты, которые обязательно нужно учитывать в структуре комплекса. Например, посадочная полоса может быть занята; тогда предстоит ожидание или уход на резервный аэродром.

Такая многокомпонентная, многоэтапная структура с параллельными и резервными линиями типична для большинства комплексов, применяемых в различных областях техники, науки и в сельском хозяйстве. Больше того, она представляет собой характерную особенность сложных больших систем и подлежит обязательному учету при их создании. Родилась она из той самой цепи функционирования, которая и обусловила, как говорилось ранее, появление комплексов, поскольку традиционные формы организации производства уже перестали удовлетворять общественные потребности.

Строя комплекс и выбирая его компоненты, надо в первую очередь обеспечивать надежное сопряжение этапов и участков друг с другом, так же как и сопряжение компонентов. Надо делать все, чтобы ни в коем случае не нарушалась непрерывность процесса функционирования.

Переход с одного этапа или участка на другой должен происходить плавно, без скачков и разрывов. Важно это требование для наземных транспортных средств (комплексов), а уж для летающих оно имеет решающее значение: ведь сильный рывок или скачок при переходе с одного этапа на другой для летательного аппарата просто недопустим — он равносителен катастрофическому удару.

В обеспечении этих требований заключается одна из серьезнейших проблем создания комплексов, которой мы частично уже касались. Корни ее в том, что практически на каждом этапе работы комплекса управление осуществляется с помощью различных систем. Так, в комплексе перехвата дальним и бортовым наведением, а также

возвращением самолета управляют пять совершенно различных систем: наземная система наведения, бортовая радиолокационная станция, наземная система привода, бортовая навигационная система, бортовая система автоматизированного управления. Две из них (навигационная и система управления) работают все время, три другие меняются: заканчивает работу одна, тут же включается соответственно другая.

На отдельных этапах перехвата, по существу, функционируют различные компоненты. На этапах дальнего и бортового наведения — это самолет-носитель, сопряженный с другими системами, на последующих этапах — ракета. Самолет в это же время выходит из атаки и должен возвращаться.

Поэтому проблема стыков столь остра.

Окончание этапа наземного наведения служит началом полета по сигналам бортовой станции. Если на первом этапе самолету по каким-либо причинам не удалось выйти в требуемое положение, второй может сорваться. В этом случае говорят, что начальные ошибки оказались чрезмерно большими. Следующим является стык бортового наведения с пуском ракет. Хотя ракеты способны исправить определенные, достаточно большие ошибки, возможности их не безграничны: при сбоях и нарушениях результат окажется неблагоприятным. Следовательно, задача заключается в том, чтобы обеспечить если не «гладкие», то приемлемые стыки. Это правило действует абсолютно во всех комплексах!

Здесь может возникнуть законный вопрос: как же так, строили комплекс, насыщали его автоматикой и другими системами для того, чтобы радикально улучшить управление, снизить ошибки, а пришли к тому же, от чего уходили?

Все дело в том, что сама по себе установка автоматики и иных, хороших в принципе, агрегатов не гарантирует успеха, если при этом не проводить соответствующие, и притом весьма большие, работы по доводке, настройке, стыковке всех систем.

Естественно, у нас нет возможности детально говорить обо всех компонентах комплекса. Поэтому в качестве примера мы коснемся только системы дальнего наземного наведения и связанной с ней системы управления самолетом. Эти примеры позволяют показать тот трудный

и тернистый путь, на котором специалистам удалось преодолеть кризис управления и информации, сыгравший столь большую роль в возникновении барьера эффективности.

### Рожденный летать испытывается на земле

Способы ускоренного и вместе с тем достоверного анализа функционирования комплекса, а также сопоставления различных вариантов с целью выбора наилучшего родились вместе с большими системами. Можно сказать, что без них жизнеспособные, эффективные комплексы просто не появились бы — их создание заняло бы столь большой срок, что к середине его они успели бы морально состариться.

Для окончательной оценки вариантов удалось в достаточно короткий срок развернуть так называемое полунатурное моделирование. Оно позволяет имитировать реальные процессы — в нашем случае наведение самолета без выполнения полетов. При этом можно оценивать влияние тех или иных усовершенствований, а главное, выполнять настройки и стыковки<sup>19</sup>.

Полунатурным моделирование называется потому, что наряду с математическими моделями, «проигрываемыми» на ЭВМ, используются реальные, полноразмерные (натурные) агрегаты систем. Но основное преимущество полунатурного моделирования заключается в том, что действия людей, участвующих в процессе и влияющих на его исход, в нем не моделируются. Их выполняют хорошо подготовленные операторы.

Операторы работают в кабинах или на рабочих местах, почти таких же, на каких им пришлось бы работать в реальных условиях. Они видят такие же приборы, слышат команды по радио и воздействуют на те же органы управления — рычаги, педали, кнопки, что и в обычном полете.

Полунатурное моделирование позволяет имитировать испытываемый процесс и исследуемый объект с высокой точностью. Отсюда и проистекает большое доверие к получаемым результатам. Правда, все это возможно только при одном весьма важном условии: математические модели на ЭВМ должны достаточно точно и хорошо воспроизводить остальные факторы и параметры полета. Ведь

мы имеем все же дело с моделированием, а не с натурными экспериментами.

У ученых и инженеров была возможность пойти другим путем. Например, полностью довериться ЭВМ. В этом случае не надо было бы городить «большой огород» — пристраивать кабину, стыковать ЭВМ с многочисленными сложными системами. Однако они справедливо сочли, что при таком упрощенном методе анализа (кстати, он применяется на более ранних стадиях создания, когда реальных систем еще нет) результаты получаются значительно менее надежными.

Невероятно трудно «втиснуть» в математические формулы поведение человека (летчика, руководителя полета и т. д.), его психофизиологические особенности, реакцию на воздействия извне. Особенно трудно воспроизвести реакцию оператора в экстремальных условиях. Кстати говоря, все подобные задачи по составлению математических моделей в полном объеме не решены до сих пор. И сегодня полунатурное моделирование занимает большое место в отработке комплексов.

Конечно, такое моделирование не столь простое дело. Оно требует и больших усилий и немалых затрат, которые ложатся дополнительным бременем на создание комплекса. По существу, сама моделирующая установка представляет собой сложнейшую систему, точнее целый моделирующий комплекс (вот вам еще один сопряженный с основным объектом комплекс).

При создании моделирующего комплекса приходится преодолевать не только трудности, свойственные разработке комплексов, но и решать целый ряд дополнительных проблем. В их число входит обеспечение подобия по отношению к испытываемому комплексу и условиям его функционирования, приобретение специального, весьма дорогостоящего оборудования, использование ЭВМ, рассчитанных на совместную работу с человеком-оператором, и многое другое.

Но преимущества полунатурного моделирования были неоспоримы. Оно прочно вошло в практику. Сравнение вариантов производилось глубоко и обоснованно на основании экспериментальных данных, а не умозрительно, исходя лишь из изучения проектных материалов и расчетов. В формулировании таких оценок принимали участие опытные операторы, летчики-испытатели и специалисты по наведению, поработавшие в реальных кабинах.

Вместе с тем нельзя забывать, что в данном случае речь идет все же о моделировании, причем моделировании исключительно сложного процесса, в функционировании которого всегда есть элементы непознанного, малоизученного. В реальном полете могут возникнуть совершенно новые явления, создастся ситуации, которые никакая моделирующая установка не может предусмотреть. Ведь специалисты закладывали в модели те схемы, которые соответствовали имеющимся у них представлениям о физике анализируемых явлений. Конечно, такая возможность не обязательна, но вполне вероятна; об этом говорит опыт создания сложных объектов.

Можно указать следующий принцип формирования оценок и принятия решений по результатам моделирования. То, что плохо уже при моделировании, будет в реальных условиях не лучше, а намного хуже. Но то, что показало себя хорошо на моделирующей установке, может при переходе к натуре в определенной мере ухудшиться. Иными словами, следует всегда считаться с возможностью последующего снижения результатов.

Отсюда следует: варианты, оцененные как неудовлетворительные и посредственные, подлежат исключению из дальнейшего рассмотрения и должны быть отвергнуты. Варианты, показавшие хорошие или отличные результаты, должны быть реализованы, но обязательно проверены в натурных испытаниях.

Мы столь подробно описали применение моделирования потому, что оно улучшает качество комплекса и сокращает сроки создания. Может возникнуть вопрос: всегда ли при разработке сложных систем и комплексов необходима такая трудоемкая процедура? Нельзя ли обойтись без нее, поскольку она требует дорогостоящего оборудования, квалифицированных кадров, времени и многого другого?

Системотехника, так же как и другие специальные дисциплины, связанные с проектированием самолетов, кораблей, ракет, автоматизированных систем управления производственных, энергетических, химических, транспортных и даже сельскохозяйственных комплексов, отвечает на эти вопросы однозначно. Моделирование при разработке таких сложных объектов не только желательно, но и крайне необходимо! Об этом говорит также опыт создания многих высокоэффективных комплексов в различных областях народного хозяйства.



В современных условиях техника и методика моделирования шагнули далеко вперед. Повысилась достоверность экспериментов, инженеры научились создавать точные модели многих когда-то загадочных явлений. Но сформулированный выше принцип использования результатов моделирования и принятия по ним решений действует поныне, поскольку объекты сами по себе усложнились еще больше. Увеличилось влияние на них случайных и неопределенных факторов, делающих результаты в какой-то мере «размытыми».

Традиционные методы прикладной математики, широко используемые при решении частных задач, непригодны для полного и всестороннего анализа сложных объектов на системном уровне. Они основаны на ряде серьезных допущений, без которых их реализация невозможна. Поэтому они применяются при анализе и оценке сравнительно простых ситуаций. Полунатурное моделирование таких строгих допущений не требует; оно применимо в значительно более широкой области.

Некоторые считают, что альтернативой моделированию служат испытания объекта. «Не стоит тратить время, когда можно испытать, и притом в реальных условиях саму систему или комплекс», — говорят они. Такая подмена методов проверки неправомерна. Натурные испытания, выступающие главным судьей качества создаваемого объекта, могут применяться только на последней стадии, когда объект уже построен. Но и они не заменяют моделирования, так же как никакое моделирование не может заменить натурных испытаний. Испытания не допускают широкого варьирования параметров; рассмотрение с их помощью нескольких вариантов затруднительно. Доводку и подгонку лучше выполнять при моделировании.

Известны случаи, когда разработка нового сложного комплекса производилась без применения разветвленного моделирования. В основном на это шли из-за отсутствия необходимого оборудования, или такое положение было обусловлено волевыми ошибочными решениями. И вот результат: на стадии отладки, а в ряде случаев и во время начавшейся эксплуатации выявлялись серьезные дефекты, которые легко могли быть устранены при моделировании. Теперь же их устранение требовало больших усилий и затрат. Зачастую выбранный вариант оказывался далеко не оптимальным и, что хуже всего, не

безопасным. Но возможности для исправления были упущены.

В целом моделирование окупает себя, так как затраты на него хотя и велики, все же значительно меньше потерь, неизбежных, если обходиться без него.

### Какой вариант лучше?

Рассмотрим несколько вариантов систем наземного наведения, которые могли бы устранить отмеченные выше нарушения в цепи перехвата. У каждого были свои положительные и отрицательные стороны, их и предстояло выявить с помощью моделирования. Отличались варианты друг от друга степенью автоматизации процесса обработки информации и принятия решений, принципами формирования траектории наведения, характером команд, передаваемых на борт самолета, наконец степенью автоматизации управления полетом самого перехватчика.

В наиболее простом варианте автоматизация почти совсем отсутствует. Суть этого варианта в том, что функции, выполнявшиеся до этого одним оператором — руководителем полета, теперь разделены. Часть из них передана штурману, введенному специально в состав наземной службы и посаженному рядом с руководителем полета. Он должен вычислять необходимую для выполнения перехвата траекторию наведения; для этого его рабочее место снабжено множеством вспомогательных устройств: счетных линеек, планшетов, номограмм.

Штурман выдает необходимые данные руководителю полета, который контролирует их и передает летчику по радио соответствующие команды. Кроме того, руководитель полета следит на экране локатора за движением обоих объектов — перехватчика и цели и оценивает, насколько точно летчик выполняет команды.

Введение второго оператора заметно повысило эффективность системы при работе на ненапряженных режимах — благотворно сказалась разгрузка руководителя полета. Однако надежда на то, что благодаря второму оператору удастся устранить недостатки, о которых мы говорили во второй главе, в целом не оправдалась.

Следующий шаг — глубокая модификация исходной системы: ввод в ее состав специализированной вычислительной машины — простого и довольно надежного электронно-механического устройства, с помощью которого мо-

жно определять требуемую для наведения траекторию. (Ни мини-ЭВМ, ни малогабаритных, но мощных процессоров, ни другой вычислительной техники, способной с большой скоростью решать самые разнообразные и сложные задачи, тогда еще не было.)

Решения, принятые машиной, автоматически выдаются на приборы, расположенные вблизи рабочего места руководителя полета. Последнему остается только считывать эти решения и передавать на борт самолета. Кажется, вариант найден оптимальный! Если бы не несколько «но»... Так, сама передача команд летчику с земли выполняется по-прежнему по радио «голосом», а на это необходимо время. Определенное время требуется и на ввод исходных данных в машину, к тому же эту процедуру приходится осуществлять каждый раз заново.

Таким образом, хотя эффективность операции наведения здесь возрастает (в основном за счет более точных, чем в предыдущем варианте, решений), применительно к предельным режимам полета она все же далека от требуемого уровня. Причина в определенной степени та же — наличие «узкого места» в лице человека-оператора. Вместе с тем моделирование показало, что такая система вполне пригодна для менее напряженных процессов — обстоятельство, очень важное при проектировании комплексов.

Весьма перспективной представляется система, основанная на совершенно иной концепции, нежели те, что мы только что рассмотрели. Она характеризуется значительно более высокой степенью автоматизации всего процесса наведения — от получения и обработки информации до выдачи команд на борт самолета.

Здесь надо сделать небольшое отступление. Большая степень автоматизации может показаться читателям чем-то весьма простым. Ну добавили два-три новых агрегата — и добились того, что хотели... Это совершенно не так. Даже небольшое повышение уровня автоматизации требует очень серьезных доработок. Значительное же повышение достигается кардинальным изменением структуры, введением сотен и тысяч новых узлов, датчиков и других элементов.

Наконец, в третьей системе руководитель полета не должен был вычислять траекторию наведения и передавать текущие команды по радио; он осуществлял только общий контроль за ходом операции. В систему была вве-

дена мощная вычислительная машина, сопряженная с целой серией устройств ввода и преобразования информации. Выдача решений осуществлялась через короткие интервалы времени.

Другим очень важным новшеством была подсистема автоматической передачи команд на борт самолета. Заданные (командные) значения курса, скорости и других параметров появлялись в виде треугольничков-меток на шкалах специальных так называемых директорных приборов, установленных в кабине летчика на приборной доске. Летчику уже не нужно было держать в голове команды, поступающие с земли, и решать, как ему следует управлять самолетом, чтобы выполнять их (специалисты говорят: «отрабатывать»). Его задача заключалась в том, чтобы осуществлять такой процесс пилотирования, при котором текущие значения параметров совпадают с командными метками или, по крайней мере, находятся вблизи них. Все это несомненно существенно разгружало летчика, позволяло ему концентрировать внимание на выполнении привычных функций по управлению самолетом.

Директорным такой вид управления называется потому, что летчик непрерывно получает команды и выполняет их, не тратя времени на обдумывание, как это делать; иногда он называется также полуавтоматическим, поскольку летчик становится как бы звеном автоматизированной системы. Такая схема существенно облегчает управление, но требует оборудования самолета дополнительной аппаратурой.

Автоматизированная система наведения представляет собой новую ступень в развитии информационно-управляющих систем. По сути, это — автоматизированный информационно-управляющий комплекс, составная часть всего макрокомплекса. Отсюда следует, что при разработке такого сложного объекта возникает та же задача которую приходится решать, когда имеешь дело с любым другим комплексом, а именно: обращать особое внимание на тщательное сопряжение многочисленных элементов и агрегатов друг с другом. Сопряжения всегда даются с большим трудом, и на их осуществление затрачивается много сил и энергии.

О сопряжении наземной системы с самолетом разговор уже был. Другое важное сопряжение находилось внутри самого комплекса наведения; оно должно было

обеспечивать ввод информации с радиолокационных станций в ЭВМ.

Для сопряжения экрана локатора с вычислительной машиной, точнее для ввода в нее координат многочисленных меток, бегающих по экрану, конструкторы нашли простой и остроумный выход, соответствующий уровню техники того времени. Они использовали уже описанный принцип полуавтоматического (то есть с участием оператора и автоматики) сопряжения объектов.

Вероятно, читатели знают — играли сами или по крайней мере видели — электронные игровые автоматы. Автору доводится часто наблюдать в фойе кинотеатра напротив его дома, как пришедшие посмотреть новую кинокартину молодые люди азартно играют на таких автоматах в «морской бой». Задача, казалось бы, простая: поймать в кружок прицела движущуюся довольно быстро цель — корабль. «Поймал цель — порази ее!» — вот принцип игры. Однако далеко не каждому удается это с первого раза. Правда, навык приобретается довольно скоро: при втором или третьем подходе многие добивались успеха, выигрывая какую-либо безделушку.

По сути дела, примерно такая же задача стояла перед оператором. На экране электронного пульта двигалась метка. По существу, это информация о цели, поступающая с локатора, но информация, закодированная на «языке» локатора; чтобы ввести ее в ЭВМ, нужен перевод. Задача оператора — совместить с меткой-целью другую метку — кольцо, сопряженное с ЭВМ. Работая соответствующим рычагом, оператор «накидывал» кольцо на метку-цель, соединяя тем самым экран с блоком связи ЭВМ.

Таким образом была создана непрерывная цепь: информация с локатора через промежуточное звено, то есть оператора, поступала в блок связи, где преобразовывалась в вид, удобный для восприятия ЭВМ; вычислительная машина решала задачу и выдавала «командные» данные о действиях летчика-перехватчика. По радиотракту команды поступали на борт самолета, где второе промежуточное звено (летчик) отрабатывало их с помощью управления; самолет, послушно выполняя команды, следовал указаниям наземной ЭВМ.

Понятно, что точность всего процесса в немалой степени зависела от того, насколько четко и успешно действуют оба оператора. Но конструкторы систем значительно

облегчили их работу. Условия кардинально отличались от прежних, реализованных в «докомплексных» системах. Благодаря этому эффективность процесса существенно возросла.

Ныне, в конце 80-х годов, трудно оспорить мнение, что лучше было бы обойтись без операторов, связать локатор с ЭВМ напрямую, а полет выполнять с помощью автопилота. Но, во-первых, полная автоматизация не всегда однозначно решает проблему. А во-вторых, мы ведь речь ведем о времени, отстоящем от нынешнего более чем на четверть века. Тогда такая задача не могла быть не то что решена, но даже поставлена! Ни теоретически, ни тем более практически мы тогда, можно сказать, еще не доросли до этого: полная автоматизация потребовала бы очень сложной аппаратуры и немалого времени на осуществление.

Итак, какой же вариант лучше? Гадать будто бы не приходится: конечно, последний! Ведь обронил же автор слова о том, что он представляется весьма перспективным, поскольку характеризуется более высокой степенью автоматизации...

Да, это действительно так, но с одной существенной оговоркой, вернее уточнением. Рассматривая варианты, мы брали в расчет только их техническую эффективность и обходили стороной так называемую эффективность полную или общую (подробно о ней разговор пойдет несколько позже, а сейчас скажем лишь, что она обязывает учитывать целый ряд факторов, включая фактор времени и затраты, необходимые для разработки и внедрения систем).

При реализации сложных дорогостоящих систем приходится принимать во внимание все. Несомненно, первый вариант как не обладающий преимуществами следует отбросить. Второй же вариант отвергать безоговорочно не приходится: он может быть использован для срочного, например, но временного решения проблемы. Но точно так же третий вариант нельзя безоговорочно признать наилучшим, хотя у него наиболее высокие показатели. Дело в том, что он, открывая долгосрочную перспективу, новое направление, требует времени для реализации.

## Грозный страж нашего неба

Приведенные примеры с достаточной убедительностью показывают, что применительно к комплексам воплощение концепции в металл представляет собой весьма широкий и многоплановый процесс, состоящий из большого числа различных, но тесно взаимосвязанных участков. Традиционные работы (конечно, по понятиям «докомплексного» времени) — изготовление деталей и узлов, сборка, отладка — занимают в этом процессе значительно меньше места, чем выбор рациональных вариантов, подбор параметров, обеспечивающих хорошую работу, сопряжение подсистем и наконец испытания.

Действительно, испытания и проверки занимают в создании комплексов большое место. Но главенствуют над всем организация и управление. В дополнение к уже сказанному приведем еще только один пример. Выше мы говорили о необходимости проведения тщательных автономных и опережающих испытаний. Но одновременно существовала и другая опасность: нельзя было увлекаться испытаниями на наземных стендах. Ведь это могло отвлечь силы и тем самым безнадежно затянуть создание комплекса. Как всегда и во всем, здесь существовала золотая середина. Поэтому наземные проверки выполнялись по строго установленной программе, которая была частью общего, тщательно сбалансированного плана создания комплекса.

Наземные проверки, кстати, не заменяют полностью летных испытаний, они их дополняют и расширяют; кроме того, они позволяют отсеять нерациональные варианты, пускать которые на летные испытания нет никакого резона. Все это учитывалось при составлении и согласовании программ каждого вида исследований, с тем чтобы в целом был охвачен весь круг вопросов без излишнего дублирования.

Примерно в 50-х годах родился еще один важный вид проверок, нашедший потом широкое применение при создании авиационных комплексов и отработке их систем. Речь идет о летных испытаниях на так называемых летающих лабораториях. Ими служат оборудованные опытными системами серийные, уже проверенные самолеты, что позволяет проводить опережающие испытания не только на автономном, но и на системных уровнях. Это дает значительный выигрыш времени, поскольку оказывает

ся возможным проводить многие работы до испытания опытной машины<sup>20</sup>.

Параллельно с проверками контура, включавшего самолет и систему наведения, тщательно отрабатывались на наземных моделирующих установках, а затем на «летающих лабораториях» другие части комплекса — бортовая радиолокационная станция, ракеты, система обеспечения посадки, пилотажно-навигационное оборудование, система автоматического управления.

Да и сам самолет, предназначенный быть основной частью комплекса перехвата, прошел автономные испытания в полете. Для этого вместо не готовой еще аппаратуры на него установили макетные блоки, по форме и весу полностью соответствующие настоящим. Тем самым обеспечивалось весовое и инерционное подобие самолета.

И наконец, системные и полные испытания комплекса. В полетах, в условиях, максимально приближенных к реальным, необходимо было убедиться, что концепция, воплощенная в металле и превратившаяся в сложный комплекс перехвата, полностью обеспечивает решение поставленных при проектировании задач.

**Из истории авиации.** Генеральный конструктор академик А. Н. Туполев указывал (Авиация и космонавтика, 1962, № 2):

«...Самолет-ракетоносец превращается в подвижную стартовую площадку-платформу для запуска ракет. Это дает громадные преимущества.

Запуск ракет с самолетов более выгоден, так как последние весьма маневренны и способны атаковать цель со всех направлений.

Самолет-ракетоносец можно рассматривать как первую ступень многоступенчатой системы, которая по сравнению с многоступенчатой ракетой имеет важные преимущества. Она не требует стационарных площадок для запуска и сложных пусковых устройств. Ее первая ступень — пилотируемый самолет — используется многократно.

Считается, что ракетоносец должен иметь большую скорость — чем она выше, тем меньше вес и размеры авиационных ракет, что он должен быть высотным самолетом, ибо запускать ракеты выгоднее на большой высоте. Это увеличивает дальность и радиус действия всей системы.

Ракетоносцами стали и истребители. Управляемые ракеты класса «воздух — воздух», способные поражать любую воздушную цель с дальних дистанций, — основное оружие наступательного боя истребителей.



В сочетании с ракетой истребитель также превращается в составную систему — пилотируемый самолет-ракета. Первая ступень системы — самолет, последняя — ракета».

Но только подробные, доскональные летные испытания могли дать комплексу надежную путевку в жизнь. Только в летных испытаниях можно определить окончательные значения всех цифр, характеризующих комплекс и условия его применения.

И вот испытания закончены. Благодаря большой и тщательной подготовительной работе, хорошему качеству проектирования, тщательной экспериментальной проверке компонентов на стендах и в различных испытаниях, высокому уровню организации этот строжайший экзамен прошел очень хорошо. Число дефектов, проявившихся в завершающих летных испытаниях, было невелико. Но главное заключалось в том, что барьер эффективности пал. Заданные операции — перехват высотных и скоростных целей — осуществлялись весьма эффективно. Испытания подтвердили правильность перехода от самолетов-перехватчиков к комплексам перехвата. Комплексы стали грозными стражами нашего неба. Они надежно закрыли воздушные границы от непрошенных гостей.

Хочется отметить еще одну очень важную деталь. Те же испытания показали, что авиационный комплекс перехвата по своим параметрам и характеристикам всех его компонентов отвечал современному ему уровню науки и техники. И выпущен был в сроки, тоже соответствующие своему времени. Стыки между подсистемами были хорошо отлажены. Все это обеспечило создание работоспособной, хорошо функционирующей составной системы, не буксующей в местах сочленения и успешно выполняющей поставленные перед ней задачи.

Попытки усилить любой из компонентов, сделать его одного, не изменяя других, более мощным, улучшить (а справедливости ради следует сказать, что предложений таких в то время было много) привели бы к существенным задержкам и нарушению общего баланса. Это не только нарушило бы равновесие между подсистемами, но и потребовало бы разработать совершенно новый комплекс, проектирование и испытания которого заняли бы много месяцев, а возможно, и лет.

Ныне наука и техника шагнули далеко вперед. Появились новые, более надежные часовые воздушных границ

нашей Родины. Накануне традиционного праздника — Дня Войск ПВО — главнокомандующий Войсками ПВО маршал авиации А. И. Колдунов, отвечая на вопросы корреспондента «Правды», сказал:

«Сейчас на вооружении Войск ПВО находятся надежные средства предупреждения о нападении. Основу огневой мощи противовоздушной обороны составляют зенитные ракетные войска, оснащенные ракетными комплексами с высокой помехозащищенностью и эффективностью поражения воздушных целей в широком диапазоне высот и скоростей. Истребительная авиация наших войск вооружена первоклассными авиационными комплексами перехвата с мощным высокоточным ракетным вооружением» (Правда, 1984, 8 апреля).

### **Пример, подражания не заслуживающий**

Иной читатель, возможно, неоднократно удивлялся: зачем автор так часто повторял, казалось бы, простые и всем понятные истины о необходимости системного подхода к созданию комплексов, о роли организации и управления? Ведь каждому ясно, что такое хорошо, и как сделать, чтобы не было плохо.

К сожалению, в целом ряде проектов принципы, о которых мы рассказывали (и которые описаны в десятках научных трудов по системотехнике), не реализуются. Известны случаи, когда, несмотря на длительные работы и большие усилия коллективов, не удавалось создать эффективный комплекс из агрегатов, каждый из которых автономно работал. Дело в том, что эти агрегаты не удалось сопрячь друг с другом в единое целое.

Используя термины, знакомые читателю, приходится констатировать, что в этих достойных сожаления случаях не были соблюдены решающие условия по созданию макрокомплекса, которые требуют тщательного сопряжения трех этапов — отработки идеи объекта, организации проектно-технических работ и самого процесса создания объекта.

На стыковку и увязку элементов затрачивалось очень много усилий и времени, но эти затраты были неэффективны. У некоторых комплексов приходилось в процессе доводки вводить новые компоненты и подсистемы, кардинально переделывать стыковочные узлы, то есть серьез-

но дорабатывать проекты. В результате — серьезнейшая затяжка сроков.

Сошлемся на один такой типичный пример; он был приведен газетой «Правда» более 10 лет назад (см. Правда, 1971, 30 июля). Несмотря на большой срок, прошедший со дня публикации, актуальность выступления газете не снизилась.

В статье описывалось создание автоматизированной системы управления листовым станом горячей прокатки на одном из металлургических заводов. Приведем некоторые выдержки.

«Система включала в себя около 40 локальных подсистем, управляющих семью взаимосвязанными агрегатами. Созданием их занималось 16 организаций в течение нескольких лет, а стан был пущен все же без автоматике. Почему? Да потому, что часть аппаратуры к моменту пуска... еще конструировалась. Проект же автоматизированной системы управления станом в целом даже не разрабатывался. В результате некоторые технические средства были установлены, испытаны и... отключены, так как оказались ненужными. Система регулирования толщины полосы изготовлена, смонтирована и законсервирована, поскольку взаимодействующая с ней локальная система натяжения полосы не подготовлена.

Управление станом в целом предполагалось возложить на управляющую машину. Но не были унифицированы сигналы, сопрягающие с ней локальные приборы... Поэтому машина, естественно, не могла командовать всем комплексом технических средств».

Описанное в данной статье оборудование представляло собой сложную систему, состоящую из примерно однородных агрегатов и являющуюся важной подсистемой комплекса — листопрокатного стана. Совершенно ясно, что низкая эффективность управления снижала уровень эффективности всего стана.

Перечисленные в статье явления достаточно типичны, и причины их в первую очередь организационные. Менее всего нам хотелось бы обвинить коллектив, конструировавший систему, в технической недобросовестности или халатности, хотя грубые просчеты, судя по всему, были. Главное — исполнители, создававшие, по-видимому, до этого времени только простые системы, совершенно не были подготовлены к проектированию сложного комплекса. Среди них, вероятно, не было квалифици-

рованных специалистов-системотехников, задача которых — с помощью системного подхода обеспечить стыковку многочисленных агрегатов в единое целое, проверить все взаимосвязи и стыки и не пропустить ошибок, подобных описанным.

Совершенно очевидным организационным промахом было то, что не был назначен главный конструктор системы, ответственный за всю работу. Работа не имела «головы». Как тут опять не вспомнить опыт авиации.

Автор цитируемой статьи высказал очень важную для системного подхода мысль: «В современную автоматизированную систему входят сотни взаимосвязанных датчиков, преобразователей, устройств переработки, воспроизведения и вывода информации. И если нет хотя бы одного датчика или преобразователя, она может оказаться неполноценной и даже вовсе беспомощной. Подобные случаи нередко встречаются на практике. Система требует абсолютной полной комплектации, и с этим надо считаться. Для государства гораздо выгоднее, если в строй вводятся, скажем, две полностью комплектные системы, чем пять неудокомплектованных».

А вот совсем свежий материал, опубликованный, когда наша книга уже была набрана,— материал, подтверждающий высказанное выше. Один из крупнейших ученых нашей страны академик Б. Е. Патон писал в «Правде» (3 января 1985 года): «Продвижение в производство (имеется в виду внедрение в практику значительных научно-технических разработок.— Г. М.) настолько затягивается, что многие... морально устаревают, так и не обеспечив реальной экономической отдачи». Для ликвидации такого положения в системе Академии наук Украины, сообщает автор, созданы мощные специализированные научно-технические комплексы (НТК), нацеленные на быстрое и эффективное внедрение перспективных научных достижений. Организация НТК базируется на комплексном подходе, предусматривается, в частности, тщательная отработка всех элементов на автономном, системном и полном уровнях.

## Комплексы и НТР

*...Научные открытия делаются для того, чтобы больше знать и уметь, то есть прилагать полученные знания на практике.*

*Л. Феоктистов, член-корреспондент  
АН СССР*

### Эффективность, безопасность и критерии оценки

На протяжении всего повествования мы многократно использовали термин «эффективность». Достаточно вспомнить барьер эффективности, возникший в определенный период на пути развития самолетов-перехватчиков. Как было рассказано, только создание комплекса перехвата позволило авиации преодолеть этот барьер. Так было и с другими типами самолетов и с совершенно иными объектами — кораблями, заводами, шахтами.

Эффективность стала сегодня синонимом научно-технического прогресса. Задачи повышения эффективности, требования значительного улучшения конечных характеристик процессов, играющих важную роль в народном хозяйстве, стимулировали переход к комплексам во многих отраслях, сделали появление комплексов исторически необходимым.

Но наряду с понятием «эффективность» есть еще одно исключительно важное понятие — безопасность, которое также часто применяется для характеристики технических систем. Каждому ясно, что между этими понятиями есть большие различия уже хотя бы потому, что они характеризуют объекты с разных сторон. В определенной мере они дополняют друг друга, но, как увидим чуть позже, в ряде случаев могут и противоречить один другому. Поэтому рассматривать их надо только совместно.

Эффективность и безопасность служат важнейшими стимулами, побуждающими осуществлять переход от простых (точнее, более простых) объектов к сложным ком-

плексам. Но достаточно ли этого, чтобы принять решение о таком переходе?

Конечно, оба этих фактора действительно важны и потому могут сформировать потребность в комплексе или в новой большой системе. Но, принимая окончательное решение, приходится обязательно учитывать и другие факторы. Стоимость (затраты) и время — вот еще два важнейших, принципиальнейших критерия, которые обязательно учитывают, когда принимают решение о создании комплекса.

Итак, критериев четыре — *эффективность, безопасность, стоимость (затраты), время*. Только рассматривая их совместно, не упуская ни один, можно решать вопрос о проектировании и строительстве трудоемких и дорогостоящих комплексов.

А верно ли мы понимаем смысл этих понятий? Что означает такое, достаточно типичное, например, выражение: «Завод приступил к выпуску новой высокоэффективной газовой турбины; она более эффективна, чем выпущенные ранее»?

Вряд ли смысл данного утверждения состоит лишь в том, что турбина, о которой идет речь, обладает очень большой мощностью. Несомненно, конструкторам удалось повысить мощность (иначе нельзя было бы говорить о том, что турбина более эффективна, чем предыдущая), но эффективность не может быть просто синонимом одной этой характеристики. Кроме того, известно, что высокоэффективная машина может быть и небольшой, уступая гигантам размерами и массой, но превосходя их по ряду других показателей.

Действительно, эффективность — синтетическая и очень широкая характеристика, охватывающая очень много сторон изделия. Причем оказывается, различают *техническую* (или *организационную*) *эффективность*, охватывающую все качества системы, кроме стоимости и безопасности, и *общую эффективность*, включающую все четыре критерия, по существу обобщающую их.

Высокая техническая эффективность означает, что система удовлетворяет не какому-то одному, а обширной совокупности требований, предъявляемых к ней для того, чтобы она могла успешно выполнять свои функции в заданных условиях.

Выражение «высокоэффективная турбина» предполагает, кроме высокой (конечно, для своего класса машин)

мощности, еще целый ряд преимуществ. Турбина должна быть меньше и легче своих собратьев (менее металлоемкой), должна потреблять меньше топлива (что в современных условиях исключительно важно), быть более надежной, обладать большим ресурсом. Немаловажное значение имеет и стабильность характеристик, независимость их от внешних факторов, например, колебаний температуры воздуха. Турбина должна быть снабжена надежной автоматикой (вспомните слова С. К. Туманского). Управление ее должно быть хорошо продуманным и несложным. Техническое обслуживание ее также не должно быть чрезмерно сложным и не требовать большого количества ручного труда.

Перечень характеристик, соответствующих высокой эффективности, можно было бы продолжить, но мы, чтобы не утомлять читателя, ограничимся сказанным. Конечно, не обязательно иметь преимущества по всем без исключения показателям (об этом мы тоже неоднократно говорили); достаточно обеспечить скачок по некоторым из них, признанным сегодня важнейшими. Но остальные должны быть на уровне мировой или отечественной практики.

А как же с безопасностью? Об этом ни одна из перечисленных характеристик прямо не говорит. Но несомненно, большая мощность при меньших размерах достигнута за счет каких-то конструктивных усовершенствований, например увеличения скорости вращения турбины и компрессора. Возросла, наверное, и температура газов на турбине. Возможно, еще какие-то параметры форсированы и могут представлять собой потенциальную угрозу. Следовательно, нужна определенная группа показателей, характеризующих, насколько обеспечена безопасность нового объекта, соответствует ли он новым требованиям.

Безопасность должна обеспечиваться не только при нормальном функционировании, но и при отказах самой системы или ее управления. Резервирование, притом многократное, должно надежно защищать объект — в нашем примере турбину — от отказов. Должна быть обеспечена защита от пожара, а также взрыва.

В последнее время безопасность как критерий стала еще шире. Она включает и оценку воздействия объекта на окружающую среду. В примере с турбиной — это и шум, и состав отработанных газов, и количество потреб-

ляемого воздуха, а также воды (для стационарных турбин ГРЭС).

Фактор времени тоже имеет немалое значение при создании новой техники. Если говорить о стадии разработки, то важно знать, какова может быть продолжительность цикла создания комплекса или отдельных этапов. Второй исключительно важный показатель — «продолжительность жизни» нового объекта. Здесь используются, по существу, два показателя, различающиеся по смыслу. Начало у них одинаково — ввод объекта в строй (начало серийного выпуска). А вот окончания различны: в одном случае это окончание эксплуатации, в другом — моральное старение.

Очевидно, что более высокая техническая эффективность, большая безопасность, более короткий цикл создания не даются даром. Они требуют определенных и притом немалых затрат. Естественно, возрастает себестоимость объекта. При этом в понятие затрат включаются не только деньги, но также материальные и трудовые ресурсы.

Говоря об общей эффективности системы, имеют в виду все основные показатели, характеризующие упомянутые четыре критерия. Зачем это нужно? Дело в том, что вполне возможна такая ситуация: техническая эффективность у объекта высока и вполне удовлетворяет поставленным требованиям, а вот безопасность недостаточна. Или, скажем, техническая эффективность и безопасность кажутся весьма заманчивыми, требуемые же затраты слишком высоки и не укладываются в рамки, установленные планирующими организациями.

Оценивая систему, мы должны получить четкие ответы на следующие вопросы: насколько эта система технически эффективна, обеспечена ли требуемая безопасность, укладываются ли затраты и себестоимость в допустимые рамки, не слишком ли велик срок создания, а предполагаемая «продолжительность жизни» является ли, наоборот, достаточно длинной? При этом очень важно оценить, в каком отношении все эти показатели находятся к достигнутому в мировой практике уровню (отстают ли от мировых образцов, превосходят ли их). Только при получении ответов на все эти вопросы можно дать оценку общей эффективности.

Некоторые исследователи полагают, что эффективность представляет собой отношение достигнутого резуль-



тата (эффекта) к затратам. Попробуем подойти с таким критерием к той же турбине, и мы сразу же натолкнемся на непреодолимые трудности. Прежде всего неясно, что в данном случае следует принимать в качестве «результата»? Ведь совершенно очевидно, что такой «результат» следовало бы выразить какой-то одной величиной, иначе мы не вычислим отношение. Какой же? Мощностью или тягой? Но тогда остальные характеристики, кстати, очень важные, не будут учтены — какая же это эффективность?

Можно вполне представить такую ситуацию: конструктор резко повысил мощность турбины, но заплатил за это значительным снижением ресурса и существенным усложнением обслуживания; снизилась и безопасность. Конечно, такую систему ни в коем случае признать технически эффективной нельзя.

Есть еще одна сторона вопроса, связанная с указанным подходом. Если в качестве критерия пользоваться отношением результата к затратам, то можно в принципе неверно оценить объект: машина со сравнительно невысоким результатом, но низкой себестоимостью (являющейся, кстати, следствием низкого результата) может получить преимущество по сравнению с другой машиной, которая хотя и дороже, но результативнее\*.

И наконец, третья сторона — вряд ли можно в принципе в современных условиях подходить к системе только с двумя мерками: каков результат и сколько стоит? Проектировщик обязан думать и о том, чтобы система была предельно безопасной, не воздействовала отрицательно или чрезмерно на окружающую среду.

Не следует, конечно, поспешно делать вывод о том, что само по себе отношение достигнутого результата (точнее, определенных показателей, характеризующих результат) к произведенным затратам вообще не имеет смысла. Этот показатель страдает определенной ограниченностью, и его не следует принимать в качестве критерия оценки эффективности, но как источник ценной дополнительной информации о системе он может оказать немалую услугу.

Что же в конце концов следует понимать под эффективностью систем?

---

\* В печати такой подход был подвергнут серьезной критике. Так, 25 июня 1980 года «Правда» опубликовала статью «Эффективность: вклад науки», в которой указанный критерий аргументированно критиковался.

Теория операций предлагает под технической эффективностью объекта понимать степень его приспособленности к выполнению всех необходимых функций в процессе осуществления определенной операции и при определенных условиях. Под операцией в этой, возможно, не очень подходящей для популярной книги формулировке понимается всякое действие, к чему бы оно ни относилось — к системе, совокупности систем, коллективу людей или к отдельному человеку-оператору.

Операция — это и перехват воздушных целей и конструирование самолетов, и перевозка грузов автомобилями, и производство самих автомобилей. Работа турбины также может рассматриваться как операция.

Из сказанного следует, что эффективность тесным образом связана с целями операции, многочисленными условиями проведения этой операции и достигнутыми (или предполагаемыми) конечными результатами. Если представить цель операции как конечный эффект, то техническая эффективность выражает меру этого эффекта. При этом конечный эффект может (а вернее, должен) измеряться не одним, а несколькими показателями, характеризующими его с разных сторон.

Применительно к турбине можно считать целью операции создание мощности или тяги заданной величины при одновременном выполнении всего комплекса требований к надежности, ресурсу, обслуживанию и так далее.

Эффективность — понятие очень широкое. Оно возникло вне связи с комплексами и до их появления. Однако создание комплексов и их анализ немыслимы без использования критериев эффективности. Разработка и постройка комплексов требуют очень больших затрат, и только на весах эффективности может быть взвешено решение об их целесообразности. С другой стороны, внедрение комплексов сопровождается большим приростом конечного эффекта, который иными способами не мог быть получен.

В последующих разделах мы проиллюстрируем все сказанное тремя примерами, взятыми из совершенно различных областей — пассажирской авиации, космонавтики и строительства автомобилей. Однако тут обязательно следует сделать одну весьма существенную оговорку. Круг вопросов, связанных с проблемой эффективности и тем более составляющих ее «сердцевину», не решен еще до конца даже в теоретическом плане. Именно

поэтому постановление ЦК КПСС «О повышении роли Института экономики АН СССР в разработке узловых вопросов экономической теории развитого социализма» нацеливает ученых на «преодоление отставания в исследовании ключевых проблем эффективности производства... на создание системы критериев и показателей оценки эффективности производства».

### **Гражданская авиация на пути к комплексам**

Пассажир, отправляющийся в приятное и недолгое (несмотря на большое расстояние) путешествие, вряд ли знает, что график его полета, высокую скорость, комфорт и, главное, безопасность гарантирует сложный авиационный комплекс, в который за короткий исторический срок превратился пассажирский самолет. Этот комплекс гарантирует также рентабельность гражданской авиации, а образцовый уровень ее обеспечивается технической эффективностью самолетного парка.

Широко известный девиз Аэрофлота — «скорость, комфорт, безопасность, доступность» — реализуется только благодаря самолетам-комплексам; помогают им другие большие технические системы, образующие, по существу, авиационно-наземный макрокомплекс. В него входят также бортовые экипажи, наземный персонал, система продажи билетов и многое другое.

Для того чтобы понять, как это все произошло, рассмотрим эволюцию гражданской авиации за послевоенный период.

На пассажирских самолетах конца 40-х — начала 50-х годов устанавливались поршневые моторы с винтом. Несмотря на большую мощность двигателей, скорость самолетов не превышала 300—350 километров в час, высота полета составляла 3—4 километра; естественно, герметическая кабина не требовалась.

Препятствовали увеличению скорости, с одной стороны, большое сопротивление крыла и фюзеляжа, с другой — недостаточная мощность моторов, хотя, повторяем, по абсолютной величине она была весьма большой. Попытки дальше увеличить мощность поршневых двигателей не давали эффекта — силовая установка, как читатель должен помнить, становилась тяжелее, снижался ресурс моторов и их надежность. Кроме того, резко возрастал расход топлива, а экономичность падала.

Самолет мог взять на борт всего 15—30 человек. Средняя дальность маршрута или беспосадочный участок полета на трассах равнялся 250—300 километрам, хотя запас топлива позволял покрывать значительно большие расстояния. Ограничивало в данном случае навигационное оборудование.

Естественно, оборудование самолета было рассчитано на указанные скорости, высоты и дальности полета. Летая по трассе, экипаж наряду с обычной картой использовал наземные ориентиры. Справедливости ради следует сказать, что тогдашнее навигационное оборудование позволяло летать и за облаками и ночью, хотя и сравнительно недолго. Однако для посадки нужна была хорошая видимость (облачность не ниже 400 метров, отсутствие тумана, сильной дымки и т. д.). Именно высокие требования к погоде и видимости при посадке ограничивали в основном вылет самолетов. Поэтому регулярность полетов была невысокой.

Впрочем, как должен понимать читатель, прочитавший предыдущие разделы, не только поэтому. Ведь главным и, пожалуй, единственным звеном управления и обработки всей поступающей информации был летчик, что также накладывало существенные ограничения на полет, особенно в сложных и аварийных ситуациях.

Уже в начале 50-х годов стало ясно, что транспортные возможности авиации слишком низки, не соответствуют бурно растущим потребностям народного хозяйства. Регулярных линий было мало, пассажировместимость и грузоподъемность самолетов совершенно недостаточны; сама регулярность полетов в то время была понятием довольно относительным.

В результате престижность гражданской авиации, ее популярность как средства сообщения была невысокой. Объем авиационных перевозок на всех линиях мира характеризовался такими цифрами: 15—20 миллионов пассажиров в год (это во всех странах, вместе взятых), 15—25 миллиардов пассажиро-километров. Такие результаты составляли лишь малую долю перевозок морским и железнодорожным транспортом. То есть авиация не давала по существу никаких преимуществ<sup>21</sup>.

Самолетостроительные организации всего мира развернули работы по созданию принципиально новых пассажирских самолетов. Однако четкая, обоснованная, технически прогрессивная концепция (а она — 50 процентов

успеха!) появилась не сразу. На выработку аргументированных долговременных требований к любому объекту новой техники, а тем более к такому сложному, как самолет, должно быть затрачено достаточно много времени. Не меньше времени необходимо и для того, чтобы определить, каким образом рационально удовлетворить эти требования.

Одни самолетостроительные фирмы строили гигантские самолеты большой вместимости. Но из-за того, что на них стояли поршневые двигатели, они были тихоходными; их формы (внешний вид) не привлекали, а скорее отталкивали пассажиров.

Другие конструкторы пытались создать на базе все тех же поршневых моторов (правда, форсированных) скоростной небольшой самолет, привлечь пассажиров скоростью полета. Но и тут больших успехов достигнуто не было: скорость была недостаточно велика, регулярность полетов — все по тем же причинам — низкая, а прибыль вследствие высоких расходов и малой вместимости машин просто отсутствовала.

Определенную сдержанность проявляли и транспортные авиационные компании или организации. Хорошо чувствуя конъюнктуру, они не торопились заметным образом расширять регулярные авиалинии ни для первых, ни для вторых самолетов.

Гражданская авиация, как 6—8 лет до этого военная, уперлась в барьер мощности. Там, в военной авиации, этот барьер был преодолен благодаря широкому внедрению турбореактивных двигателей. А почему то же самое не было сделано в гражданской авиации? По многим причинам: турбореактивные двигатели, широко и успешно применявшиеся на боевых машинах, для гражданских были еще слишком прожорливыми, обладали непомерно малым ресурсом и наконец развивали еще слишком малую тягу. Ставить же на самолет много двигателей было невыгодно. Поэтому правильно назвать всю эту группу проблем, вставших перед гражданской авиацией, более широко — барьером мощности, экономичности и ресурса.

Забегая вперед, укажем, что этот барьер был не единственным на пути коренного перевооружения гражданской авиации. Естественно, что для преодоления всего множества барьеров нужен был комплексный подход.

В первую очередь следовало развивать специальные варианты ТРД, отвечающие нуждам гражданской авиа-

ции. Появление таких двигателей в нашей стране, в Англии и США к середине 50-х годов, а также принципиальное улучшение аэродинамики самолетов (на что тоже потребовались немалые усилия) произвели технический переворот и в этой отрасли авиации. Они позволили создать первые гражданские реактивные самолеты большой пассажировместимости, обладавшие высокой скоростью, значительной дальностью и большой высотой полета.

**Из истории авиации.** Предоставим вновь слово А. Н. Пономареву, хорошо знающему развитие всех видов авиации:

«...И опять военная авиация свои достижения передала гражданской. В очень короткий срок ОКБ А. Н. Туполева на основе «Ту-16» создает лайнер «Ту-104», первый в мире пассажирский реактивный самолет.

Над этим классом самолетов велись работы и в других странах В Англии — над «Кометой», во Франции — над «Каравеллой», в США строились «ДС-8», «Боинг-707». Одним из первых в воздух поднялся реактивный лайнер «Комета». Но из десяти вошедших в эксплуатацию машин одна потерпела катастрофу над Средиземным морем. Самолет на высоте 10 000 м разрушился со скоростью взрыва. Причину катастрофы не выяснили. Из-за этого и остальные девять машин были сняты с эксплуатации.

Не случайно ОКБ Туполева не жалело сил на расчеты, всестороннюю проверку своего самолета. Особое внимание уделялось проблеме герметичности пассажирского салона. Создание даже малых герметичных кабин военных самолетов в ту пору было сопряжено с большими трудностями. А тут громадный фюзеляж со множеством швов, скрепленных сотнями тысяч заклепок. Утечки воздуха не избежать, и для ее компенсации пришлось предусмотреть автоматическую подкачку воздуха компрессором двигателя. Много раз летчики-испытатели опробовали самолет, пока не дали ему путевку в небо. Труды были не напрасны.

Только что родившийся «Ту-104» слетал в Лондон и Цюрих, а затем из Москвы в Нью-Йорк (с посадкой в Исландии). О нем заговорила пресса всего мира. «Это все равно, что пересечь с лошади на современный автомобиль», — восторженно писали газеты. И вот уже более двух десятилетий «Ту-104» исправно летают над нашей страной и за ее пределами» (см. ссылку 11: Пономарев А. Н. Покопители неба, с. 149—150).

Ту-104 привлекал всех красотой и совершенством своих форм. Проверенные в длительной эксплуатации системы самолета Ту-16 и собственная высокая прочность, подтвержденная строгим экзаменом

многочисленных проверок и испытаний, обеспечили ему большую надежность и безопасность.

Для Аэрофлота Ту-104 представлял собой огромный качественный скачок. Но Ту-104 имел еще одну отличительную особенность: он был значительно более сложным самолетом, чем все предшествующие типы. Его еще нельзя было назвать комплексом, однако можно с уверенностью сказать, что Ту-104 стал прообразом будущих самолетов-комплексов.

## **Пассажиры, рейсы, комплексы в воздухе и на земле**

За сравнительно короткий срок скорость полета пассажирских самолетов благодаря внедрению турбореактивных, а затем и более экономичных (хотя и менее мощных) турбовинтовых двигателей возросла до 600—800 километров в час, то есть увеличилась в два — два с половиною раза. Герметические кабины обеспечили возможность летать на высотах до 10—12 километров; именно там самолеты могли развивать наиболее высокую скорость, а режим работы двигателей был самым экономичным.

Внедрение новых самолетов в начале 60-х годов поставило на повестку дня задачу кардинального увеличения пассажирских перевозок по воздуху. Казалось, что высокая скорость плюс большая пассажировместимость могли и должны были обеспечить преимущества новых реактивных лайнеров в решении этой задачи. Однако сразу же стало ясно, что только за счет этих качеств, не дополняя их другими, значительно увеличить авиационные пассажирские перевозки невозможно.

Необходимо было намного увеличить регулярность полетов, уменьшить существенно зависимость посадки от погодных условий — сделать самолеты всепогодными, повысить комфорт и безопасность. А эти проблемы требовали совсем иных путей решения (но, добавим, знакомых читателю). Поскольку иными стали скорости и высоты полета, управлять самолетом теперь было значительно труднее. Экипаж надо было разгрузить. Выход состоял в том, чтобы существенно развивать оборудование, причем не только установленное на борту самолета, но и радиотехническое, располагаемое на земле.

Но и это еще не все. Чтобы перевозить пассажиров, нужна была густая сеть хорошо оборудованных авиалиний, которые связали бы между собой не только круп-

ные, но и средние и даже небольшие города. А это зачем? — может спросить читатель. Затем, чтобы привлечь большое число пассажиров, едущих в различные, пусть не очень крупные пункты, гарантировать им возможность быстро добраться до конечной точки маршрута.

Но это опять не все. Новая сложная техника требовала хорошо отлаженной, мощной системы обслуживания и ремонта.

Наконец, следовало обеспечить высокую экономичность авиационных перевозок, добиться их рентабельности, причем отнюдь не за счет повышения цен на билеты — ведь именно доступность поездки и высокий уровень удобств как раз и должны были превратить авиацию в привлекательное для очень многих средство сообщения.

Весь этот узел проблем «второго эшелона» можно называть барьером эффективности, безопасности и рентабельности. Не преодолев его, нельзя было и думать о кардинальном изменении роли гражданской авиации в народном хозяйстве.

Ясно, что преодолеть этот второй барьер можно было опять-таки только с помощью комплексного подхода, требующего согласованных действий по многим направлениям. Если идти по пути решения каких-то частных задач, рассчитывать на крупный успех нельзя было. И тут следует сделать одну существенную оговорку. Действовать в соответствии с комплексным подходом по многим направлениям — это не значит откладывать решение главной задачи до тех пор, пока на всех направлениях будут получены наилучшие результаты. Так можно вообще не решить проблему, либо решить ее с большим опозданием, с излишней затратой труда и средств.

Да, работы следует вести одновременно по всем направлениям и во взаимосвязи. Но по каждому из этих направлений могут и должны быть намечены достижимые рубежи; нужно оценить, что сделать сейчас, а что допустимо отложить «на потом». Если так будет сделано по всем направлениям, победа будет достигнута! Самое главное — не терять из виду цель, ради которой все делается.

Многие из тех проблем, которые столь остро встали перед гражданской авиацией, были уже решены их коллегами в военной: ведь те первыми столкнулись с информационным и управленческим барьером. Но у пассажирских самолетов, перевозящих большие массы пассажи-



ров, рассчитанных на очень высокий уровень безопасности, своя специфика. Здесь надо было степень риска снизить до исключительно малой, исчезающей величины.

Самолет на посадку заводится по строго определенной траектории — авиаторы называют ее глиссадой. Глиссада рассчитывается так, чтобы машина коснулась взлетно-посадочной полосы в самом ее начале, а скорость касания была сравнительно небольшой. До автоматизации посадки летчик непосредственно выводил самолет на глиссаду и снижался по ней, полагаясь только на свой глазомер. Но при плохой погоде и видимости снизиться по глиссаде и посадить тихоходную машину — дело тоже непростое: ведь глиссада — это не что-то материальное, она не висит в воздухе, ее каждый раз пилоту приходится «строить» самому. Теперь же, когда скорости захода на посадку резко возросли, сделать все это стало неизмеримо труднее. Выход был только один — использовать наземные радиотехнические средства и автоматику на самолете. С помощью радиотехнических систем можно было бы материализовать глиссаду, например, в виде луча радиомаяка или лазера, а автоматика помогла бы самолету «зацепиться» за этот луч и снижаться по нему. При этом вовсе не обязательно сразу обеспечивать автоматический полет по глиссаде. Имеется много вариантов более простых решений, например полуавтоматическое управление, аналогичное тому, которое мы описывали в предыдущей главе.

На новом поколении гражданских самолетов управление должно было быть существенно улучшено. В первую очередь этого требовали самые напряженные режимы — взлет и посадка. Должно было быть облегчено управление самолетом и в так называемых «особых случаях» — при возникновении отказов и в аварийной обстановке. Заметим, что скоростные самолеты более чувствительны к ошибкам, чем тихоходные. Летчик без помощи специального оборудования и дополнительных агрегатов (которые предстояло еще ставить на борт) не мог уже справиться с управлением огромного тяжелого самолета.

Особо остро встала труднейшая и многоплановая проблема обеспечения высокого (точнее, исключительно высокого) уровня безопасности полетов. Ведь предстояло перевозить много миллионов пассажиров на десятках тысяч рейсов. Катастрофа многоместного пассажирского

самолета — это прежде всего гибель сотни людей, тяжкая трагедия. Такое драматическое событие резко снижает и престиж авиации, заставляет пассажиров обращаться к другим видам транспорта. Отсюда неизбежное снижение такого критерия, как рентабельность.

Родился лозунг: пассажир, вступивший на борт воздушного лайнера, должен быть уверен в своей безопасности так же, как в поезде, автобусе или трамвае. Для этого необходимо было не только существенно повысить надежность всех систем и агрегатов, но и обеспечить гарантированную возможность продолжения полета и его нормального завершения при одном, двух и даже трех отказах. Именно это важнейшее свойство, которое относится к так называемой летной годности самолета, обеспечивает крайне малое число летных происшествий при огромном числе рейсов.

Все эти крупные и очень трудные проблемы были решены благодаря качественному изменению облика самолета, установке на борту множества сложных систем и разворачиванию на земле еще более сложного многозвенного хозяйства. На земле возникли многочисленные вспомогательные комплексы, каждый из которых выполнял определенные функции на очень высоком техническом уровне. Отдельно эти компоненты существовать не могли, они были нужны только при четком взаимодействии друг с другом, а главное — с самолетами и их бортовыми системами. Все это вместе превратилось в авиационно-транспортную систему — огромный, сложный, но четко работающий макрокомплекс.

Первое поколение пассажирских реактивных самолетов еще не могло быть причислено к комплексам; самолеты тех лет не были насыщены столь многочисленным и разнообразным оборудованием. Иное дело самолеты третьего поколения Ил-62, Ил-62М, Ту-154, Ту-134. Они представляли собой типичные большие сложные технические системы, объединяющие не менее 20—25 тесно связанных между собой подсистем.

Самолеты Ил-86, Як-42 обладают еще более высокими летными данными, лучшими эксплуатационными качествами. Еще больше выросла безопасность, всем требованиям отвечает и экономичность самолетов.

Число функциональных систем на новых самолетах достигает 30—35 и более. Что же это за системы, обра-

зующие живой авиационный организм? Укажем небольшую часть из них.

*Самолет*, или, точнее, *планер*: он объединяет фюзеляж, крыло, оперение и другие конструктивные элементы. В качестве отдельных элементов самолета следует рассматривать герметическую кабину с одним или несколькими салонами, кабину экипажа, грузовой и багажный отсеки. Агрегаты жизнеобеспечения, комфорта и т. д. образуют отдельные системы комплекса.

*Силовая установка*, включающая двигатели, их воздухозаборники (они могут быть регулируемы), сопла с агрегатами реверсирования тяги, систему управления двигателями, масляную систему. По существу, современный двигатель пассажирского лайнера сам представляет собой весьма сложный комплекс, не менее сложный, чем самолет.

*Топливная система* с многочисленными баками, насосами, трубопроводами и другими агрегатами. Среди них, в частности, находится система заполнения баков нейтральным газом после выработки топлива. Другой подсистемой является противопожарная.

*Система электропитания*, обеспечивающая электроэнергией (постоянным и переменным током соответствующего напряжения) многочисленных потребителей. В эту систему входят также стабилизаторы качества электроэнергии, резервные источники тока и т. д.

*Система энергоснабжения*, обеспечивающая гидросмесью под высоким давлением (100—150 атмосфер) и сжатым воздухом систему управления, механизмы уборки и выпуска шасси, тормоза, системы уборки и выпуска многочисленных щитков, закрылков и пр.

В группе пилотажных, навигационных и управляющих систем мы насчитаем около десяти очень крупных и сложных частей, решающих большой круг задач.

Нормальный полет самолета на всех этапах — на взлете, при наборе высоты, в полете на маршруте, при снижении, заходе на посадку и посадке — возможен только при тесном взаимодействии множества функциональных систем. Для каждого этапа или участка состав систем, несущих службу, строго определен. И опять конструкторы особое внимание обращали на тщательность и «гладкость» стыков. При переходе с этапа на этап структура некоторых систем перестраивается, с тем чтобы лучше, точнее осуществлялось управление.

Для обеспечения жестких и очень строгих требований безопасности (невыполнение их препятствует принятию самолета на эксплуатацию) предусмотрено — об этом мы уже говорили — обширное резервирование. Оно заключается в многократном дублировании агрегатов внутри каждой подсистемы и использовании дополнительных, резервных систем на случай выхода из строя одной из них. Так, например, система управления состоит, по существу, из трех параллельных линий; на самолете имеется две, а то и три линии системы электропитания и энергоснабжения. Резервирование такого типа позволяет получить высокую степень общей надежности, намного превосходящую надежность отдельных звеньев. Но ведь именно такой степени требуют строгие правила безопасности.

### Грань, одна из многих

О том, как работают и взаимодействуют системы авиационного комплекса, читатель может получить представление, взглянув всего лишь на один небольшой, но очень важный участок посадки — пробег после касания самолетом взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Чтобы все было ясно, мы опять должны рассказать о проблеме ретроспективно.

У тихоходных самолетов предвоенного периода, летавших со скоростями 250—280 километров в час, посадочные скорости не превышали 60—70 километров в час. Как понимает читатель, это намного меньше максимальной скорости современного автомобиля. Остановить машину после посадки не составляло труда при помощи надежных колесных тормозов и выключения двигателей. Последнее давало небольшое резервное торможение за счет сопротивления винта. Самолеты садились на грунтовые аэродромы, а длина пробега не превышала 200—250 метров.

Сегодня посадочные скорости больших пассажирских самолетов достигают 220—250 километров в час, то есть равны максимальной скорости тяжелых машин начала 40-х годов. У сверхзвуковых лайнеров они еще выше.

Но ведь самолет надо затормозить, и притом абсолютно надежно и безопасно. Очевидно, что колесных тормозов уже совершенно недостаточно. Даже если бы с ними ничего не случилось, действие их на больших скоростях очень неэффективно: длина тормозного пути

была бы огромной. Но ведь они от большого разогрева немедленно разрушатся, а заодно послужат верным источником пожара! Поэтому эффективное торможение современного самолета на пробеге возможно лишь путем применения целого набора, или, как принято говорить, каскада, средств: аэродинамических тормозов различного типа, реверса тяги, парашюта и, наконец, колесных тормозов. По существу, каскад этот повторяет все свойства комплекса, будучи сам сложной системой.

Аэродинамическими тормозами служат фюзеляжные и крыльевые щитки, которые убираются в полете, а на посадке и пробеге выпускаются. Таких щитков на самолете может быть несколько; они размещаются в различных местах крыла и фюзеляжа. Все щитки, так же как и парашют, увеличивают силу сопротивления и тем самым усиливают процесс торможения. Реверс тяги осуществляется с помощью устройств в выходной части двигателя; они в нужный момент изменяют направление тяги на обратное.

Заметим, что необходимость экстренного торможения бывает не только на пробеге при посадке. Экстренно затормозить самолет может потребоваться и во время разбега на взлете — возник пожар, отказала какая-либо система или двигатель. В этих случаях летчик должен прервать взлет. Поэтому средства торможения рассчитывают не только на пробег самолета, но и на прерванный взлет.

Тормозные устройства, о которых мы рассказываем, включаются не одновременно, а в определенной последовательности. Благодаря этому пассажиры не подвергаются опасным перегрузкам, возможность же разрушения тормозных устройств исключается. При этом достигается наиболее эффективное (это выражение здесь очень уместно) торможение.

Условия безопасности требуют, чтобы длина пробега не увеличивалась заметным образом, если один или два элемента каскада откажут. Иными словами, в каскаде должно быть предусмотрено определенное перекрытие интервалов действия элементов и существенное их резервирование.

И все же, как ни эффективны средства торможения, применяемые на современных самолетах, длина посадочного пути (и добавим: прерванного взлета) существенно возросла. Ведь для того, чтобы безопасным образом по-

гасить огромную кинетическую энергию, необходим достаточно длинный путь. А это означает, что значительно длиннее стали взлетно-посадочные полосы.

Другой важнейшей характеристикой самолета на пробеге (так же как на взлете) служит величина давления колес на полосу. Самолеты, способные вместить 100—150 пассажиров, весят 60—80 тонна-сил; самолет-аэробус, рассчитанный на 350—400 пассажиров, весит при взлете 200 тонна-сил. Для обеспечения приемлемого давления на полосу приходится делать многоколесные шасси; колеса размещаются на специальных тележках. Естественно, что обеспечение нормального функционирования такого многоколесного, многотележного шасси, его уборка, выпуск и, главное, надежность представляют собой серьезнейшую проблему. Для всего этого требуется весьма много механизмов, тоже, кстати, резервированных. Летчик должен получать информацию о работе этих механизмов, об их состоянии. Поэтому необходима определенная подсистема сигнализации и контроля.

На современных самолетах последовательностью включения тормозных устройств, а также уборкой и выпуском шасси пока еще управляет летчик. Он же управляет движением самолета по полосе, следя за тем, чтобы самолет не отошел от осевой линии, не скатился вбок. Но физическая и психологическая перегрузка летчика уже чувствуется. Сейчас разрабатываются автоматизированные устройства для управления самолетом на пробеге. Возможно, это будут директорные приборы, указывающие летчику порядок действий. И хотя такая автоматика усложнит структуру самолета, она облегчит управление, сделает его более точным и надежным.

Из описанной схемы видно, что шасси и агрегаты торможения самолета переросли в особо организованную сложную систему, объединяющую большое число элементов, имеющую определенное резервирование. Сегодня, повторяем, этой системой управляет человек; в ближайшее время ее управление станет автоматизированным.

### **Авиационный макрокомплекс: итоги и перспективы**

Принципиальное изменение облика и структуры самолетов, превращение их в высокоорганизованные комплексы — лишь часть коренных усовершенствований, про-

веденных в гражданской авиации за последние десятилетия. Воздушный транспорт — единый четко слаженный, обширный механизм, состоящий из множества звеньев. Авиационно-наземный макрокомплекс включает в себя самолето-вертолетный парк различной пассажировместимости и дальности, густую сеть регулярных авиалиний, аэровокзальные комплексы, взлетно-посадочные полосы, средства дальней и ближней навигации, комплексы обеспечения всепогодной посадки, службу управления воздушным движением. Включает этот огромный механизм также ремонтные предприятия, службу эксплуатации и подготовки самолетов к полетам, централизованную систему продажи билетов и многое другое.

Кстати, о билетах. Несмотря на внедрение автоматизированных систем распределения билетов, Аэрофлот имеет десятки тысяч кассиров. Ведь общаются с пассажирами при продаже билетов не роботы, а люди. Вообще во всех звеньях макрокомплекса большое место занимают люди, выполняющие многочисленные функции как на борту, так и на земле. Высокий уровень автоматизации, характерный для современной гражданской авиации, не исключил, а усилил роль человека как важнейшего элемента всех звеньев макрокомплекса. Летчики, стюардессы, руководители полетов, диспетчеры, инженеры, механики, мотористы, рабочие и представители огромного числа других специальностей составляют тот базис макрокомплекса, который мы называем человеческим фактором.

Для обучения, переподготовки, регулярных проверок всей этой армии специалистов существуют институты, школы, учебные центры, курсы.

Четкую организацию макрокомплекса и многочисленных его компонентов обеспечивают администраторы, руководители всех рангов, обладающие широким полем деятельности при одновременной строгой ответственности за порученный участок.

Но ключевые фигуры в авиации — летчик — командир корабля и диспетчер — руководитель полета. От них в наибольшей мере, несмотря на высокую степень автоматизации, насыщенность машинами, механизмами и приборами, зависит безопасность полета, соблюдение графика, качество управления, всепогодность, экономия топлива и многое, многое другое. И в этом еще раз подтверждается основной принцип техники: как ни велики

достижения механизации и автоматизации, какими бы новыми, совершенными средствами управления ни были оборудованы машины, какие бы ни были созданы системы получения и переработки информации, человек по-прежнему остается решающим звеном в сложной цепи взаимосвязей людей, машин, природы.

Технические средства облегчают человеку выполнение его функций, которые, кстати говоря, делаются год от года сложнее. Они помогают человеку справиться с информационно-управленческим барьером, огромными психофизиологическими и физическими нагрузками. Понятно, что без этих средств, совершенствующихся (эти усовершенствования выполняют другие люди — конструкторы, ученые, рабочие) почти непрерывно, работа систем, комплексов и макрокомплекса невозможна.

Однако принятие решений, их реализация, контроль и, главное, управленческие функции в сложной, аварийной ситуации — все это в сложных «человеко-машинных комплексах» лежит на человеке. Правда, не на одном человеке, а на целой иерархии руководителей, исполнителей, контролеров, операторов.

Несмотря на большие размеры, макрокомплекс, описанный нами, не охватывает все взаимосвязи авиации. Как и другие технические отрасли в современном мире, воздушный транспорт тоже не может существовать изолированно. Он должен взаимодействовать, и притом весьма тесно, с рядом других отраслей народного хозяйства — авиационной, нефтяной, радиотехнической, электронной промышленностью, промышленностью средств связи, приборостроением, строительной индустрией и т. д. Эти отрасли поставляют самолеты и вертолеты, оборудование и приборы, средства ближней и дальней навигации, строят взлетно-посадочные полосы и аэровокзалы, поставляют высококачественное топливо и все остальное, необходимое для того, чтобы воздушный транспорт мог нормально работать.

В результате большого комплекса мероприятий, проведенных в течение десятилетий, гражданская авиация заняла ведущее положение в пассажирских перевозках всех стран. Густая сеть авиалиний покрывает весь земной шар. Так, в СССР в течение уже многих лет ежегодно перевозится по воздуху более 105 миллионов пассажиров (в 1981 году — 109 миллионов). Это означает, что из каждых пяти граждан, включая грудных младенцев и



почтенных долгожителей, двое раз в году летают на самолетах, потому что это удобно, быстро, комфортабельно и безопасно <sup>22</sup>.

Требования, упоминавшиеся в начале нашего рассказа, полностью выполнены. Это обеспечило Аэрофлоту — самой крупной авиационной компании мира — высокие прибыли; гражданская авиация стала одной из наиболее рентабельных отраслей народного хозяйства.

Общая протяженность внутренних и международных авиалиний СССР достигла одного миллиона километров; три четверти этих путей пролегает над территорией нашей страны. Свыше 3600 городов и населенных пунктов страны связаны единой системой воздушных сообщений <sup>23</sup>.

А как обстоит дело в масштабе всей планеты? На международных и внутренних линиях планеты в 1979—1982 годах — по данным Международной организации гражданской авиации — ежегодно перевозилось около 643 миллионов пассажиров. На отдельных трассах авиационный транспорт стал не просто основным, а практически вытеснил все другие виды. К примеру, 95 процентов пассажиров, пересекающих Атлантический океан, предпочитают лететь 6—7 часов, вместо того чтобы в течение 7—8 дней качаться на океанских волнах <sup>24</sup>.

В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, принятых на XXVI съезде КПСС, записано:

**«На воздушном транспорте** продолжить развитие сети аэропортов на магистральных и местных воздушных линиях, с оснащением их современными средствами механизации и автоматизации перевозочных процессов и обслуживания самолетов, строительство и реконструкцию ремонтных заводов и авиационно-технических баз гражданской авиации, особенно в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Осуществлять меры по значительному снижению удельного расхода топлива за счет рациональной эксплуатации авиационной техники, сокращения потерь горючего, а также повышения экономичности двигателей, улучшения весовых и аэродинамических характеристик самолетов и вертолетов.

Предусмотреть широкое внедрение бортовых и наземных систем навигационного и радиотехнического оборудования, обеспечивающих автоматизацию управления

воздушным движением, взлетом и посадкой самолетов и повышающих регулярность и безопасность полетов.

Увеличить пассажирооборот примерно в 1,3 раза».

### **Космос: большие системы и управление**

Само слово «космос» еще на памяти даже не старшего, а среднего поколения было связано скорее с научной фантастикой, чем с какими-либо практическими сторонами нашей жизни. Сегодня же благодаря исключительно бурному развитию целого ряда отраслей науки и техники, совершенствованию ракет, электроники, систем управления и, наконец, созданию комплексов, объединивших во имя большой цели множество разнородных систем, космические полеты стали синонимом века, обыденной реальностью. Космонавтика — одно из крупнейших достижений НТР.

Космическая техника, как, пожалуй, ни одна другая область, обязана своими успехами развитию техники больших систем. То, что системы, летающие по орбитам вокруг Земли, достигающие Луны и планет, позволяющие космонавтам в течение многих месяцев жить и работать в космосе, представляют собой комплексы, известно сегодня почти всем. Однако многие не знают, что ракета и космический аппарат — лишь составляющие обширного и очень сложного наземно-ракетно-космического макрокомплекса.

Большое число компонентов этого макрокомплекса не участвует непосредственно в полете, но они необходимы для подготовки полета, либо для управления полетом, либо для контроля за тем, как происходит полет. Наконец, определенные части этой организации обеспечивают поиск и возвращение корабля и экипажа после посадки<sup>25</sup>.

Так же как авиация не может выполнять свои задачи без массовой поддержки многочисленных обеспечивающих систем и служб, так и ракеты или космические аппараты не могут уйти в полет, достичь цели и вернуться на Землю без четкой и бесперебойной работы всего макрокомплекса.

Хотя по составу, конструкции и внешнему облику космический макрокомплекс сильно отличается от авиационного, описанного в предыдущих разделах, функционально они весьма схожи. Конечно, в составе космиче-

ских систем еще нет пассажирской службы, и продажа билетов не беспокоит руководителей макрокомплекса. Поэтому число кассиров, выражаясь математическим языком, пока равно нулю. Однако в состав как того, так и другого входят наземные и бортовые комплексы, близкие по назначению. В бортовых системах мы узнаем те же элементы, например, силовую установку, топливную систему, систему автоматического управления, навигационную систему, систему жизнеобеспечения и многие другие.

Из каких же компонентов состоит космический макрокомплекс? Что входит в состав каждой из его частей?

Попытаемся сперва ответить на более общий вопрос: зачем он создан? Ведь, как мы знаем, структуру системы определяют именно цели.

Если говорить достаточно укрупненно о целях всего макрокомплекса, то мы должны иметь в виду, что, как и в других больших системах, полет ракеты и космического аппарата разделяется на ряд этапов. Достижение целей на каждом этапе (их можно назвать частными целями, образующими единое «дерево») — необходимое, обязательное условие достижения общей, генеральной цели всего полета.

Генеральную цель ставит конкретная программа, разработанная для всего ракетно-космического макрокомплекса. Ею может быть вывод на орбиту исследовательского оборудования, полет на Луну и возвращение на Землю, длительный орбитальный полет космонавтов с завершающим эксперимент безопасным приземлением в заданном районе...

Очевидно, что частные цели вытекают из генеральной цели, но определяются условиями конкретного эксперимента, конструкцией систем, входящих в комплекс, и этапами полета. Так, например, если предстоит автоматическая стыковка с другим аппаратом, то необходимо обеспечить встречу и точное сближение; если возвращение на Землю не планируется, то отпадает необходимость в выходе в заданный район и приземлении.

В общем виде работа всего макрокомплекса включает в себя следующее: подготовку ракеты и космической системы к старту, запуск, разгон ракеты, отделение ступеней, достижение заданной скорости, отделение космического аппарата, обеспечения нормальной работы всех систем в полете, контроль и управление, сход с орбиты,

безопасное возвращение спускаемого аппарата, его посадка, поиск и доставка на базу. К этим этапам-целям примыкают транспортировка ракеты, оборудования, необходимых материалов, топлива на космодром, обеспечение безопасности работ, размещение персонала и экипажей, контроль за воздействием на среду и др. Все это, если хотите, частные цели.

Особое место в космических программах занимает наблюдение за полетом ракеты и космического аппарата. Оно должно быть глобальным и по возможности не иметь «мертвых зон». Поиск спускаемого аппарата, а тем более космонавтов, должен обеспечиваться во многих районах возможного приземления, в том числе и там, где это нужно в аварийных случаях.

Перечислим основные части, объединенные в ставших для нас привычных понятиях — «космодром», «ракета», «космический аппарат»:

*ракетно-космический комплекс*, состоящий из ракеты-носителя и космической системы, объединенных при старте в единую конструкцию;

*технический комплекс* для подготовки объектов к старту и проверки многочисленных систем;

*стартовый комплекс*, обеспечивающий запуск ракеты;

*командно-измерительный комплекс* с многочисленными наземными и морскими станциями, а также летающими постами;

*комплекс средств поиска и спасения спускаемых аппаратов и космонавтов*;

*жилой комплекс*; *комплекс вспомогательных служб*; *транспортный комплекс*; *комплекс энергоснабжения*.

К элементам макрокомплекса относятся также линии электропередач и связи, районы отчуждения, предназначенные для безопасного падения отработанных ступеней. Да и сами трассы полета, по которым пролегают дороги ракет, уносящихся в космос, тоже компоненты макрокомплекса.

Часть элементов, упомянутых нами, располагается вдали от космодрома — на суше и на море, выполняет свои задачи в небе, на малой и очень большой высоте, в околоземном пространстве, в ближнем и дальнем космосе.

Очень важную, уникальную роль во всей огромной наземно-ракетно-космической структуре играет *космодром*, объединяющий большое число упомянутых компо-

нентов. Аналога космодрому ни в одном другом макро-комплексе нет.

Несмотря на разнообразие типов и специфические особенности, все ракеты и космические системы имеют много общего. Если смотреть более широко, то легко увидеть у них сходные черты с самолетами, хотя принципы движения у ракет и самолетов совершенно различные. Поэтому принято говорить о летательных аппаратах тяжелее воздуха как о едином обширном классе современных технических систем. В этот класс входят, наряду с упоминавшимися самолетами и вертолетами, ракеты различного типа, космические корабли и другие аппараты тяжелее воздуха.

Почти все эти летательные аппараты, за исключением легкомоторных спортивных самолетов и планеров, в настоящее время — комплексы. А вот аппараты легче воздуха — аэростаты, воздушные шары — остались на уровне малых систем\*.

Однако исторический путь к комплексам у каждого типа летательных аппаратов был свой. Читатель помнит: самолеты развивались вначале как малые и средние системы; создание комплексов было обусловлено возникновением на их пути барьера эффективности. Между тем баллистические и космические ракеты, не имевшие на борту пилота и нуждавшиеся для пуска в специальных сложных стартовых устройствах, а для полета — в управлении, с самого начала должны были создаваться как комплексы с автоматическим управлением, множеством радиоэлектронного оборудования и стартовыми сооружениями. При этом часть радиоэлектронного оборудования, в первую очередь радиолокатор, следящий за полетом ракеты и дающий информацию системе управления, должен был находиться вне ракеты, на земле.

Вот что говорит по этому поводу член-корреспондент (ныне уже академик) АН СССР Б. В. Раушенбах (Литературная газета, 1977, 27 декабря):

«...Автоматическое управление — один из нескольких «китов», на которых зиждется космонавтика. Но вот что интересно: почти все пионеры теоретической космонавтики уделяли этому «киту» совсем немного внимания. Самые зачаточные идеи встречаются у Циолковского и Год-

---

\*Дирижабль, к которому ныне вновь возрастает внимание, можно причислить к средним системам.

дарда, почти ничего нет у Оберта. Исключение составляет Кондратюк, который рассмотрел вопросы управления в числе других технических проблем межпланетного полета. И все же можно констатировать, что радиоэлектроника оказалась той областью, прогноз развития которой долгие годы не был достаточно оптимистическим. Даже в 30-е годы едва ли кто мог предвидеть грандиозность ее нынешнего развития. Только в конце 40-х, с рождением радиолокации и электронных приборов управления, радиоэлектроника стала важнейшим компонентом ракетостроения».

На ракетах многочисленные разнородные системы, обеспечивающие полет, то есть достижение генеральной цели и выполнение всех частных задач, должны быть надежно состыкованы друг с другом по принципам комплекса. Поэтому не только автоматизация управления, но и комплексный принцип построения закладывались в ракетные системы практически с их становления. Необходимость этого прекрасно понимали С. П. Королев, М. В. Келдыш, В. П. Глушко, Н. А. Пилюгин и многие другие видные ученые, создатели практической космонавтики. Они уделили этим «китам» огромное внимание.

Итак, необходимость объединения в единый сплав-комплекс большого числа разнородных достижений различных областей науки пионерами теоретической космонавтики не была четко высказана. А как обстоит дело с фантастикой? В «Аэлите» инженер Лось строит ракету в одиночку; сама ракета весьма проста. Почти ничего не сказано о стартовом устройстве. Примерно так же обстоит дело у большинства фантастов. Но в 1925 году А. Н. Толстой опубликовал рассказ «Союз пяти». Герой рассказа инженер Корвин задумал с помощью космических ракет расколоть Луну и «поразить мир невиданным и нестерпимым ужасом...». Все это нужно было Корвину и объединившимся с ним членам «Союза пяти» для того, чтобы потом, когда человечество будет объято страхом, овладеть мировым промышленным капиталом и заодно искоренить революцию.

Фантастический 60 лет назад рассказ А. Н. Толстого ныне в связи с бесчеловечными замыслами империалистов, вынашивающих планы размещения на Луне и в космосе ядерного оружия, нацеленного на Землю, приобрел зловещую актуальность.

Посмотрим, однако, как писатель представлял себе подготовку к запуску ракет.

На безлюдном острове в течение полугода велось гигантское строительство. Были построены мастерские и бараки для сборки ракет, подъездной железнодорожный путь к кратеру потухшего вулкана, где на бетонной площадке был установлен стартовый «стол». Подъемные краны поднимали десятиметровые ракеты на стартовую установку. Дороги и жилища для рабочих, электростанция и мачты электролиний — все, как на современном космодроме. Писатель предусмотрел еще один важный компонент — прекрасно оборудованную астрономическую лабораторию для наблюдения за полетом ракет и достигнутыми результатами. Ну чем не информационно-измерительная система?

### **Звенья космической цепи**

Итак, из каких систем состоит наш макрокомплекс? Сперва о первой его части — ракетно-космическом комплексе. Основа его — ракета-носитель. В рамках общей генеральной цели ей предназначена роль, близкая к роли самолета-носителя в авиационном комплексе. Роль эта может быть названа транспортно-динамической.

Динамические функции ракеты — разгон до первой или второй космической скорости. Как известно, первая космическая скорость должна обеспечить объекту возможность превратиться в искусственного спутника Земли. Минимальное ее значение — 7910 метров в секунду. Вторая космическая скорость позволяет космическому объекту преодолеть земное притяжение и уйти в требуемом направлении; она составляет 11 190 метров в секунду.

Значение скорости, которая должна быть сообщена ракетой космической системе, зависит от назначения всего комплекса. При этом очень важно не только выдержать с исключительной точностью заданную скорость, но и выполнить целый ряд других требований, предъявляемых к динамическим функциям. Так, например, требуемая скорость должна быть сообщена космической системе в строго заданной точке полета, расход топлива на разгоне не должен превышать лимит, сама система и ее скорость должны быть правильно ориентированы и т. д. Для выполнения всех этих требований комплекс включает ряд информационно-управляющих подсистем.

Транспортные функции ракеты-носителя тоже понятны. Они обусловлены необходимостью вывода на орбиту полезной нагрузки, а также размещения на ракете большого, сложного комплекса оборудования и запаса топлива. Все эти функции опять же тесно связаны с генеральной целью и частными задачами.

Из сказанного видна неразрывная взаимосвязь динамических и транспортных функций. Требования к точности определяют состав и свойства оборудования, а значит, полезной нагрузки ракеты. Без достаточного запаса топлива, так же как и без всех этих систем, установленных на носителе, доставить полезную нагрузку на орбиту или в заданную точку невозможно.

Из систем ракеты-носителя остановимся только на трех: автоматической системе управления, навигационной системе и радиотелеметрической.

Навигационная система хранит в памяти программу — заданную траекторию; в некоторых комплексах программа вычисляется в процессе полета. Многочисленные датчики определяют текущие параметры движения: положение ракеты в пространстве, ее скорость, ориентацию по отношению к Земле, Солнцу, планетам, угловые скорости и т. д. Затем все это сравнивается с заданными значениями, и система управления, если нужно, корректирует движение, исправляет ориентацию. Достигается это изменением режима работы (а при необходимости включением или выключением) основных и вспомогательных двигателей, а также отклонением газовых рулей — поверхностей, находящихся в струе двигателей.

Помимо навигационной системы, установленной на ракете, сигналы на корректировку траектории могут быть поданы по телеметрической радиолинии с наземного командно-измерительного комплекса. Автоматическая система управляет также разделением ступеней и контролирует работу других систем.

Радиотелеметрическая линия включает две подсистемы: «борт—Земля», передающую на Землю информацию о ракете и ее движении, и «Земля—борт», передающую с Земли многочисленные команды системам комплекса.

К сложной системе относится космический объект — искусственный спутник или межпланетная станция. По существу, он представляет собой последнюю ступень ракеты. Естественно, пилотируемый аппарат сложнее беспилотного. Ведь помимо всех систем, устанавливаемых



на беспилотных, пилотируемые аппараты должны иметь отсеки обитания, систему обеспечения жизнедеятельности, пилотажно-навигационное оборудование. Система автоматического управления должна быть дополнена и иметь ручной и полуавтоматический режим.

Как большинство других летательных аппаратов, все космические объекты снабжены теперь силовой установкой. Следовательно, они имеют топливные системы. Обладают они системой энергоснабжения. Непременная принадлежность их — радиотелеметрическая система, а для пилотируемых аппаратов — радио- и телевизионная система. На объектах, которые должны длительное время функционировать в космосе, устанавливаются солнечные батареи.

Чаще всего на Землю возвращается не весь космический аппарат, а лишь часть его — спускаемый отсек, в котором размещаются экипаж и некоторые агрегаты бортовых систем. Этот отсек снабжен системой мягкой посадки, в которую входят парашют, пороховые двигатели и автоматы включения. Имеет отсек и систему для радиопеленгации, систему радиосвязи и ряд других систем и агрегатов. Таким образом, этот сравнительно небольшой отсек, являющийся лишь частью всего комплекса, представляет собой очень сложную, многоагрегатную систему.

Для того чтобы ракета пошла в полет, а сам полет прошел успешно, ее нужно снарядить всем необходимым, испытать и проверить и, наконец, запустить. В отличие от других летательных аппаратов ракеты нуждаются в специальных наземных стартовых устройствах. При этом следует иметь в виду, что дальние баллистические и космические ракеты должны стартовать вертикально, тогда как транспортируются они в горизонтальном положении. Следовательно, они нуждаются в поворачивающем устройстве-установщике и пусковой системе.

Космическая техника использует в основном жидкостные ракетные двигатели. Твёрдотопливные двигатели находят пока применение лишь в качестве отдельных ступеней или ускорителей, а на космических аппаратах — для систем аварийного спасения, мягкой посадки и т. п. Это обстоятельство в значительной мере определяет структуру технического и стартового комплексов.

Топливные компоненты ракет с жидкостными двигателями в отличие от твёрдотопливных не могут храниться

долго. Поэтому они должны заправляться непосредственно перед стартом. Немаловажную роль играет и то, что ракеты в отличие от самолетов представляют собой летательные аппараты одноразового действия. Они нуждаются в особо тщательных проверках и контрольных испытаниях, которые проводятся перед стартом. Контрольные испытания должны быть поистине всеобъемлющими. Ведь если что случится после старта, ракету вернуть уже невозможно.

Сказанное определяет совокупность требований, предъявляемых к компонентам макрокомплекса, обеспечивающим подготовку и запуск ракет-носителей. Определяют они, с другой стороны, и меры безопасности.

Ракеты сравнительно небольшой дальности и массы могут запускаться с подвижных стартовых установок, монтируемых на грузовиках, вездеходах и т. п. Часто эти ракеты твердотопливные. Однако даже относительно простые установки представляют собой по существу уже сложные системы, поскольку для запуска ракеты необходим ряд дополнительных взаимосвязанных агрегатов. Поэтому такие установки иногда называют пусковыми комплексами.

Запуски первых советских исследовательских ракет на высоту 110 километров в 1949 году (эта скромная высота была началом нашей грандиозной программы космических исследований) проводились с помощью простых пусковых установок. Система имела стартовый установщик лафетного типа, пусковой стол, автомобильные заправщики ракет компонентами топлива, автовышки, площадки обслуживания, электросиловое и контрольно-пусковое оборудование.

Эксплуатация первых стартовых систем позволила приобрести необходимый опыт и приступить к созданию значительно более совершенных комплексов для пусков современных ракет и космических систем. В последующие годы подвижные пусковые системы модифицировались в направлении повышения мобильности и компактности, уменьшения числа обслуживающих машин при одновременно значительном улучшении подготовки и существенном повышении надежности.

Большие баллистические ракеты запускаются со стационарных позиций. Для подготовки и запуска ракетно-космических систем и управления их полетом понадобил-

ся уже космодром — уникальный комплекс сооружений и оборудования. С космодрома стартует не одна, а многие системы различного типа и назначения. Он позволил сконцентрировать научно-экспериментальные работы и кадры по целому ряду ракетно-космических программ. Космодром обеспечил возможность с максимальной полнотой использовать дорогое оборудование, исключить необходимость вкладывать средства в строительство новых объектов при формировании новых программ космических исследований.

Космодром, в его современном виде знакомый многим читателям по фотографиям и телепередачам, возник не сразу. В самом начале становления ракетно-космической техники перед комплексами космодрома стояла генеральная задача — обеспечить пуск носителя и вывод космического аппарата на расчетную орбиту. Задача была далеко не легкой, в буквальном смысле «ездой в незнакомое». Задача была блестяще решена, запуск удался, и это событие, положившее начало космической эре, было справедливо оценено как беспрецедентное научное и техническое достижение.

Такие «второстепенные» проблемы, как упрощение эксплуатации, сокращение предстартовой подготовки и многое другое, что ныне вышло на первое место, тогда действительно не были главными. И не потому вовсе, что не хотели или не придавали этому значения, а потому, что дело было новым, его масштабы трудно было представить полностью. Однако вопросам безопасности и тогда уделяли большое внимание.

Кстати, время, когда все эти проблемы из «второстепенных» стали превращаться в первостепенные, наступило очень скоро: космонавтика стремительно выходила на самые передовые рубежи научно-технического прогресса. Запуск ракеты перестал быть уникальным, эпохальным событием; он стал работой, пронизанной планом и ритмом. А для работы выполнение всех — всех! — перечисленных требований становилось жизненно необходимым.

Так приобретал окончательный облик ныне знаменитый космодром Байконур. Он был создан при самом активном участии основоположника практической космонавтики академика С. П. Королева. При строительстве космодрома были максимально использованы достижения отечественной науки и техники. Его состав, агрегаты

и параметры выбирались, с одной стороны, с учетом реальных возможностей промышленности, что позволило ускорить запуски искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и автоматических межпланетных станций. С другой — учитывались все требования, направленные на облегчение эксплуатации, улучшение обслуживания, повышение надежности. Выполнение этих требований несомненно повысило эффективность космодрома как большой технической системы.

Благодаря усилиям советских ученых, инженеров, конструкторов, рабочих, участвовавших в развитии космической техники, наша страна стала пионером в исследовании космического пространства. И мы с полным основанием можем считать ракетно-космический макрокомплекс высокоэффективной системой. Ведь все условия, необходимые для этого, были реализованы.

## До старта и после

Рассмотрим в наиболее общих чертах структуру космодрома, двигаясь вслед за ракетой, прибывшей с завода, к точке старта, а затем после запуска — за космическим аппаратом к месту посадки при возвращении на Землю. Здесь мы хотим вновь обратить внимание читателя на характерные черты функционирования больших систем — строгую целесообразность этапов, их тесную взаимосвязь, наличие запасных (резервных) участков, строгие меры безопасности.

Ракета и космический аппарат поступают в технический комплекс, где выполняется очень большой объем предстартовых операций. По существу, этот комплекс служит промежуточным звеном между заводом-изготовителем и стартовой позицией в едином цикле подготовки ракеты к пуску. Здесь проводят укомплектование, окончательную сборку и состыковку носителей и космических аппаратов, автономные, системные и полные (их иногда называют комплексными) испытания. Здесь же производят заправку баков топливом, правда не всеми компонентами, а только теми, которые могут храниться некоторое время; заправляют ракету и сжатым газом. После этого производят подготовку к заключительной транспортировке ракеты на стартовую позицию.

Главное инженерное сооружение здесь — это монтажно-испытательный корпус, знаменитый МИК, о котором многие, вероятно, уже слышали или читали. В МИКе все уникально, грандиозно, красиво и целесообразно. Практически каждая операция представляет собой выдающееся инженерное решение даже сегодня, спустя много лет после рождения технического комплекса.

Что значит, например, провести в МИКе автономные или системные испытания? Это значит, во-первых, выполнить (как изолированно, так и в составе соответствующих подсистем) проверку каждого блока, агрегата и механизма на режимах, аналогичных условиям полета. При этом проверки надо выполнить в очень короткий срок, а это означает, что их надо вести параллельно.

Во-вторых, это означает проверку каждой подсистемы сперва автономно, а затем уже в составе целых частей комплекса. Наконец, нужно провести проверку систем-компонентов и всей ракеты. Испытания надо проводить как на штатных (то есть при нормальной работе агрегатов), так и в аварийных режимах, когда один, два или даже три элемента отказывают.

А сколько здесь возникало трудностей! Например, следующая. Раз ракета и космический аппарат представляют собой объекты разового действия, значит, нельзя допустить, чтобы во время проверок сработал какой-либо механизм, рассчитанный только на однократную работу. А таких на ракете очень много.

Другой круг проблем связан с тем, что проверки должны проходить в условиях, близких к полету, а делаем мы их в зале, на Земле.

Для преодоления всех этих препятствий имелся только один путь — широкое применение различного рода имитаторов, электронных пультов проверки и вычислительных машин. Их назначение — воспроизвести, смоделировать условия полета и доказать, что срабатывание всех агрегатов и механизмов произойдет так, как надо и вовремя.

Причем доказать все нужно с очень высокой степенью убедительности.

Общее количество проверок огромно. Если выполнять их одну за другой, поэлементно, поодиночке, то время на такую работу измерялось бы годами. Поэтому была разработана технология параллельных проверок, совме-

щенных и форсированных испытаний. Форсированными испытания называются в тех случаях, когда в них благодаря более жестким (чем в штатных условиях) режимам удастся существенно сократить продолжительность.

Но вот все выполнено. Ракету, подготовленную и испытанную на позициях технического комплекса, перевозят в стартовый комплекс. Здесь должна быть осуществлена окончательная предстартовая подготовка, проведены проверки второго этапа и, наконец, произведен пуск. Такая двухступенчатая система проверок и подготовки — сперва в техническом, а затем в стартовом комплексе — существенно повышает общую надежность системы и ракеты в целом.

Структура стартового комплекса во многом определяется конструктивной схемой ракеты, ее габаритами и массой. Напомним, что в зависимости от класса масса современных ракетно-космических комплексов составляет от 50 тонн (это так называемые «сверхлегкие» ракеты) до 1000 тонн и более (они относятся к «сверхтяжелым»). Ракеты легкого, среднего и тяжелого класса состыковываются в МИКе и перевозятся на стартовую позицию в горизонтальном положении. Вертикально их ставят непосредственно на старте с помощью установщиков или кранов.

Так, в частности, устанавливаются знаменитые ракеты-носители «Восток», «Протон», «Союз» и др.

Из огромного числа операций, выполняемых на стартовом комплексе, отметим еще одну, очень важную. Ее называют «выставкой». Она предусматривает точное ориентирование («выставление») приборов навигационных систем ракеты и космического аппарата — датчиков положения, угловых скоростей, ускорений и т. д. относительно земных осей координат. Движение ракеты и космического аппарата, а следовательно, успех всей программы в очень сильной степени зависят от точности «выставки».

Для ее осуществления в стартовом комплексе предусмотрена специальная сверхточная аппаратура.

А почему не произвести «выставку» раньше, в техническом комплексе?

Потому что ракету будут перевозить, поворачивать и датчики могут пусть немного, но сбиться, «уйти», как говорят специалисты.

При создании стартового комплекса (так же как и технического) большое внимание уделяется вопросам безопасности. Предусматривается надежная защита сооружений, оборудования и персонала не только от шумового и теплового воздействия стартующей ракеты, но и от возможных взрывов, пожаров, истечения вредных газов и т. д. Предусматривается также целый ряд мер по защите самой ракеты от аварий, пожаров и взрывов, могущих произойти как на борту, так и в наземных установках. Особое внимание уделяется защите экипажа пилотируемых аппаратов, хотя, как понимает читатель, это исключительно трудная задача. На космических кораблях обеспечивается гарантированная возможность аварийного покидания и спасения космонавтов во время старта и на начальном участке разгона...

Следующим важнейшим звеном космического макрокомплекса является командно-измерительный комплекс. Он объединяет наземные станции, специально оборудованные научно-исследовательские суда, самолеты — воздушные посты и даже спутники. Последние используются для связи.

Пункты наблюдения и измерений охватывают практически весь земной шар. Командно-измерительный комплекс тесно связан с Центром управления полетом — сердцем и мозгом всего огромного механизма.

В задачи командно-измерительного комплекса входят: измерение траекторий полета ракеты и космического корабля, сравнение этих данных с основной программой, получение и обработка информации с борта, передача на борт команд на включение частных программ, заложенных в бортовые исполнительные системы, выработка команд на изменение программ, например при возникновении нерасчетных, или нештатных, условий, сильных возмущений и отказов. В число задач комплекса входит радио- и телевизионная связь с космонавтами и многое другое.

Вот что рассказывает В. Г. Георгиев, один из руководителей службы космических исследований отдела морских экспедиций АН СССР. Его рассказ относится к работе морских средств КИК в период наблюдений за выдающимся полетом космического комплекса «Салют-6» — «Союз-35» и был записан журналистом А. Ивахновым (Известия, 1980, 26 апреля):

«Из пятнадцати-шестнадцати суточных витков, которые делает любой космический аппарат, летящий на той

же высоте и под тем же наклоном, что и комплекс «Салют-6»—«Союз-35», шесть витков проходят вне территории нашей страны. Наблюдать в это время за полетом, обрабатывать поступающую из космоса информацию можно только с помощью научно-исследовательских судов, расположенных в соответствующих точках Мирового океана.

Одна из таких точек — остров Сейбл, расположенный у восточных берегов Канады... Сейчас там находится наше судно «Космонавт Юрий Гагарин».

Местом нахождения другого судна нашей звездной флотилии — «Академик Сергей Королев» — является район пролива Гибралтар. В зависимости от решаемых на орбите задач судно то и дело перемещается — либо в Средиземное море, к берегам Туниса, либо по другую сторону пролива — в Атлантику.

Следующая точка, важная для обеспечения связи с космонавтами, располагается у берегов Африки несколько южнее Дакара. Сейчас там находится научно-исследовательское судно «Космонавт Георгий Добровольский». Именно оно, как правило, первым выходит на связь с бортом орбитального комплекса, поднимающегося по синусоиде от берегов Южной Америки, и через спутники связи транслирует доклады космонавтов в Центр управления полетом. Когда же предстоит стыковка со станцией «Салют-6» транспортного или пилотируемого корабля, это судно контролирует процесс сближения, сообщает в Центр данные об их взаимной скорости, дальности и т. п. Потом эстафету связи принимает «гибралтарское» судно, которое в свою очередь передает ее одной из наших наземных станций...

Кроме того, в Атлантике имеются точки, где суда находятся в так называемом дежурном режиме. Работа их необходима в случае аварийной посадки космонавтов. И не только аварийной — ведь именно благодаря переданной этими судами информации о работе тормозной двигательной установки «Союзов» специалистам Центра управления удалось с большой точностью рассчитать места посадок «Фотонов» и «Кавказов», «Ястребов» и «Протонов»...

Я вспоминаю 1961 год, когда впервые возникла необходимость в радионаблюдениях из точек, расположенных за пределами СССР. Предстоял запуск автоматической станции «Венера-1», и по баллистическим расчетам одно



из важных включений ее двигателей должно было произойти над океаном, в районе Гвинейского залива. Для наблюдения за этим процессом мы арендовали у Министерства морского флота два стареньких сухогруза — «Краснодар» и «Ильичевск» и небольшой новый теплоход «Долинск». На них был установлен автомобильный вариант радиоизмерительной аппаратуры, способной принять интересующую нас информацию. После «Венеры-1» эти суда проводили работы с космическими аппаратами, предшествовавшими полету в космос первого человека, а 12 апреля 1961 г. успешно приняли и передали в Центр управления информацию о полете Юрия Гагарина...

А между тем уже проектировались специальные суда для работы с космическими аппаратами. Первым из них было предназначенное для приема телеметрической информации судно «Боровичи». Следом за ним был построен корабль управления «Космонавт Владимир Комаров». На его борту имеются навигационный комплекс, вычислительный центр, аппаратура спутниковой связи, командная радиолиния. Этот корабль может не только принимать информацию, но и выдавать на борт космических аппаратов необходимые радиокоманды.

В 1971 г. в строй вступили еще более мощные корабли, способные выполнять в океане все функции стационарных измерительных пунктов: «Космонавт Юрий Гагарин» и «Академик Сергей Королев».

И наконец, совсем недавно в Мировом океане появились четыре телеметрических судна, носящие имена летчиков-космонавтов СССР Г. Добровольского, В. Волкова, В. Пацаева и П. Беляева. Они оснащены самой современной аппаратурой и могут получать, обрабатывать и в темпе приема передавать в Центр управления полетом весь поток информации, поступающей с борта космических кораблей и орбитальных станций».

Мы позволили себе привести выдержки из репортажа А. Ивахнова (лишь о части командно-измерительного комплекса) для того, чтобы читатель из «первых уст» получил полное представление о структуре компонентов макрокомплекса, их сложности и взаимосвязях.

Мы не можем закончить рассказ о космическом макрокомплексе, не упомянув комплекс средств поиска и спасения возвращаемых космических аппаратов и их экипажей. Он включает в себя специально оборудованные суда,

самолеты, вертолеты, радиостанции, пеленгационные средства, аппаратуру визуального наблюдения, медицинское оборудование.

### Комплексы, рождающие машины

Последний наш пример, который подтверждает фундаментальную роль комплексов в народном хозяйстве, относится к сфере производства. Самолеты, ракеты, космические корабли — это комплексы, являющиеся, по существу, конечными продуктами производства. Макрокомплексы же, которые мы рассмотрели, представляют собой либо структуры, в которой они рождаются как эталон, подлежащий многократному тиражированию, либо объединения предприятий, обеспечивающих функционирование этих макрокомплексов. Но производство чего-либо с помощью комплексов мы не затрагивали, за исключением непрерывной разливки стали. Поэтому желательное осветить проникновение комплексов в само производство.

Как известно, в сфере производства в результате научно-технического прогресса появились новые технологии, созданы совершенно новые методы контроля, резко возросла степень автоматизации. Закономерным результатом этих качественных и количественных изменений стало создание промышленных комплексов в различных отраслях.

Современные машиностроительные предприятия, предназначенные для массового выпуска высокопроизводительных, эффективных станков, машин, автомобилей, судов, телевизоров, ракет и т. п., не могут быть организованы иначе, чем по принципу комплексов. Такие машиностроительные комплексы, объединяющие в единый, четко действующий механизм десятки функциональных потоков разветвленного производства и множество автоматических линий, — наиболее прогрессивная, а в ряде случаев и единственная ныне форма эффективной и бесперебойной работы многих заводов.

Предпосылки создания промышленных комплексов определяются генеральной целью, условиями и масштабом производства. Можно указать несколько направлений развития, вызвавших необходимость перехода к большим системам.

В одних случаях объекты, выпускаемые предприятиями, сами представляют собой сложные системы или, более того, комплексы. Ко всем агрегатам и подсистемам таких объектов, продуктов производства, предъявляются очень высокие требования, особенно к их сборке и монтажу, поскольку в стыках, как не раз уже говорилось, кроются наиболее «больные» места.

В других случаях объем выпускаемой продукции, или, как принято говорить, тираж, должен быть настолько большим, что реализовать его на основе прежней технологии и обычной организации производства уже невозможно. Хотя сами объекты могут быть и не очень сложными, но к их качеству (в том числе к надежности, долговечности, внешнему виду и т. п.), как и в первом случае, предъявляются очень высокие требования. Это в свою очередь влечет за собой жесткие требования к технологии и заставляет строить производство по принципу комплексов.

Наконец, бывают случаи, когда уже с самого начала производство нового конечного продукта должно быть организовано по схеме комплексов, иначе технология просто не может быть построена.

Но есть отрасли, для которых характерны одновременно как те, так и другие признаки: они должны выпускать сложные системы в очень больших количествах при исключительно высоких требованиях к качеству. Наиболее ярким примером этого можно считать автомобилестроение. Как легковой автомобиль индивидуально-го пользования, соответствующий лучшим мировым образцам, так и грузовая машина для народного хозяйства — это сегодня не только одно из наиболее сложных и дорогостоящих изделий массового производства, но и эталон качества.

Конечно, не всякий автомобиль пользуется сегодня спросом и может выпускаться в массовом количестве. Ведь бессмысленно делать, скажем, «Победу», «Москвич-401» или грузовую «полуторку» 50-х годов, хотя в свое время они честно служили по своему назначению. Как легковой, так и грузовой автомобили должны соответствовать требованиям по очень многим параметрам — по экономичности, безопасности, эффективности, внешнему виду, комфорту, надежности, долговечности, эксплуатационным качествам и многим другим.

## Иначе нельзя

В 1980—1982 годах в СССР выпуск легковых автомобилей составил 1 миллион 325 тысяч экземпляров; грузовых — 787 тысяч. Для сравнения укажем, что еще 12 лет назад, в 1969 году, в стране было произведено всего 844 тысячи автомобилей, из них только 293,6 тысячи легковых. А в 1957 году мы выпускали лишь 113 500 легковых машин<sup>26</sup>.

Такой скачок был обеспечен благодаря постройке и вводу в строй двух новых гигантских заводов-комплексов — ВАЗа и КамАЗа и реконструкции ряда старых предприятий.

ГАЗ, ЗИЛ, МАЗ, МАЗЛК — это очень крупные автомобильные предприятия. А вот флагманы советского автомобилестроения — ВАЗ и КамАЗ — не просто гигантские заводы. Это крупномасштабные объединения заводов-комплексов. Каждое такое объединение представляет собой производственную структуру, которую мы называли макрокомплексом — комплексом комплексов.

Причины создания таких макрокомплексов очень глубокие и их достаточно много. Дело здесь не только в необходимости объединения множества специализированных видов производств, участвующих в общем технологическом цикле. Специализация видов производств и их объединение в цеха и заводы существует уже давно. Также давно налажена тесная кооперация предприятий. В случае же производственных макрокомплексов мы имеем совершенно новую форму объединения предприятий, она следствие перехода количества (объем выпускаемой продукции) в качество. Но и элементарные составляющие количества — сама продукция — изменились качественно.

Первая причина — это исключительно жесткие требования, предъявляемые к легковому и грузовому автомобилю в современных условиях. Каждые 5—7 лет они ужесточаются еще больше, а число их увеличивается.

Требования предъявляются к экономичности, надежности, эксплуатационным свойствам, безопасности, комфорту и другим показателям качества автомобиля. Только при выполнении всей (именно всей!) совокупности требований автомобиль может быть причислен к лучшим мировым (а применительно к автомобилю речь идет о глобальных масштабах) образцам и быть конкуренто-

способным по отношению к другим аналогичным моделям.

При этом следует иметь в виду, что каждый из показателей, характеризующих автомобиль, определяется множеством более частных, но очень важных условий, соблюдение которых обязательно. Такая многоступенчатая структура требований к показателям эффективности и качества типична для сложных систем.

Возьмем, например, такую важнейшую характеристику машины, как безопасность. При этом, заметим, речь идет только о технической безопасности, определяемой качествами автомобиля \*. Она определяется выполнением требований к активной и пассивной безопасности. Активная безопасность — это сумма факторов, способствующих предотвращению аварий и резкому снижению возможности их возникновения. В свою очередь она зависит от надежности, резервирования, динамических свойств машины и многих других качеств.

Пассивная безопасность со своей стороны складывается из факторов, снижающих тяжесть травм, которые могут получить водитель или пассажиры, а также другие участники дорожно-транспортного происшествия. Эта группа требований направлена на смягчение последствий аварий, если ее все же не удалось избежать. Каждая составляющая как первой, так и второй группы распадается на более частные требования к отдельным факторам. В связи с исключительно большой важностью всего этого комплекса вопросов для нашего рассказа нам придется к нему вернуться.

Вторая причина перехода к макрокомплексам — это возрастающая сложность автомобиля. Ныне автомобили, следуя общей тенденции в технике (примеры проявления этой тенденции мы уже не раз приводили), превратились в очень сложные системы с большим числом подсистем. Помимо кузова и двигателя, в автомобиле сегодня не менее 15 функциональных подсистем. В их число входят тормозная система, сцепление, рулевое управление, электрооборудование и др.

Количество разноименных деталей, необходимых для изготовления одного автомобиля, уже достигает 8—10 ты-

---

\* Полная безопасность определяется еще и множеством иных факторов, в частности, мастерством и состоянием водителя, состоянием дороги, поведением на дороге других участников движения и т. д.

сяч. Конечно, число деталей само по себе еще не может считаться абсолютным критерием сложности и совершенства машины. Так, например, экскаватор средней мощности состоит из 9,5 тысячи деталей, но структура его пока еще (по-видимому, к сожалению) не достигла уровня сложной системы. Поэтому производство обоих этих типов машин находится на совершенно разных уровнях: автомобили производятся заводами-комплексами и комплексами заводов, тогда как экскаваторы выпускаются пока еще предприятиями обычного типа.

В настоящее время автомобили, точнее некоторая их часть, уже находятся на пути превращения в настоящие автоматизированные комплексы. Факторы, ускоряющие этот процесс,— обострение энергетических проблем и повышение требований безопасности в условиях всевозрастающих транспортных потоков. В газетах и журналах появляются сообщения об установке на некоторые автомобили управляющих микро-ЭВМ, в функции которых входит оптимальное изменение режима работы двигателя, тормозов и других функциональных систем.

Так, например, фирма «Дженерал моторс» выпустила в 1981 году автомобиль «Кадиллак» новой модели с 8-цилиндровым двигателем и микро-ЭВМ. Полный рабочий объем цилиндров равен 6000 кубических сантиметров, но он может изменяться по командам ЭВМ в зависимости от условий движения. Для этого установлена соответствующая система датчиков. ЭВМ отключает два или четыре цилиндра, доводя рабочий объем до 3000 кубических сантиметров. Такая система регулирования очень экономична и может существенно снизить расход топлива. Однако сложность, трудоемкость и, следовательно, стоимость автомобиля возрастают.

Третья причина появления промышленных макрокомплексов кроется в гигантских масштабах современного производства. Это обстоятельство уже называлось, здесь его следует повторить в связи с производством автомобиля. Современные автомобили, если иметь в виду их сложность и те требования, которые к ним предъявляются, напоминают самолеты — пусть еще не самых последних лет и не самые скоростные, но все же достаточно близкие к современным. А это сравнение говорит о многом! Уже хотя бы о том, что производство обоих типов машин находится на близких, почти одинаковых уровнях, разница тут не столько качественная (она, конечно, тоже

есть), сколько количественная: самолетов строится гораздо меньше, чем производится автомобилей.

Четвертая группа причин связана с технологией и автоматизацией производства. Ныне для изготовления автомобиля нужна совершенно иная технология, нежели та, которая существовала 15—20 лет назад. Если же учесть масштабы выпуска машин, то ясно станет, что удовлетворить весь этот комплекс требований можно лишь при использовании наиболее высокопроизводительного оборудования и практически полной автоматизации производства.

Прибегая к терминам, к которым читатель, вероятно, уже привык, можно сказать, что автоматизация должна быть комплексной, то есть охватывать все без исключения стороны производства и не иметь разрывов. Разрывы — это неизбежное применение ручного труда.

В одной из статей генеральный директор АвтоВАЗа писал, что принятая ими технология строго соответствует масштабам производства этого автомобилестроительного гиганта и всем условиям комплексности. Эта технология не годится, к примеру, для предприятий, рассчитанных на выпуск 200 тысяч автомобилей в год, да и на более мощные заводы ее все равно нельзя перенести<sup>27</sup>.

Производство столь ответственных объектов, как современный автомобиль, требует, кроме того, эффективного управления надежностью и качеством. Для этого понадобилось принципиально изменить всю организацию производства, сделать его гибким и управляемым.

Пятая весьма существенная причина создания гигантских комплексов заводов заключалась в том, что такой большой и быстрый прирост производства автомобилей, какой нужен был нашей стране, не мог быть реализован путем постройки большого числа средних или пусть меньшего, но все же значительного количества крупных предприятий. Это было бы нерационально, невыгодно, неэффективно.

Необходима была огромная, невиданная ранее концентрация производства на двух сверхмощных заводах, на которых можно было бы создать все условия для выполнения требований, предъявляемых к автомобилям и автомобилестроению.

Концентрация и большие масштабы производства приводят к тому, что основные цеха, привычные для автомобилестроения — литейный, кузнечно-прессовый, ме-

ханосборочный, кузовной — превращаются в заводы-гиганты, а сам завод — в комплекс заводов. Эта тенденция является всеобщей; вспомните, читатель, пример с японским автомобилестроительным заводом, который мы привели в первой главе.

Шестая группа причин вызвана необходимостью существенной экономии металла, энергии, топлива, воды и т. п. при производстве таких больших количеств автомобилей. Сюда же относится проблема ограниченности людских ресурсов, в особенности трудности с высококвалифицированными кадрами, необходимыми для постройки автомобилей. Эта группа факторов диктует весьма жесткие требования к затратам труда, а также к расходу материалов, топлива и других ресурсов на единицу продукции. Удовлетворить эти требования может только высокоорганизованное производство с очень высокой степенью концентрации, автоматизации и контроля.

Есть еще одна очень важная сторона эффективности производства — гибкость, способность к улучшению и обновлению продукции.

Самая лучшая модель автомобиля со временем устаревает, перестает удовлетворять изменившимся требованиям. А ведь требования меняются не по чьему-то капризу. Технический прогресс — процесс объективный, подчиняющийся определенным закономерностям.

Конечно, вряд ли разумно сразу менять модель на другую. Сначала ее улучшают, модифицируют, причем иногда несколько раз, пока не наступает момент, когда частичные изменения как бы исчерпывают себя. Появляется необходимость в скачке — в полной замене модели. Именно так развивались события на ВАЗе. Первая базовая модель «Жигулей» на протяжении ряда лет улучшалась, модифицировалась. Теперь завод готовится к выпуску новой модели — ВАЗ-2108. В «Известиях» от 24 мая 1984 года, где рассказывалось об этой модели, ее назвали «восьмеркой».

«Восьмерка», призванная стать новым базовым автомобилем семейства «Жигулей», — уже полностью отечественная конструкция. Ее принципиальная особенность — передний привод.

Судя по описанию в «Известиях», машина обещает быть экономичной и надежной, обладать улучшенной аэродинамикой. У нее двухобъемный трехдверочный



кузов без того багажника, к виду которого мы издавна привыкли.

Новый двигатель более экономичен и легок. Эти прогрессивные параметры удалось получить за счет особой формы камеры сгорания, применения более рациональной компоновки. Двигатель оснащен самой современной системой зажигания — электронной, бесконтактной.

Машина по сравнению с моделью ВАЗ-2105 стала почти на 100 килограммов легче — благодаря широкому применению новых материалов и пластмасс.

В ближайшие годы на сборку нового автомобиля предполагается перевести один из трех заводских конвейеров.

Причины и факторы, обусловившие создание комплексов автомобилестроительных заводов, можно было бы продолжить. Так, для бесперебойной работы объединения и всех его частей необходимо иметь огромную (иное слово не подходит), разветвленную, очень четко работающую транспортную службу. Транспорт должен обеспечивать практически немедленный увоз колоссального количества готовых автомобилей и бесперебойную поставку сырья и комплектующих изделий, состав и объем которых еще более велик. Он должен надежно связывать между собой все заводы, входящие в макрокомплекс.

Задач, подобных тем, которые мы только что назвали, не приходилось решать при создании прежних заводов, даже самых крупных. Поэтому на ВАЗе и КамАЗе транспортная служба переросла в сложный транспортный комплекс с разветвленными подсистемами. Каждая из таких подсистем по своей оснащенности, масштабам, уровню организации превосходит транспортные службы не только отдельных заводов, но и целых промышленных районов, поэтому их объединение по праву может называться большой транспортной системой.

Естественно, что при таких масштабах производства резко возрастает роль управления, генеральная цель которого заключается в том, чтобы все без исключения звенья, а также входные и выходные потоки машин, сырья, материалов, энергии, готовых изделий действовали четко, слаженно, ритмично. Малейшая задержка, пробуксовка, заедание могут привести к остановке всего огромного производственного механизма, что неизбежно вызовет очень большие потери. Ведь создать склады на

«входе», так же как и на «выходе», практически невозможно.

Управлять гигантским заводом, точнее, комплексом заводов и всеми его компонентами по-старому, с помощью обычного диспетчерского аппарата и плановой службы уже невозможно. Необходима всезнающая, быстро реагирующая, автоматизированная система управления — АСУ. Чтобы все знать и принимать оптимальные решения, нужно иметь информацию о каждом отделе, секторе, пролете, участке, а возможно, и о каждом рабочем месте.

Нужна автоматизированная система сбора и обработки обширной информации: вручную выполнить все эти работы невозможно. АСУ должна на основе полученной информации формировать четкие, лаконичные, оптимальные рекомендации руководителям макрокомплекса и каждого из его компонентов, чтобы те могли принимать быстрые и рациональные решения.

Пока еще такой автоматизированной системы управления, не только собирающей информацию, но и формирующей все исходные данные для принятия решений руководителями высших рангов, нет. Но она становится жизненной потребностью подобных гигантских предприятий. Видимо, недалеко время, когда она станет неотъемлемым, характерным признаком производственных макрокомплексов.

### **Где сегодня обитает Гешест?**

Прежде чем детально описывать структуру автомобилестроительных макрокомплексов, мы должны хотя бы в общих чертах коснуться характеристик выпускаемых ими машин. Вероятно, нет нужды повторяться о том, что само существование автоградов обусловлено задачей выпускать не просто хорошие, а очень хорошие автомобили, отвечающие тем высоким требованиям, о которых мы говорили выше. И эти модели должны совершенствоваться, регулярно обновляться.

Как известно, базовая модель «Жигулей» была выбрана в середине 60-х годов на основе предложений итальянской фирмы «Фиат». Этому предшествовал тщательный, всесторонний анализ всего отечественного и зарубежного опыта легкового автомобилестроения, проведенного в НАМИ (Центральный автомобильный

и автотранспортный научно-исследовательский институт, головной в отрасли) и в ряде других организаций. Для чего? Чтобы выбрать не просто самую лучшую для того времени модель, а наиболее перспективную. Базовая модель должна была позволять осуществлять в течение длительного времени существенную модификацию автомобиля, но так, чтобы большинство базовых деталей было сохранено<sup>28</sup>.

В 1966 году лучшей машиной в мире в указанном смысле (мы подчеркиваем, именно в этом смысле, потому что при другом подходе предпочтение, возможно, было бы отдано другой модели) был признан «Фиат-124». Его конструкторам удалось сделать отличный легковой автомобиль массового пользования, который по всеобщему признанию «внутри больше, чем снаружи».

Эта модель была затем многократно и тщательно испытана. Как видит читатель, и здесь испытания играли исключительно важную, решающую роль. На основании полученных результатов исходный автомобиль был подвергнут существенной доводке для того, чтобы приспособить его к нашим специфическим условиям. Это означает, что «Фиат» прототип «Жигулей», но «Жигули» — не копия «Фиата». В процессе испытаний и постановки производства в него были внесены серьезнейшие изменения. А уж последующие модификации «Жигулей», которые в огромных количествах мчатся по нашим дорогам сегодня, увели этот прекрасный автомобиль далеко от своего прототипа.

Большая динамичность, легкость в управлении, мягкая подвеска, качественное оборудование, хорошая система отопления, удобство и хороший обзор — все это в совокупности с надежностью и большим межремонтным пробегом характеризует автомобиль с самой лучшей стороны. Характеристика будет неполной, если не назвать еще и современный уровень комфорта и прекрасный внешний вид.

В конструкции автомобиля учтены требования активной и пассивной безопасности. Так, на активную безопасность, кроме факторов, уже упомянутых выше, работают и хорошая устойчивость автомобиля при движении на всех скоростях, вплоть до максимальных, и высокие тяговые качества двигателя, и эффективные тормоза, действующие параллельно и независимо друг от друга на передние и задние колеса, и многое другое.

Взглянем на ВАЗ как на большую систему. Объединение АвтоВАЗ включает головной завод в Тольятти и четыре специализированных завода-филиала в других городах, выпускающих агрегаты. Объединение, как известно, было спроектировано на выпуск 660 тысяч машин в год. Но гигант растет и развивается: в 1980 году проектная мощность его была перекрыта на 8 процентов. Без малого 600 поставщиков снабжают его сырьем и комплектующими изделиями. Весь этот огромный механизм и образует обширнейший макрокомплекс ВАЗа.

Головной завод представляет собой комплекс, объединяющий пять технологически и административно автономных заводов, имеющих полностью законченный производственный цикл, и целый ряд других служб-компонентов. Вот заводы, входящие в комплекс: металлургический, прессовый, механосборочный (изготавливающий двигатели и шасси автомобиля), сборочно-кузовной и, наконец, завод технического обеспечения, объединяющий инструментальное производство, производство оборудования и т. д.

Численность работающих на каждом заводе от 7 до 23 тысяч человек; всего же на Волжском заводе сегодня работает около 100 тысяч человек.

В головной завод, помимо упомянутых предприятий, входят также энергетическая служба, служба ремонта и профилактики оборудования, строительно-ремонтный трест большой мощности, управление лабораторно-исследовательских работ, разрабатывающее новые модели автомобилей, комбинат общественного питания на 35—49 тысяч посадочных мест и другие предприятия.

Традиционно все эти службы считались (а в ряде мест, к сожалению, по сей день считаются) вспомогательными. Отсюда и отношение к ним, как к второстепенным. На ВАЗе эти службы рассматриваются как важнейшие компоненты всей большой системы, осуществляющей производство. А ведь это один из принципов системного подхода!

Возьмем, например, службу ремонта и профилактики. На всех пяти заводах действует четкая и строгая система профилактического ремонта: ведь оборудование работает уже много лет, а число выпущенных с его помощью автомашин перешагнуло 8-миллионный рубеж. Ремонтники, пожалуй, самые уважаемые люди на заводе; оплачиваются они наиболее высоко. Именно

благодаря этому ВАЗ работает бесперебойно (как, впрочем, благодаря многим другим звеньям единой цепи). Без службы ремонта и профилактики нельзя было бы выпускать автомобили высокого качества.

Особенно большую роль в макрокомплексе ВАЗа занимают два компонента — разветвленный аппарат управления и транспортная служба. Хотя в его структуре, повторяем, все элементы важны, управление и транспорт рассматриваются как стержневые и даже ключевые.

Для характеристики вазовского производства и достигнутого на нем уровня автоматизации приведем следующие цифры. В цехах заводов, входящих в комплекс, установлено 19 тысяч единиц высокопроизводительного технологического оборудования. Это количество само по себе достаточно велико, но ВАЗ выделяется еще и качественной стороной оборудования, исключительно высокими показателями отдачи станочного парка. Определенная часть его входит в состав 305 автоматических линий (в 70-х годах такое количество было, пожалуй, рекордным для всей нашей промышленности). Почти все остальное оборудование — специализированное и агрегатное, работающее преимущественно в автоматическом режиме <sup>29</sup>.

Так, на токарных станках-автоматах, установленных в цехах механосборочного завода, помимо традиционной обточки выполняются также операции фрезерования, сверления, нарезки зубьев, накатывания и т. д., для которых обычно применяются другие станки. Комплексная линия изготовления поршней включает токарную обработку, тонкую расточку, импульсную раскатку, подгонку изделия по массе (поршень должен иметь определенную массу), гальванопокрытие. В целом на этом заводе для выпуска 660 тысяч автокомплектов в год задействовано 3500 металлорежущих станков, 43 процента которых включены в 195 автоматических линий. Заметим, что это — две трети общего числа автоматических линий ВАЗа. 33 процента станков механосборочного завода — это автоматы и полуавтоматы <sup>30</sup>.

Для сравнения укажем, что на другом автомобильном заводе, рассчитанном на выпуск 100 тысяч легковых автомобилей в год, используется 2300 металлорежущих станков, из которых только 3,5 процента вошло в состав 13 автоматических линий, а 18 процентов автоматы и полуавтоматы <sup>31</sup>. Таким образом, на выпуск одного экземп-

ляра «Жигулей» работает в четыре раза меньше металлообрабатывающего оборудования, чем на автомобильного завода.

Но не только в значительно более высоких удельных показателях заключается эффект ВАЗа. Благодаря автоматизации существенно выше качество изготавливаемых деталей, их надежность, ресурс и т. п. Вот почему мы вправе говорить о значительно более высокой эффективности всего вазовского макрокомплекса \*.

Перейдем теперь к грузовикам КамАЗа, которые мы во всевозрастающих количествах встречаем на наших дорогах, и расскажем об их производстве с позиций системного подхода.

Если прототипом вазовских машин была иностранная модель, то камазовские грузовики в зарубежном автомобилестроении аналогов практически не имеют. Семейство этих грузовиков, насчитывающих в 1980 году свыше десятка различных типов, создавалось как результат чисто отечественных конструктивных разработок. Грузовики КамАЗа конструировались под девизом достижения множества высоких качеств (а именно этого требует системный подход) — грузоподъемности, надежности, безопасности, экономичности, комфорта, высокой технологичности, гарантирующей массовый тираж.

Наши конструкторы отказались от использования подражательных моделей, которые нужно было бы еще длительное время доводить «до ума». Это решение было полностью оправданно и подкреплялось тем, что в 60-х годах в отечественном автомобилестроении начали проявляться заметные перемены. Выросли опытные кадры, улучшилось качество оборудования, укрепились связи производства с наукой. Неожиданно для многих на мировой рынок вырвались мощные БелАЗы, грубоватые, но исключительно крепкие и экономичные МАЗы и другие советские машины. Наши заводы переживали период бурной реконструкции.

Однако развитие народного хозяйства страны требовало значительно более резкого увеличения производства грузовиков и нового качественного скачка в изготовлении самих машин.

Все сказанное означало значительное увеличение вы-

---

\* Характеризуя эффективность производства, мы используем удельные показатели, преимущества и недостатки которых были нами освещены в первом разделе этой главы.

пуска грузовиков в нашей стране. В последующие годы предстояло обеспечить дальнейший рост производства новых грузовиков и дизелей.

И вновь стало ясно, что выполнить такую грандиозную задачу мог только комплекс заводов с четким, отлаженным до секунды ритмом, колоссальной насыщенностью автоматизированного оборудования и высокой культурой производства. Исходя из этого было решено сосредоточить основные силы и средства на каком-то одном предприятии с принципиально новой структурой, которое должно было «задавать тон» всей отрасли. Флагманом грузового автомобилестроения был определен строившийся гигант в Набережных Челнах — ныне город Брежнев.

Для огромного, небывалого тиража нужны были образцы, не имеющие огрехов и дефектов. Поэтому первые опытные образцы будущих КамАЗов были подвергнуты самому тщательному, самому строгому экзамену, приближающемуся к испытаниям самолетов. В испытаниях было выявлено 380 «слабых мест», которые затем были полностью устранены. Столь большое число исправлений обуславливалось не плохим качеством проектирования, а жесткостью экзамена, строгостью испытателей. И вот первая очередь завода (точнее, комплекса заводов) вместе с сетью его филиалов построена, пущена в ход.

Параллельно со строительством гигантского комплекса совершенствовалась модель КамАЗа. В 1980 году выпускалась уже модель третьего поколения, существенно отличавшаяся от первых образцов, и этот процесс закономерно продолжается.

Как известно, уровень технической оснащенности любого современного предприятия, особенно такого масштаба, как КамАЗ, определяют не отдельные станки и агрегаты, а целые автоматические линии, объединяющие комплексы в единое целое, роботизированные системы. Искключительно большую роль играет уровень профессиональной подготовки рабочих, инженеров и служащих, обслуживающих эти «умные» машины, а также организация производства.

Автогигант КамАЗ действительно достоин восхищения своим уровнем, размахом, культурой, производственной целесообразностью, технической красотой. Недаром за короткое время, прошедшее после рождения, КамАЗу посвящено много строк в стихах, поэмах, очерках, повестях и книгах. Но особенно следует подчеркнуть его ор-

ганизационную структуру, поражающую четкостью и масштабами даже специалиста. А ведь эта структура типична для комплексов.

Макрокомплекс в Брежневе объединяет семь заводов, сеть внутривзаводских коммуникаций и связей, транспортный комплекс, энергетическую службу, службу управления, складской комплекс. Каждая из составляющих в свою очередь объединяет определенное число крупных элементов. В число заводов-компонентов макрокомплекса входят литейный завод, завод штамповки и обработки металлов, кузнечный, прессово-рамный, общей сборки, завод двигателей, ремонтно-инструментальный.

Общая производственная площадь макрокомплекса — 2,5 миллиона квадратных метров, насчитывается 23,5 тысячи единиц оборудования, в том числе 346 автоматизированных линий. Длина конвейеров приближается к 300 километрам. Уровень общей автоматизации — 81,4 процента.

В деталях структура ВАЗа и КамАЗа не совпадает. Да это и не обязательно. Ведь родство этих гигантов не в том, что у них одинаковые заводы-составляющие, а в совпадении гораздо более важных черт, о которых мы говорили на протяжении всей книги.

Как и на ВАЗе, ни один из заводов-компонентов КамАЗа нельзя назвать главным; каждый из них играет важную роль в общем цикле производства и поэтому является главным. Приходится вновь повторять: деление на основные и вспомогательные производства, которое еще бытует у нас, категорически противопоказано комплексам и комплексному подходу. Ведь нельзя же сборочный завод или цех назвать основным, а литейный, без которого работа невозможна, так как литье может поступать с перебоями, вспомогательным.

Французский писатель Андре Ремакль, посетивший КамАЗ, писал: «Просто не знаешь, как правильно говорить, — завод или заводы, поскольку все 50 тысяч единиц технологического оборудования и станков от литейного цеха до сборочного служат одному: изготовлению грузовиков... И все же это заводы, поскольку у каждого своя особая роль, свои особые функции и своя дирекция...»

Первый из заводов — литейный. Он состоит из шести огромных корпусов; в четырех плавят чугун, сталь, цветной металл, в двух остальных выполняются все другие работы, необходимые для замкнутого технологического



цикла. Литейный завод поставляет макрокомплексу 550 тысяч тонн литья в год. Это гигантский объем, превышающий потребление многих отраслей. Включает он почти 400 тысяч тонн чугуна и 100 тысяч тонн стали.

В литейном производстве предусмотрена максимальная механизация работ, ни одна трудоемкая операция не выполняется вручную. А ведь литейное производство автоматизировать намного труднее, чем многие другие.

Вот еще несколько цифр, иллюстрирующих масштабы литейного комплекса. Девять печей выдают плавку каждые пять минут; расплавленный металл разливают в огромные резервуары, вмещающие по 53 тонны. Конвейеры транспортируют каждые две минуты 25 тонн металла; подвесной конвейер длиной 28 километров — целая железная дорога! — перевозит горячие отливки, охлаждая их по пути для отправки на склад.

Завод штамповки и обработки металлов также построен по принципу предельной автоматизации и механизации, хотя некоторые операции все же выполняются вручную. Производительность завода весьма внушительна, она достигает 300 тысяч изделий в год. Это примерно тысяча различных форм. Технологическую основу его составляет десять автоматических линий горячей штамповки металла...

Кузнечный комплекс КамАЗа размещается в пяти корпусах площадью 4500 квадратных метров каждый. Он считается самой большой кузницей Европы. Завод изготавливает шасси, мосты, кабины, рамы, днища — все необходимые части кузовов и еще детали 130 наименований. Новейшие технологические приемы, механизация и автоматизация, исключительно высокая организация обеспечивают значительное сокращение затрат в человеко-часах на тонну продукции. Этот показатель здесь несравненно ниже, чем где бы то ни было.

Основную тяжесть кузнечных работ выполняют прессы в 2—4 тысячи тонн. Это существенно повышает общую производительность и в конечном счете эффективность. При этом прессы не только штампуют или куят, то есть выполняют привычные функции, но и сваривают детали. Очевидно, что объединение всего этого разнотипного оборудования в единый четкий, слаженный механизм можно было осуществить только в виде комплекса.

И опять слово Андре Ремакю. «Прессы-гиганты из железа и стали, которые сплющивают, прессуют, валь-

цуют, изгибают, скручивают, закругляют, удлиняют, штампуют, производят огромное впечатление. Советские прессы-титаны мощностью в 4 тысячи тонн, японские прессы мощностью в 2 тысячи тонн и самые крупные, в 6 тысяч тонн, для штамповки рам, бельгийские прессы для штамповки деталей шасси, прессы ФРГ, прессы французские... Чтобы заставить эти гиганты работать, казалось бы, нужны Полифем и его циклопы, Гефест и его кузнецы, Кронос и его титаны \*. Но нет — ими управляет обыкновенный мужчина, а иногда молодая женщина, спрятавшая волосы под косынку...»

Завод двигателей КамАЗа, как мы уже сказали, должен производить невиданное количество дизелей — 250 тысяч в год, почти по 1000 в сутки! Это больше, чем выпускает сегодня такая передовая в автомобилестроении страна, как Италия. Завод состоит из двух корпусов, один из которых занимает площадь 450 тысяч квадратных метров. Длина этого корпуса-цеха превышает километр. Здесь установлено свыше 2000 высокопроизводительных автоматизированных станков и более 100 автоматических линий. Цехи завода производят впечатление почти безлюдных, поскольку большинство поточных линий автоматизировано. Но для обеспечения четкого и бесперебойного выпуска столь большого числа мощных двигателей, каждый из которых представляет собой сложную систему, мало иметь автоматические линии и хорошие станки. Необходима высочайшая организация, хорошее управление.

Читатель уже понимает, что и здесь, как на ВАЗе, важнейшее место должны занимать ремонтные работы и подготовка инструмента. Заводы-исполины такого масштаба, требующие высочайшей точности и ритмичности, не могут рассчитывать на подготовку инструмента и оборудования на стороне; им нужно свое специализированное производство, полностью удовлетворяющее собственные потребности. Здесь, на КамАЗе, это производство выросло в целый ремонтно-инструментальный завод — РИЗ, как его называют сокращенно.

---

\* Полифем — мифическое одноглазое существо, обладавшее огромной силой и ростом; Гефест — по греческой мифологии, бог огня и кузнечного ремесла. В отличие от других богов не проводил свою жизнь в пирах и празднествах, а любил физический труд. Кронос — один из вождей мифических титанов.

РИЗ — важнейший компонент макрокомплекса. Масштабы его внушительны: он занимает корпус 500 метров длиной и 200 шириной. Завод поставляет оснастку, режущий инструмент, измерительные приборы, вспомогательную аппаратуру и многое другое. Кроме того, он ремонтирует сложнейшее оборудование, включая электронное. По существу, РИЗ — это техническая база всего данного макрокомплекса.

Ввод в строй КамАЗа обеспечил запланированный прирост выпуска высокоэффективных грузовых автомобилей, столь необходимых нашему народному хозяйству. При этом само производство благодаря комплексу заводов в Брежневе также эффективно <sup>32</sup>.

Дальнейшее развитие грузового автомобилестроения, значительное повышение качества автомобилей и увеличение их выпуска предусмотрено Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. Вот выдержка из решений XXVI съезда КПСС:

«В автомобильной промышленности ускоренно развивать производство грузовых автомобилей с дизельными двигателями. Освоить выпуск новых высокоэффективных карьерных автосамосвалов особо большой грузоподъемности, самосвалов общего назначения и автобусов с дизельными двигателями, увеличить производство прицепов для автопоездов. Повысить топливную экономичность двигателей внутреннего сгорания за счет совершенствования их конструкции...»

Решение этих задач возможно только с помощью системного подхода к указанным проблемам. Большую роль здесь должны сыграть заводы-комплексы и комплексы заводов, созданные в нашей стране в годы предшествующих пятилеток.

## Комплексы: что дальше?

Ревнителю чистоты русского языка справедливо сетуют: слово «комплекс» стали употреблять всуе, часто совсем не к месту. Резон в этом, несомненно, есть.

Напомним: у нас идет разговор о технических комплексах, порождениях научно-технической революции.

Пока книга готовилась к изданию, пока рецензенты читали рукопись, а автор и редактор шлифовали текст и вносили необходимые поправки, время шло, и в мире производства, техники многое стремительно менялось. Изменился ли предмет нашего разговора? Не стало каким-либо иным отношение к нему? И другой вопрос: не возникли ли какие-либо новые тенденции, способные привести к изменению структуры и самого облика комплексов в будущем?

Ответ на первый вопрос однозначен. Роль высокоорганизованных больших систем в народном хозяйстве продолжает возрастать, а число их множится с каждым годом. Появились новые промышленные, транспортные, сельскохозяйственные, горнодобывающие комплексы. Однако возрастают и трудности. В ряде случаев достигнутый уровень не удовлетворяет потребности страны, а комплексность оказалась нарушенной.

Партийные документы последних лет настойчиво нацеливают на резкое повышение организации производства, внедрение достижений науки и техники, способствующих интенсификации производства. И, разумеется, на дальнейшее развитие комплексов. При этом особое внимание должно быть обращено на одновременный учет четырех ключевых критериев — технического уровня, времени, затрат, безопасности. В этом заключается один из принципов комплексного подхода, о чем подробно рассказывалось в книге.

Когда проектирующие, строительные и эксплуатирующие организации, опираясь на комплексный подход, используют перспективные открытия и изобретения, успехи налицо. Несоблюдение этих условий приводит к обратному. Не каждая новая идея или техническое предложение порождает плодотворную концепцию! Об этом с партийной прямоотой пишет наша печать. Вот свежий пример.

9 декабря 1984 года «Известия» писали о том, что строители стали широко применять в качестве утеплителей в перекрытиях и для внутренней отделки помещений полимерные материалы, посчитав их эффективными, экономичными, способными сократить продолжительность технологического цикла. Но по еще одному из четырех критериев они не выдерживают критики. Далеко не все полимерные материалы безопасны в пожарном отношении, причем многие из них характеризуются высокой скоростью распространения пламени и выделением высокотоксичных газов. Ясно, что рекомендации на их применение были выданы без должной проверки и достаточных оснований.

На второй вопрос жизнь тоже подготовила ответ. За короткий срок появились новые, весьма перспективные разработки и направления, которые могут изменить структуру и облик новых комплексов. Комплексы как техническое новообразование не есть нечто застывшее, они подвержены эволюции. Однако основное качество — получение прироста эффективности, строгое соблюдение всей четверки критериев должно осуществляться за счет комплексирования, объединения систем и функций, улучшения управления.

Важнейшими новыми направлениями являются микроминиатюризация вычислительной техники, внедрение так называемых мультиплексных связей, использование интегрированных компонентов, создание роботизированных комплексов.

Первые три направления должны рассматриваться как ответная реакция на бурный рост числа элементов в комплексах, увеличение числа их составных частей. Напомним (об этом рассказывалось в первой главе): если не будут приняты специальные меры, число элементов в суперсложных системах может достичь 15-, 30-значных чисел. Колоссальное количество элементов, даже строго упорядоченное в блоки, агрегаты и системы, способно породить новый грозный барьер — барьер численности и масштаба. Для столь больших объектов требуются огромные объемы, значительно возрастет число взаимосвязей, может снизиться надежность.

Можно высказать осторожное мнение (ведь исследование этого вопроса еще не проводилось): максимальное число элементов в комплексе должно ориентировочно составлять  $10^5$ — $10^7$ . Поэтому усилия в настоящее вре-

мя брошены на существенное снижение числа элементов и связей между ними, на уменьшение габаритов. Как диоды и триоды, заменившие лампы, совершили в свое время переворот в электронике, так микропроцессоры в ближайшее время изменят облик сложных систем и комплексов. Основой микропроцессоров служат предельно малые блоки и интегральные схемы, изготавливаемые по совершенно новой технологии. Каждый такой блок впитал в себя свойства многих элементов и заменяет прежний компонент, создававшийся путем монтажа сотен деталей.

Мультиплексные связи, использующие, кстати, ЭВМ, позволяют кардинально преобразовать многочисленные информационные каналы в системах и существенно уменьшить их общее число. При этом комплекс упрощается, а качество передачи информации и надежность заметно повышаются.

Еще одним весьма перспективным направлением следует считать создание так называемых интегрированных систем, в которых благодаря применению новых идей удастся одновременно осуществлять несколько функций. Это также должно позволить уменьшить количество компонентов комплекса, сделать его компактным, повысить эффективность. В качестве прообраза можно назвать броневую (не бронированный!) фюзеляж знаменитого в годы Великой Отечественной войны штурмовика Ил-2. Ведь там броня не накладывалась на конструкцию, а была именно ее интегрированным элементом.

Итак, налицо тенденция существенного снижения размерности больших систем. Большими они могут называться по уровню решаемых задач, количеству реализуемых функций, показателям эффективности, тогда как по размерам и числу элементов их следует уже причислять к «средним». Мы являемся свидетелями дальнейшего развития комплексов за счет использования прогрессивной технологии и передовых идей на базе проверенных принципов комплексирования и комплексного подхода. Но об этом подробно можно рассказать только в другой книге.

## П Р И Л О Ж Е Н И Е

### Краткий словарь важнейших понятий системотехники

При чтении книги читатель столкнулся с рядом сложных понятий, с терминами, либо неизвестными, либо в какой-то мере известными, но все же малопонятными. А ведь даже привычные слова, которые мы слышим или читаем ежедневно, оказываются, если вдуматься, не столь однозначными и ясными. Достаточно в качестве примеров указать на *комплексы* и *эффективность*.

Хотя книга эта — популярная, автор ее вынужден был использовать некоторые термины и понятия, без которых рассказ был бы однобоким и неестественным. Дело в том, что создание больших систем и комплексов сопровождалось, точнее, подкреплялось новыми дисциплинами, отпочковавшимися от могучего исходного дерева — кибернетики, родившейся в 40-е годы нашего века. К ним принадлежат системотехника и теория операций, о которых неоднократно говорилось в книге.

Развитие этих дисциплин породило большой «понятийный аппарат» — набор слов и понятий, необходимый специалистам. Но специфика комплексов состоит в их широком распространении, глубоком внедрении во все области народного хозяйства. Отсюда неизбежно проникновение в нашу речь связанных с ними понятий. Следовательно, нужно дать им точные и вместе с тем доступные и простые объяснения.

Можно было бы истолковывать каждый новый термин непосредственно в том месте, где он впервые вводился. Но редакция сочла более целесообразным сопроводить книгу кратким словарем. Хотя этот словарь включает лишь малую часть обширного понятийного аппарата, связанного с задачами разработки, постройки, испытаний и эксплуатации комплексов, он будет полезен читателю не только при чтении книги, но и в других случаях.

В словаре принята следующая система дополнительных пояснений. Все термины, которым посвящены отдельные статьи, набраны курсивом. Термины, не имеющие

самостоятельных статей и разъясняемые внутри более общей статьи, набраны разрядкой.

*Автоматизация комплексная* — внедрение автоматике во все звенья и взаимосвязи технической системы (завода, прокатного стана, корабля и т. п.). *А. к.* должна распространяться не только на управление, но и на такие области, как внутризаводской транспорт, энергоснабжение, получение информации, подсобные работы. В конечном счете должна значительно повысить *эффективность* объекта, свести затраты ручного труда к малой величине, обеспечить оптимальность и непрерывность технологических процессов. *А. к.* осуществляется на основе *системного подхода*.

*Возмущение* — действие на систему какого-либо фактора, способного нарушить ее нормальную работу. *В.* могут действовать как извне, так и изнутри системы. Они могут иметь не только физическую природу, но являться следствием отказов, а также ошибок и организационных недостатков. Различают *регулярные В.*, обусловленные определенными закономерностями, и *случайные*, появление которых можно прогнозировать лишь вероятностным образом. Сравнительно небольшие *В.* парируются собственной устойчивостью системы; в основном же для устранения действия *В.* должно использоваться управление, в том числе автоматическое.

*Декомпозиция* — важный этап системного анализа; сущность *Д.* сводится к расчленению сложного объекта в процессе проектирования или исследования на ряд функциональных частей, с тем чтобы, с одной стороны, упростить анализ, с другой — правильно выбрать структуру системы.

*Дерево целей* — схема, отражающая последовательность достижения всей совокупности целей, стоящих перед конкретной системой в процессе ее работы. Должна представлять как взаимосвязи и взаимодействия при достижении отдельных целей, так и противоречия, возможные при этих взаимодействиях. *Д. ц.* строится обычно по *иерархическому* принципу, в виде нескольких ярусов целей.

*Интенсификация (производства)* — существенное повышение основных показателей и резкое увеличение выпуска продукции при значительном снижении затрат труда и, как следствие, снижении числа работающих. *И.* осуществляется на основе применения более *эффектив-*



ных средств производства, комплексной автоматизации, прогрессивной организации труда, внедрения достижений науки и техники. *И.* — одна из причин создания технологических комплексов.

*Исследование операций* — прикладная наука, используемая для решения практических задач, связанных с улучшением организации, управления и разработок *сложных систем и комплексов*, в том числе таких, в которых участвуют большие коллективы. Рассматривает среди прочего конфликтные ситуации, в которых одна из сторон противостоит другой или стремится выиграть соревнование со «слепой природой». Сущность большого числа задач *И. о.* — поиск путей рационального использования имеющихся ресурсов для достижения поставленных целей или устранение «узких мест». Опирается на ряд смежных дисциплин: математическое программирование, теорию игр, теорию статистических решений и т. д. Главное в *И. о.* — *системный подход*. В силу ряда причин граница между *И. о.* и *системотехникой* пока еще четко не установлена.

*Исследование системное* — особый, интенсивно развивающийся вид исследований, применяемых при решении крупных проблем и рассмотрении сложных объектов. В отличие от традиционных видов исследований, направленных на решение отдельных, пусть больших, но все же частных вопросов, *И. с.* охватывает всю проблему, весь объект, весь узел вопросов. *И. с.* нацелено на оценку конечного эффекта в сочетании с анализом затрат и времени, потребных на решение проблемы или создание объекта. При исследованиях подсистем оценивается вклад каждой из них в достижение общего результата. *И. с.* учитывает множество факторов и *возмущений*, действующих на объект, а также случайный характер этих факторов. Важным средством *И. с.* служат системные модели; методологической основой *И. с.* являются *системный подход* и *теория исследования операций*.

*Комплекс* (народнохозяйственный, технологический) — объединение в единое целое ряда разнородных сложных и больших систем с целью решения крупной проблемы. Создание *К.* должно обеспечить значительный прирост эффективности. *К.* характеризуется высокой степенью автоматизации, существенным повышением надежности, точности, ритмичности, ростом производительности. Каждая система, входящая в *К.*, решает конкретную

функциональную задачу; за счет же объединения систем, использования многократного резервирования достигаются совершенно новые свойства. *К.* строится по *иерархическому принципу*. К числу проблем, возникающих при создании *К.*, относятся: обеспечение хорошей *стыковки* подсистем, создание надежного управления, обеспечение непрерывности технологических процессов и др.

*Критерии* — наиболее важные признаки или показатели, на основе которых производится окончательная оценка объектов и систем, осуществляется сравнение *эффективности* различных вариантов и в конечном счете принимается ответственное решение. Отнюдь не обязательно использование единственного *К.* *Системотехника* признает возможность применения нескольких *К.*, образующих систему и учитываемых одновременно. В ряде случаев возможно несколько различных систем *К.*, образованных на основе различных предпосылок.

*Моделирование* — получивший широкое распространение в последнее время вид исследования объектов и явлений с помощью разного рода моделей. *М.* бывает математическое (когда модель реализуется на ЭВМ), натурное (когда воспроизводятся в определенном масштабе реальные физические процессы) и полунатурное. При полунатурном *М.* в его проведении участвует человек-оператор. *М.* позволяет изучать объекты до их создания, допускает широкое изменение параметров с целью нахождения наивыгоднейших и обладает многими другими ценными свойствами. Является непременным условием разработки комплексов.

*Модель* — условный образ объекта, созданный для упрощения его исследования. *М.* отражает не все свойства объекта, а только те, которые признаны при ее построении существенными. Даже *средние системы*, не говоря о *сложных* и *больших*, а тем более *комплексах*, не могут быть подвергнуты анализу без использования *М.* Применительно к одному и тому же объекту может быть построено большое число различных видов *М.* Для исследования комплексов применяется система взаимосвязанных *М.*, дополняющих друг друга. Эти *М.* имеют *иерархическую структуру*.

*Оптимизация решения* — выбор с помощью специальных методов, включающих моделирование, таких параметров проектируемого объекта, которые обеспечивают

наилучшие значения одного из критериев при нахождении остальных (из принятой системы критериев) в допустимых пределах. Поскольку возможен выбор оптимизируемых критериев, оптимальные решения могут быть различными.

*Система вероятностная* — система, текущее состояние которой, так же как и конечные результаты, не может быть строго и однозначно рассчитано. Вследствие случайных *возмущений* состояние системы и конечные результаты могут изменяться в некоторых пределах. Поэтому речь может идти только о вероятностных оценках результатов. Представление сложных систем в виде *С. в.* является наиболее правильным. Однако их исследование требует более сложного аппарата.

*Система детерминированная* — система, текущее состояние которой, так же как и конечные результаты, строго и однозначно определяется начальным состоянием, воздействием окружающей среды и управлением. *С. д.* используется очень широко, однако для сложных систем применение их приводит к значительным ошибкам.

*Система техническая* — объединение воедино определенного числа взаимосвязанных элементов с целью получения новых качеств или решения конкретных технических задач. Несмотря на колоссальное разнообразие, *С. т.* обладают рядом общих свойств, что позволяет считать их единой, очень широкой группой объектов. *С. т.* характеризуются определенной организацией, наличием управления. По структуре *С. т.* могут быть *централизованными* и *иерархическими*. Ступенями структуры *С. т.* являются: *С. т.* — подсистемы — агрегаты — узлы — детали. Почти каждая *С. т.* может рассматриваться как некий элемент *С.* более высокого порядка, в то время как ее элементы сами представляют собой *С.* более низкого порядка.

По масштабам и организации *С. т.* можно условно разделить на 6 классов: элементарные ( $10$ — $50$  деталей), малые ( $50$ — $10^2$  деталей), средние ( $10^2$ — $10^4$  деталей), сложные ( $10^4$ — $10^7$  элементов), большие, или комплексы ( $10^7$ — $10^{30}$  элементов), макрокомплексы (более  $10^{30}$ ). Классы различаются не только числом элементов, но и количеством подсистем, взаимосвязей, а главное — целями. Повышение сложности, то есть создание систем более высокого класса, обу-

словлено стремлением получить качественно новые результаты. Естественно, что при этом возрастают затраты.

*Системный подход (анализ)* — метод исследования сложных объектов, а также решения крупных научных, технических и других проблем. Отправным принципом *С. п.* является рассмотрение объекта как системы взаимосвязанных частей, образующих единое целое. Именно цельность, единство и неразрывность позволяют получить ряд новых свойств, которые при слабых связях составных частей не реализуются. Одновременно с созданием системы может возникнуть ряд серьезных трудностей, учитываемых *С. п.* Так, подсистемы могут быть плохо *состыкованы*, взаимосвязи могут быть нарушены, на систему могут действовать сильные *возмущения* и т. д. *С. п.* предполагает, что система, ее части, а также взаимосвязи подвержены воздействию большого числа *случайных* факторов.

*С. п.* предусматривает изучение сложных систем в несколько этапов: постановка целей, выбор критериев, структуризация и *декомпозиция*, выделение определяющих факторов, проектирование подсистем и системы в целом, составление моделей, разработка эффективной организации и управления, проведение *экспериментов*.

В соответствии с *иерархией* построения систем *С. п.* предусматривает исследования на автономном уровне (когда изучается функционирование отдельных подсистем), системном уровне (рассматриваются несколько сопряженных подсистем, их взаимосвязи и управление) и полном уровне, при котором анализируется комплекс в целом.

*Системотехника* — прикладная наука, решающая широкий круг задач, связанных с проектированием, постройкой, испытаниями и эксплуатацией *систем и комплексов*. Рассматривает проблемы, обусловленные как свойствами составных частей, так и закономерностями функционирования объекта в целом (общесистемными проблемами). Изучает также особенности взаимосвязей в системах, анализирует последствия от действия каких-либо возмущений. Опирается на ряд смежных дисциплин, например теорию автоматического управления, математическую статистику, теорию информации, экономико-математические методы.

*Структура иерархическая* — определенный порядок расположения частей и элементов системы в виде некоей

«лесенки» — последовательности уровней от высшего к низшему. *С. и.* предполагает четкие взаимосвязи и подчиненность низших элементов высшим. Вместе с тем низшие элементы обладают и определенной самостоятельностью и собственным управлением. Средние и сложные системы, а тем более комплексы могут быть организованы только по иерархическому принципу, так как *С. и.* существенно повышает эффективность, надежность и устойчивость.

*Стыки элементов системы* — одно из наиболее уязвимых мест сложной системы или комплекса. Поэтому системный подход требует внимательного их изучения и принятия специальных мер по повышению их надежности.

*Эксперимент* (в системотехнике) — научно поставленный опыт с целью изучения системы, надежной ее оценки, сравнения с другими объектами, выбора рационального управления, определения особенностей и т. д. Для Э. характерны активное вмешательство (создание необходимой обстановки, изменение тех или иных факторов) и наблюдение за результатами с помощью специальных методов и средств. Различают *натурный Э.*, в котором участвуют реальные системы или их составные части в естественных условиях, и *модельный Э.*, производимый над моделью. Модельный Э. чаще всего реализуется с помощью ЭВМ.

*Эффективность* — наиболее общая, полная и компактная характеристика объекта. Используется на всех этапах разработки, испытаний и эксплуатации объекта для оценки, выбора параметров сравнения и в конечном счете принятия решений. Э. оценивается одним или несколькими критериями. В системотехнике различают *техническую Э.* и *полную Э.* Техническая Э. характеризует степень (меру) приспособленности объекта к выполнению заданных функций или достижения поставленных целей. Полная Э. учитывает четыре группы (системы) критериев: техническую Э. — безопасность — затраты — продолжительность.

## ЛИТЕРАТУРА

Публикации по затронутым в нашей книге вопросам и проблемам многочисленны. Здесь предлагаются книги, которые могут помочь читателям, пожелавшим глубже познакомиться с комплексами, методами их создания, а также с основами системотехники и теории моделирования.

Бинкин Б. А., Черняк В. И. Эффективность управления: наука и практика. М., Наука, 1982.

Браун Дэвид Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности. Пер. с англ. М., Машиностроение, 1979.

Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М., Наука, 1968.

Бусленко Н. П. и др. Лекции по теории сложных систем. М., Сов. радио, 1973.

Вентцель Е. С. Исследование операций. М., Сов. радио, 1972.

Гвишиани Д. М. Организация и управление. М., Наука, 1972.

Гуд Г. Х., Маккол Р. Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем. Пер. с англ. М., Сов. радио, 1962.

Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления. Л., Энергоиздат, 1982.

Коутиньо Дж. де С. Управление разработками перспективных систем. Пер. с англ. М., Машиностроение, 1982.

Лопатников Л. И. Экономико-математический словарь. М., Машиностроение, 1982.

Меерович Г. Ш. Анализ эффективности: принципы, критерии, опыт. М., Знание, 1979.

Моисеев Н. Н. Математика ставит эксперимент. М., Наука, 1979.

Научные и практические проблемы больших систем, Сб., под общей редакцией Гнеденко Б. В. М., Наука, 1971.

Семенов А. А. Вопросы эффективности энергетического производства. Л., Энергоиздат, 1982.

Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. Пер. с англ. М., Сов. радио, 1975.

## ССЫЛКИ НА ИСТОЧНИКИ

<sup>1</sup> Известия, 1982, 13 мая.

<sup>2</sup> Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. М., Сов. радио, 1975, с. 5.

<sup>3</sup> Правда, 1984, 24 февраля.

<sup>4</sup> Наш современник, 1972, № 2, с. 14.

<sup>5</sup> Приведенная классификация и критерии классов не являются еще установившимися. В «Теории больших систем управления» А. А. Денисова и Д. Н. Колесникова со ссылкой на Г. Н. Поварова выделено четыре класса систем: малые ( $10-10^3$  элементов), сложные ( $10^4-10^7$  элементов), ультрасложные ( $10^7-10^{30}$  элементов) и супер-

системы (более  $10^{30}$  элементов). Английский кибернетик С. Бир разделяет все системы на простые и сложные, то есть на два класса, используя при этом совсем иные критерии. Здесь автор, исходя из собственных исследований и анализа литературы, предлагает свою классификацию.

<sup>6</sup> Проблематика информационных систем, узловые моменты их развития (в современном понимании этого слова такие системы появились в конце 40-х годов) описаны в кн.: Темников Ф. Е. Теоретические основы информационной техники. Изд. 2-е. М., Энергия, 1979. А информационные «барьеры» описаны академиком В. М. Глушковым — см. его введение в кн.: Основы безбумажной информации. М., Наука, 1982.

<sup>7</sup> См.: Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР (до 1938 г.). М., Машиностроение, 1978, с. 231.

<sup>8</sup> Развитие авиационной науки и техники в СССР. М., Машиностроение, 1980, с. 61.

<sup>9</sup> Яковлев А. С. Цель жизни. Изд. 2-е, доп. М., Политиздат, 1968, с. 448.

<sup>10</sup> Развитие авиационной науки и техники в СССР, с. 66.

<sup>11</sup> См.: Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР. 1938—1950 гг. М., Машиностроение, 1978, с. 265—267; Пономарев А. Н. Покорители неба. М., Воениздат, 1980, с. 118—119; Яковлев А. С. Цель жизни, с. 465.

<sup>12</sup> См.: Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР. 1938—1950 гг., с. 231—232.

<sup>13</sup> Там же, с. 201.

<sup>14</sup> Пономарев А. Н. Покорители неба, с. 125—127.

<sup>15</sup> См.: Шавров В. Б. История конструкций самолетов в СССР. 1938—1950 гг., с. 267.

<sup>16</sup> Там же, с. 344—345.

<sup>17</sup> Там же, с. 227—229; Развитие авиационной науки и техники в СССР, с. 39—42.

<sup>18</sup> Покровский Б. Заре навстречу.— Правда, 1980, 12 июня.

<sup>19</sup> Вопросам моделирования посвящена обширная литература; две книги, по мнению автора, более или менее доступно написанные, приведены в списке рекомендуемой литературы; виды моделирования, используемые в авиационной практике, описаны в кн.: Миронов А. Д. и др. Задачи и структура летных испытаний самолетов и вертолетов. М., Машиностроение, 1982.

<sup>20</sup> Исследование в полете различных вопросов теоретического и практического характера на специально сконструированных летательных аппаратах либо на переоборудованных самолетах, планерах и т. д. существенно отличаются от обычных летных испытаний новых образцов авиационной техники. В 1932 году А. Н. Туполев по предложению М. А. Тайца — одного из основоположников советской школы летных испытаний и исследований — принял решение построить планер в качестве модели проектировавшегося тогда самолета АНТ-25. Планер был построен и успешно использован для проведения ряда аэродинамических исследований. Буксировал его самолет Р-5, а пилотировал летчик-испытатель Б. Н. Кудрин. Несколько очень важных летающих лабораторий было построено перед войной. Особенно существенно возросла роль таких лабораторий при переходе к реактивной авиации и создании авиационных комплексов. Подробно об этом можно прочитать в кн.: Развитие авиационной науки и техники в СССР (см. ссылку 8), с. 396—433.

<sup>21</sup> Статистические сведения об авиационных перевозках в мире публикуются в бюллетенях Международной организации гражданской авиации (ИКАО). Однако до 60-х годов суммарное количество перевезенных пассажиров не сообщалось, поэтому приведенные в книге сведения, относящиеся к 50-м годам, вычислены косвенно.

<sup>22</sup> История гражданской авиации в СССР. М., Воздушный транспорт, 1983, с. 311; Правда, 1984, 27 декабря.

<sup>23</sup> Экономическая газета, 1979, № 47.

<sup>24</sup> Бюллетень ИКАО, 1983, № 7.

<sup>25</sup> При желании более подробно познакомиться с описанием космодрома, ракетно-космической техники и т. д. следует обратиться к серии «Ракетно-космический комплекс» Воениздата. Серия включает книги, написанные большими авторскими коллективами и рассказывающие о космодроме (1977), ракетах-носителях и космических аппаратах (1983).

<sup>26</sup> Ежегодник БСЭ, 1970, с. 79; Экономика и организация промышленного производства (ЭКО, Новосибирск), 1976, № 1, с. 209.

<sup>27</sup> ЭКО, 1976, № 1, с. 212.

<sup>28</sup> Там же, с. 211—212.

<sup>29</sup> Известия, 1980, 20 августа; ЭКО, 1976, № 1, с. 75.

<sup>30</sup> ЭКО, 1976, № 1, с. 78.

<sup>31</sup> Там же, с. 78.

<sup>32</sup> Известия, 1980, 18 октября; Набережные Челны. Вып. III. М., Известия, 1979, с. 39—49.



## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| А. А. Манучаров. Читателям о книге . . . . .                  | 3   |
| Глава I. Мир комплексов и комплексы в мире . . .              | 6   |
| Глава II. От «летающих этажерок» к большим системам . . . . . | 39  |
| Глава III. Комплекс воплощается в металл . . .                | 91  |
| Глава IV. Комплексы и НТР . . . . .                           | 124 |
| Комплексы: что дальше? . . . . .                              | 179 |
| Приложение . . . . .  | 182 |
| Литература . . . . .  | 189 |
| Ссылки на источники . . . . .                                 | 189 |

## **Георгий Александрович Меерович** **ЭФФЕКТ БОЛЬШИХ СИСТЕМ**

Главный отраслевой редактор *В. Демьянов*  
Редактор *Н. Яснопольский*  
Мл. редактор *Н. Васильева*  
Худож. редактор *М. Гусева*  
Художник *А. Григорьев*  
Техн. редактор *С. Птицына*  
Корректор *В. Калинина*

ИБ № 7012

Сдано в набор 15.10.84. Подписано к печати 27.05.85 А 11257.  
Формат бумаги 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Бумага книжно-журнальная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 10,08. Усл. кр.-отт. 10,29. Уч.-изд. л. 10,73. Тираж 32 000 экз. Заказ 4-490.  
Цена 35 коп

Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 857710.

Киевская книжная фабрика, 252054, Киев-54, ул. Воровского, 24.

35 к.

# Эксперимент больших систем

ЗНАНИЕ