

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Процесс разработки концепций новых систем вооружения в соответствии с циркуляром А-109	1
Типовые подходы к определению стоимости и этапов раз- работки систем вооружения	9
Функционально-стоимостный показатель как фактор, опре- деляющий выбор системы вооружения	11
Проблемы повышения надежности и ремонтпригодности систем вооружения	14
Принципы организации материально-технического обес- печения в процессе разработки и применения систем вооружения	24

(ОБЗОРЫ И РЕФЕРАТЫ
ПО МАТЕРИАЛАМ ИНОСТРАННОЙ ПЕЧАТИ)

УДК 629.7.001.5

ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПЦИЙ НОВЫХ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ В СООТВЕТСТВИИ С ЦИРКУЛЯРОМ А-109*

Опубликование административно-бюджетным управлением США (ОМВ) в 1976 г. циркуляра А-109 по разработкам и приобретению основных систем вооружения положило начало серии эволюционных изменений процесса закупок, осуществляемых министерством обороны и другими федеральными ведомствами США**.

Циркуляр А-109 направлен на решение двух основных задач:

1. Уменьшить возможность аннулирования конгрессом договоров на приобретение систем вооружения, на разработку которых уже были затрачены значительные средства; для этого рекомендует:

процесс разработки и приобретения начинать с формулировки потребности в решении конкретной боевой задачи (MENS — Mission Element Need Statement);

исполнительный орган (например, министерство обороны) должен обеспечивать конгрессу соответствующую информацию о ходе выполнения программы как можно более часто, особенно на ранних стадиях осуществления программы.

2. Обеспечить, чтобы принятая система разработок и приобретения стимулировала промышленность на внедрение технических нововведений. Решение этой задачи основано на допущении о том, что в результате применения нововведений могут быть созданы более эффективные и (или) менее дорогостоящие системы, чем те, которым первоначально

было отдано предпочтение руководителями государственных программ.

Несмотря на то, что на разработку летательных аппаратов оказывают влияние все аспекты циркуляра А-109, в данной статье рассматривается только один конкретный вопрос: методика руководства министерством обороны исследованиями фирм, связанных с разработкой и закупкой систем вооружения на стадии определения концепции.

В циркуляре А-109 указано:

«... федеральные ведомства... должны формулировать потребности и цели программ с точки зрения решения конкретных боевых задач, а не с точки зрения намечаемого применения оборудования, чтобы стимулировать нововведения и конкуренцию при исследовании и разработке концепций альтернативных систем».

«Запросы о предложениях на разработку концепций альтернативных систем будут уточнять потребности в решении конкретных боевых задач, сроки, стоимость, технические возможности и эксплуатационные ограничения. Каждая из фирм, представляющих предложения, будет иметь право предложить свой собственный технический подход, основные конструктивные особенности предлагаемой системы и подсистемы, а также альтернативные варианты сроков, стоимости и технических возможностей. На стадии разработки концепции и дальнейших стадиях, до стадии разработки прототипа, контрактанты не должны быть жестко ограничены подробными правительственными инструкциями и стандартами».

Из приведенных цитат следует, что промышленности США в будущем будет даваться меньше частных директив со стороны правительственных руководителей по закупкам, чем это имело место в прошлом.

В соответствии с циркуляром А-109 и основными инструкциями, обеспечивающими его выполнение в системе министерства обороны, активное участие промышленности в процессе разработок и приобретения начинается после того, как принято первое решение (этап 0), т. е. в министерстве обороны утверждена формулировка MENS. В сущности MENS суммирует результаты анализа, проводимого ведомством, и показывает, что существует по-

* Schuetz A. J. The conceptual design process in the A109 environment: a case study. AIAA Paper N 80-1817.

** В публикуемых в настоящем номере «ТИ» рефератах статей руководящих работников министерства обороны и отдельных фирм США освещены мероприятия, проводимые в последние годы в системе министерства обороны при разработке систем вооружения с целью снижения стоимости всего цикла разработки и эксплуатации, сокращения сроков разработки этих систем, в частности самолетов, а также повышения их надежности и ремонтпригодности. Некоторые из этих мероприятий проводятся также в других отраслях национальной экономики США. В публикуемых статьях подчеркивается, что мероприятия, связанные с основными этапами разработки и эксплуатации, включая техническое обслуживание и ремонт, должны предусматриваться на начальных этапах проектирования и теснейшим образом увязываться с особенностями разрабатываемого проекта системы вооружения.

требность в новой системе вооружения, а затем определяет эту потребность с точки зрения поставленных боевых задач, целей и возможностей участвующих подразделений ведомства, сроков и стоимости, а также эксплуатационных ограничений. Обычно MENS излагается кратко, примерно на шести страницах, и содержит мало частных требований и количественных данных.

Завершением этапа определения (или формулировки) концепции, начинающегося после утверждения MENS, является подготовка документа о координированном решении (DCP — Decision Coordinating Paper), который должен служить основой для принятия следующего решения (этап 1). DCP включает описание программы, ее целей и исходных положений, краткое изложение стратегии закупок, альтернативных систем и программ и задач, влияющих на решение. Несмотря на то, что DCP ограничен по объему десятью страницами, к нему должна быть приложена обширная сводка подтверждающих данных.

Несмотря на опубликование очень подробных инструкций, интерпретация любой новой политической политики может подвергаться изменениям в различных ведомствах и даже в подразделениях одного ведомства. В журнале «Aviation Week and Space Technology» (от 26/XI 1979 г.) сообщалось, что министерство обороны и ВМС столкнулись с затруднениями при формулировке последовательного осуществления этой новой политики. В частности, при осуществлении процесса различных закупок, применявшегося в последнее время в ВМС, имели место значительные расхождения с точки зрения характера и степени детализации технических руководств, составляемых в дополнение к MENS. Таким образом, точный характер документов, которые должны представляться в соответствии с циркуляром А-109, пока еще окончательно не определен, но очевидно, что руководитель проекта в частной фирме при формулировке концепции должен научиться действовать инициативно, без привычных для него детальных руководств. В упрощенной форме формулировка контракта на определение концепции может представлять собой следующую задачу: исходя только из общей информации, содержащейся в MENS, определить все данные, необходимые военному ведомству, чтобы конкретизировать и успешно обосновать DCP.

В данной статье описан общий технический подход, примененный в процессе формулировки концепции военного самолета в соответствии с циркуляром А-109. Описание иллюстрируется примером недавно проведенных фирмой Локхид исследований по программе разработки концепции пат-

рульного самолета морской авиации (Maritime Patrol Aircraft — МРА). Этот пример выбран потому, что по нему имелись готовые данные, а также потому, что ВМС придерживались своей интерпретации циркуляра А-109, исходя вначале только из общего описания потребности в решении боевых задач.

Ниже кратко описан традиционный процесс определения концепций до введения циркуляра А-109, а затем дан обзор нового технического подхода к формулировке концепций военных летательных аппаратов, применяемого в соответствии с циркуляром А-109. Далее описывается и иллюстрируется примерами каждый из элементов нового подхода. В заключение приведены некоторые резюмирующие замечания.

На рис. 1 представлена схема традиционного процесса разработки концепций летательных аппаратов. Исходные данные для этого процесса, получаемые из внешних источников, например от заказчика, должны включать:

полезную нагрузку (количество и типы устанавливаемых на самолете объектов оборудования и вооружения), несъемное бортовое радиоэлектронное оборудование, число членов экипажа;

требования к характеристикам (скорость и высота полета, продолжительность патрулирования, дальность полета, маневренность и т. д.);

расчетные и технические ограничения (заданная расчетная стоимость разработки, требования к базированию или пригодность к эксплуатации с авианосца, условия жизнеобеспечения и отдыха экипажа, надежности и ремонтпригодности, сроки разработки, ограничения по техническому риску).

В соответствии с этими требованиями разрабатываются формулировки нескольких концепций компоновок, а в дальнейшем исследуются их варианты, отличающиеся различным расположением агрегатов, в частности крыльев, типом и количеством двигателей, применением перспективных материалов.

По мере того как рассчитываются размеры, вес, характеристики, а также стоимость каждой потенциальной компоновки, диапазон параметров вариантов сужается, а глубина исследования возрастает. Далее производится оптимизация геометрических параметров крыла (удлинения, толщины, аэродинамического профиля и т. д.), нагрузки на крыло, удельной тяги двигателя и других переменных. В результате этого процесса конкретизируется один предлагаемый проект. Однако, если исследования или анализ систем выявят возможности получения значительной выгоды, например снижения стоимости при небольшом смягчении одного или нескольких требований, тогда руководитель проекта может настаивать, чтобы заказчик пересмотрел первоначальные требования, т. е. в процесс вводится обратная связь.

Новый подход к определению концепций в соответствии с циркуляром А-109 значительно более сложен, чем традиционный. На рис. 2 приведена упрощенная схема нового процесса, а на последующих рисунках показаны более детально отдельные элементы процесса.

Ниже приведен перечень отдельных этапов процесса и соответствующих им задач.



Рис. 1. Традиционный процесс определения концепций летательных аппаратов

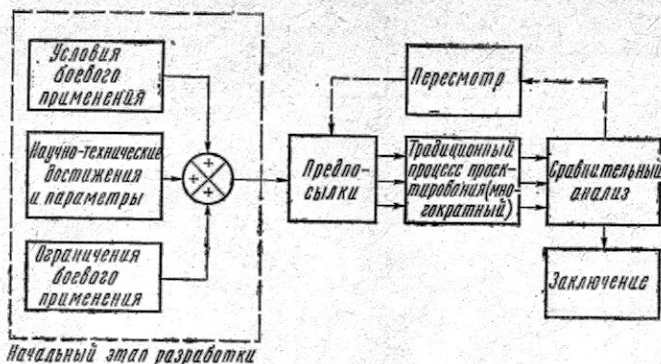


Рис. 2. Новый подход: общая схема

Начальный этап: исходя из наиболее упрощенного рассмотрения потребности решения боевых задач (MENS) и обоснования ее, сформулировать условия боевого применения и научно-техническую программу проектирования.

Вводимые предпосылки: ввести проектные предпосылки как заменители жестких требований (необходимо ввести несколько групп предпосылок, так как на начальном этапе процесс не может быть настолько точен, чтобы ограничиться одной группой предпосылок).

Традиционный процесс проектирования: осуществить процесс проектирования концепции, как показано на рис. 1, одновременно для нескольких компоновок, по одному проекту для каждой группы предпосылок (внутри процесса существует также линия обратной связи, отражающая дополнительный незначительный пересмотр предпосылок в соответствии с исследованиями по сравнительной оценке различных проектов).

Сравнительный анализ: оценить стоимость и эффективность каждого из результативных вариантов проектов и разработать порядок ранжирования их по функциональной стоимости, выделив несколько групп факторов равной эффективности.

Пересмотр предпосылок: пересмотреть группы предпосылок с целью уменьшения их количества, оставив те из них, у которых наблюдаются меньшие изменения от группы к группе, основываясь на результатах первой итерации. По основной линии обратной связи необходимо провести несколько итераций на этапе формулировки концепции.

Основной особенностью нового подхода является его итерационный характер, дающий возможность учитывать внешние факторы, некоторые из которых являются постоянными.

НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП РАЗРАБОТКИ

Начальный этап разработки концепции по новому методу изображен на рис. 3. Как было отмечено ранее, весь процесс начинается с формулировки MENS (потребности в решении конкретной боевой задачи). В примере исследования патрульного самолета МРА утвержденной MENS не существовало, но эквивалентная ей формулировка была уточнена в процессе заключения контракта и в последовательных предварительных проектах MENS. Целью исследований по программе МРА было определить концепцию перспективного патрульного самолета морской авиации берегового

базирования для замены самолета Локхид Р-3 с учетом изменяющейся международной политической обстановки и сил потенциального противника. Кроме того, в задачи исследования входило определение концепции перспективного самолета ПЛО берегового базирования следующей стадии совершенствования (ASW — Antisubmarine Warfare), а также определение дополнительной стоимости и эффективности применения на самолете систем вооружения против надводных целей (ASUW — Antisurface Warfare) и против воздушных целей (AAW — Anti-air Warfare).

По предложению фирмы Локхид система АAW подразделяется на два вида: с применением радиолокационного оборудования для дальнего обнаружения и управления (AEW&C — Airborne Early Warning & Control), как на самолете ВВС E-3A, и с применением наступательного ракетного оружия класса воздух — воздух (AAM — Air-to-Air Missile).

Все данные, касающиеся международной обстановки, и разведывательные данные (о состоянии развертывания военных сил и технические характеристики систем вооружения) должны быть обобщены в виде требований к условиям боевого применения с учетом типового глобального сценария военных операций.

Чтобы разработать план проведения конкретных анализов военных операций, необходимо определить концепции конкретных боевых задач (ОМС — Operational Mission Concepts), в которые должны быть включены некоторые более детальные сведения, чем предусматриваемые глобальным сценарием военных операций. Например, для случая самолета МРА была разработана подробная матрица ОМС. При выборе ОМС необходимо рассматривать два критерия: сумма концепций должна определить вероятный глобальный сценарий военных операций; они должны включать достаточное количество задач, чтобы использовать все потенциальные возможности разрабатываемой системы вооружения.

Ниже приведен примерный перечень наименований концепций боевых задач:

- исследование данных, касающихся наиболее удаленных зон боевых операций;
- разведка с целью предварительного определения зон возможных кризисных ситуаций;
- эскортирование торговых судов;
- операции по охране боевых соединений, включающих авианосцы;
- наступательные операции против надводных целей;
- постановка заграждений против подводных лодок, надводных кораблей и противовоздушная оборона;

- разведка подводных целей;
- наблюдение и преследование подводных лодок;
- эскортирование соединений НАТО.

Для оценки каждой концепции необходимы следующие данные: задачи вооруженных сил США, задачи потенциального противника, географическое положение возможных театров военных действий, состав вооруженных сил потенциального противника, состав вооруженных сил США, боевые задачи патрульного самолета, альтернативные варианты боевых задач патрульного самолета, предположительная частота боевых операций.

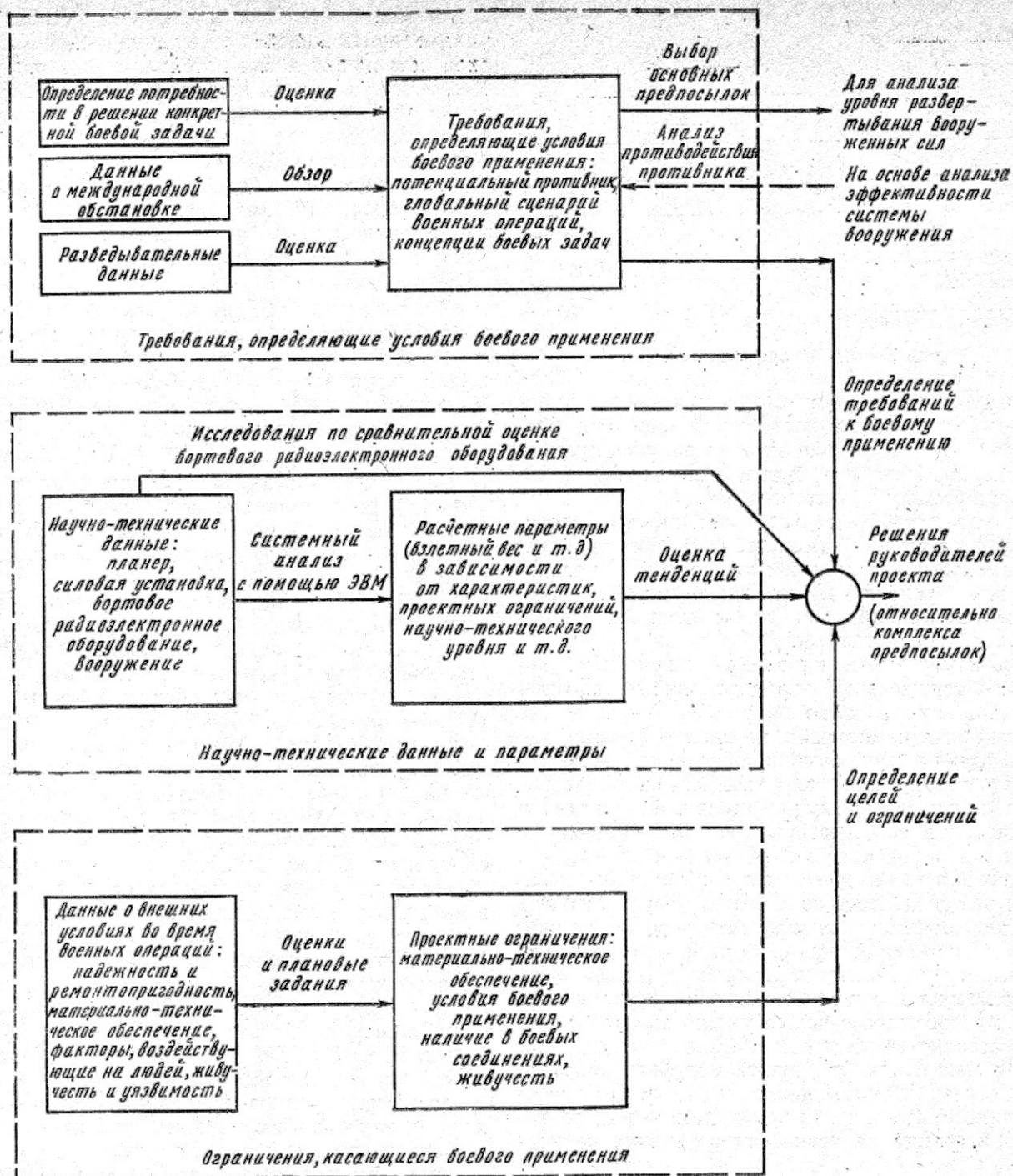


Рис. 3. Новый подход: начальный этап разработки

Существует обратная связь между анализом эффективности боевого соединения и анализом противодействия противника. Например, приобретение особенно эффективного патрульного самолета с системой ПЛЮ может повлечь за собой развертывание противником систем вооружения класса подводная лодка — воздух.

Научно-технические данные могут быть получены из большого количества технических изданий и на основе проведенных ранее исследований, причем некоторые из них дают возможность получить быстрое решение, а другие используются только как варианты параметров. Так как введение каждой дополнительной переменной требует увеличения необходимого персонала и машинного времени,

выбор параметров необходимо проводить очень тщательно. В исследованиях по программе МРА примерами такого дифференцированного подхода к решению технических задач могут служить следующие:

на основе проведенных ранее исследований был выбран усовершенствованный профиль крыла, который оставался постоянным в течение всего срока осуществления программы;

так как в качестве исходного варианта силовой установки был выбран перспективный турбовинто-вентиляторный двигатель (ТВВД), то силовая установка с ТРДД рассматривалась на различных научно-технических уровнях только как возможный вариант;

В качестве основной системы оружия было решено использовать ракету средней дальности класса воздух — поверхность (MRASM — Medium Range Air-to-Surface Missile) и перспективную ракету для перехвата класса воздух — воздух (AIAAM — Advanced Intercept Air-to-Air Missile);

варианты ракет «Гарпун» и «Феникс» рассматривались только при оценке технического риска.

После выбора научно-технических уровней и вариантов, потенциальных проектных ограничений и диапазона вариантов расчетных параметров должен быть проведен параметрический расчет на ЭВМ для того, чтобы установить количественные характеристики направления развития. При проектировании необходимо тщательно следить за изменением таких параметров, как быстрый рост размеров и стоимости самолетов при возрастании расчетной скорости полета до околозвукового диапазона. Пример параметрического изменения расчетных данных приведен на рис. 4.

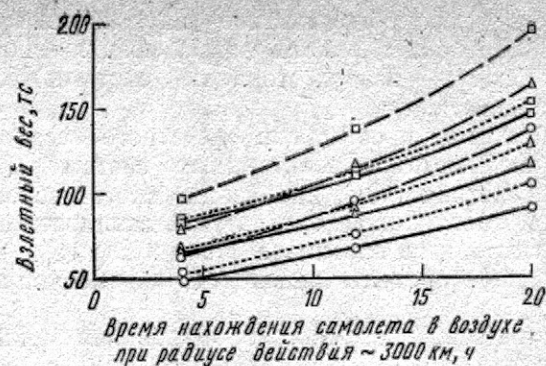
На этом этапе необходимо провести исследование по сравнительной оценке вариантов бортового радиоэлектронного оборудования, так как оно по значению равно планомеру и может подвергаться столь же многочисленным изменениям. Для некоторых особо важных радиоэлектронных систем, в частности РЛС, также должны быть проведены параметрические исследования.

Организации министерства обороны, занимающиеся закупками систем вооружения, уделяют все большее внимание на ранних стадиях разработки анализу таких факторов, как материально-техническое обеспечение, живучесть, наличие летательных аппаратов в боевых соединениях, эффективность боевых операций.

Например, оценкам наличия самолетов в боевых соединениях, их надежности при выполнении боевых операций, укомплектованности личного состава, техническому обслуживанию и потребности в запасных частях придается в новых документах о координированном решении (ДСР) такое же значение, как весу, дальности полета, скорости и т. п. Таким образом, факторы надежности и ремонтнопригодности, материально-технического обеспечения, живучести, возможности обнаружения и поражения, а также факторы, воздействующие на экипаж, должны быть определены уже на начальном этапе проектирования. Первое ограничение задач и исходных данных базируется на оценке и прогнозе условий боевых операций, и необходимо проводить уточнения их по мере осуществления проектирования и оценки возможности технической осуществимости поставленных задач.

ПОЛОЖЕНИЯ О ПРЕДПОСЫЛКАХ

Предпосылки являются требованиями и ограничениями, которые временно рассматриваются, как абсолютно жесткие, но должны периодически пересматриваться формально и логически в начале каждого последующего приближения в процессе исследования. Независимо от того, насколько точно были решены задачи на начальном этапе, сформулировать одну определенную группу требований к проекту почти невозможно. Поэтому для каждого приближения должно быть выбрано несколько групп предпосылок. При выборе предпосылок для первого приближения обоснованность их менее



Число М на крейсерском режиме: — 0,6; — 0,7; - - - - - 0,8.
Полезная нагрузка, кгс: ○ — 9100; △ — 15 900; □ — 22 700

Рис. 4. Пример результатов параметрических исследований (основная компоновка с четырьмя ТВВД)

важна, чем возможность их использования при разработке проектов, которые явятся исходными при последующих сопоставлениях и сравнительном анализе. На рис. 5 показано соотношение исходных предпосылок с другими этапами процесса проектирования при применении нового подхода.

При исследованиях по программе Локхид МРА в первом приближении было решено выбрать шесть групп предпосылок соответственно шести концепциям компоновок. Ниже приведен перечень названий этих предпосылок.

Концепции систем оружия:

- ASW,
- ASW/ASUW,
- ASW/ASUW/AEM&C,
- ASW/ASUW/AEM&C/AAW,
- ASW/ASUW/AAW,
- AEW&C/AAW в сочетании с ASW/ASUW.

Начальные данные к каждой концепции:

- крейсерская скорость;
- высота крейсерского полета;
- продолжительность полета при определенном радиусе действия, вес полезной нагрузки*;
- бортовое радиоэлектронное оборудование (РЛС, вспомогательная электронная аппаратура, система электронного противодействия и т. д.);
- установочные крепления электронного оборудования;
- экипаж (вес одного члена экипажа ~90 кгс);

* Следует иметь в виду, что одновременная детализация веса и характеристик предполагает, что уже имеются результаты сравнительных исследований и (или) параметрического анализа.



Рис. 5. Новый подход: применение предпосылок

расходуемое оборудование (акустические средства обнаружения, ракеты класса воздух — поверхность, воздух — воздух, торпеды, системы радиопротиводействия);

допустимое превышение расчетного веса; характеристики электронных систем* (дальность действия РЛС, диапазоны частот вспомогательной электронной аппаратуры, мощность системы электронного противодействия и т. д.);

задачи и пределы надежности и ремонтпригодности;

соответствие наземного оборудования заданным требованиям;

уровень шума в кабине и т. д.

Продолжая выбор предпосылок, можно начать анализы уровня развертывания вооруженных сил. Одна или несколько групп предпосылок, касающихся базирования самолетов, должны быть составлены в соответствии с глобальным сценарием военных операций. В примере с МРА в этом анализе были использованы три группы предпосылок, касающихся базирования самолетов:

12 баз (предполагается, что имеются базы только на территориях США и Англии);

20 баз (предполагается, что расположение баз остается таким же, какое существует в настоящее время для самолета Р-3);

34 базы (предполагается, что в случае необходимости в особо важных районах могут быть созданы дополнительные базы).

Зная расположение баз, допускаемые возможности каждого самолета по времени нахождения в воздухе и радиусу действия; частоты проведения и зоны всех боевых операций в глобальном сценарии военных действий и допускаемое наличие или использование каждого самолета, можно оценить требуемые уровни развертывания вооруженных сил в зависимости от эффективности одной системы вооружения. Было установлено, что задачи ПЛО являются определяющими требованиями для уровня развертывания вооруженных сил в исследованиях по программе МРА, так что расчетные уровни развертывания были преимущественно инвариантны по отношению к данной концепции системы, за исключением концепции применения комбинированных систем вооружения ASW/ASUW и EW&S/AAW.

На этом этапе процесса проектирования может быть исследована эффективность одной системы. Используя допущение, что возможности проектных концепций будут соответствовать поставленным требованиям, можно осуществлять анализ боевых операций. Некоторые из этих анализов должны включать параметрические варианты величин, которые трудно оценить точно.

Например, при рассмотрении результатов боя одного самолета МРА с одной подводной лодкой противника, оснащенной ракетой для поражения воздушных целей при запуске из-под воды (UAM — Underwater-to-Air Missile), параметрической переменной является вероятность поражения самолета ракетой при одном залпе с учетом характеристик самой ракеты и потенциальной эффективности

* Следует иметь в виду, что одновременная детализация веса и характеристик предполагает, что уже имеются результаты сравнительных исследований и (или) параметрического анализа.

средств радиопротиводействия на самолете МРА. При этом рассчитываются как вероятность уничтожения подводной лодки, так и вероятность потери самолета. За единицу эффективности МРА принята вероятность поражения или полного уничтожения лодки. На основе определения единицы эффективности каждой из концепций системы в условиях выполнения соответствующей боевой задачи можно осуществить расчет уровня развертывания вооруженных сил.

ТРАДИЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Как указывалось выше, традиционный процесс проектирования самолета продолжает оставаться основой нового уточненного подхода. Необходимо максимально использовать машинные методы проектирования, так как объем расчетов очень велик. Параметрические проектные исследования по программе МРА фирмы Локхид требуют расчета параметров по крайней мере шести концепций для каждого из трех приближений.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Основными факторами сравнительного анализа являются эффективность и стоимость одной системы. Взаимосвязь этих факторов показана на рис. 6.

Должна быть рассчитана стоимость каждой концепции проекта, включая вооружение и оборудование. В то время как для сравнительной оценки стоимости суммарная стоимость разработки и эксплуатации является обычным показателем, стоимости отдельных, ближайших по срокам осуществления этапов программ (исследований, разработок, испытаний и т. п.) часто также имеют важное значение.

В табл. 1 приведены некоторые данные о сравнительных проектных параметрах и сравнительной стоимости различных концепций, рассматриваемых по программе МРА при следующих исходных данных: крейсерская скорость соответствует числу $M=0,7$; время нахождения самолета в воздухе 4 ч; радиус действия 5740 км; диаметр фюзеляжа ~3,9 м.

Можно считать, что на данном этапе разработки проекта стоимость одной системы, ее эффективность и требуемые уровни развертывания вооруженных сил уже определены для каждой из предложенных концепций системы, но сравнение их не может быть произведено, так как все эти параметры являются переменными. Поэтому следующим этапом будет определение уровня вооруженных сил равной эффективности, обеспечивающих выполнение всех задач в глобальном сценарии военных операций. Например, по программе МРА в глобальный сценарий военных операций включены концепции таких боевых задач, как, например, преодоление заграждений, что требует применения систем дальнего обнаружения и управления (AEW&C — Airborne Early Warning & Control). Те концепции системы МРА, в которых, по определению, отсутствовала система AEW&C, были дополнены соответствующим количеством самолетов E-3, а те, в которых не было предусмотрено применение системы ПВО (AAW — Anti-air Warfare), были дополнены истребителями (F-15, F-14) или зенитными ракетами дальнего действия, включая запускаяемые с земли ракеты для поражения воздуш-

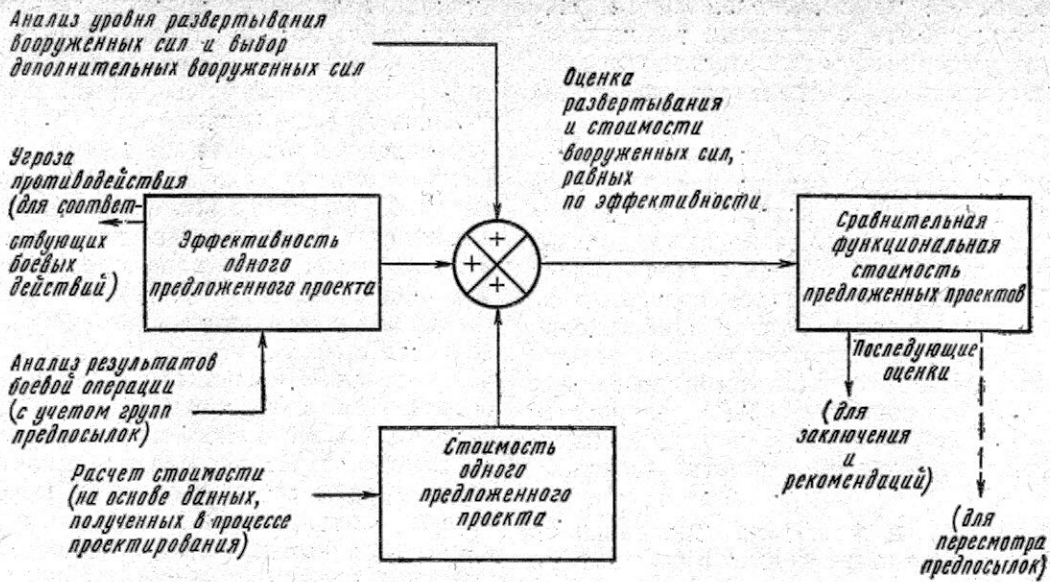


Рис. 6. Новый подход: сравнительный анализ

Таблица 1

Сравнительные проектные параметры и стоимости различных концепций, рассматриваемых по программе МРА

Концепция системы	Относительный вес полезной нагрузки	Относительный взлетный вес	Относительная стоимость разработки и приобретения	Относительная стоимость снаряженного самолета	Относительная стоимость разработки и эксплуатации
ASW	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ASW/ASUW	1,45	1,18	1,11	1,11	1,10
ASW/ASUW/AEW&C	1,82	1,32	1,51	1,55	1,41
ASW/ASUW/AEW&C/AAW	1,91	1,35	1,58	1,62	1,47
ASW/ASUW/AAW	1,55	1,21	1,17	1,19	1,16
AEW&C/AAW	1,02	1,05	1,28	1,30	1,20

Таблица 2

Пример сравнения систем по функциональной стоимости

Концепции системы МРА	МРА		Е-3А		F-14/F-15		Военные корабли, оснащенные ракетами		Относительная стоимость суммарных вооруженных сил	
	Количество самолетов	Относительная стоимость	Количество самолетов	Относительная стоимость	Количество соединений	Относительная стоимость	Количество кораблей	Относительная стоимость		
ASW	230	1,00	55	0,55	8	0,35	8	0,54	2,44	
ASW/ASUW	230	1,11	55	0,55	5	0,22	7	0,48	2,36	
ASW/ASUW/AEW&C	230	1,43	0	0	5	0,22	7	0,48	2,13	
ASW/ASUW/AEW&C/AAW	230	1,50	0	0	4	0,18	0	0	1,68	
ASW/ASUW/AAW	230	1,17	55	0,55	4	0,18	0	0	1,90	
Концепции комбинированных вооруженных сил	ASW/ASUW	230	1,44	0	0	4	0,18	0	0	1,62
	AEW&C/AAW	58								

ных целей (SLAT — Surface Launched Air Targeted Missiles). Должна быть определена также стоимость одной из указанных дополнительных систем, причем все стоимости рассчитываются по единой методике.

Наиболее эффективным по функционально-стоимостной оценке является тот из предложенных проектов, при применении которого суммарная стоимость вооруженных сил, необходимых для выполнения всех намеченных боевых задач, будет минимальной. Примеры результатов сравнения по функциональной стоимости во втором приближении приведены в табл. 2. Эти результаты свидетельствуют о том, что при применении комбинированных систем вооружения концепция МРА получается наиболее эффективной по функциональной стоимости. Однако здесь необходимо сделать несколько оговорок:

теоретические оценки стоимости, основанные на регрессивной модели, обычно имеют точность не более чем $\pm 5\%$;

глобальный сценарий военных операций, концепции боевых задач и анализы отдельных боев основываются на большом количестве допущений. Таким образом, сравнения по функциональной стоимости не должны применяться в качестве основы для окончательного заключения, пока не будут осуществлены несколько приближений и некоторые исследования на чувствительность системы к параметрическим изменениям. Однако такое сравнение указывает путь к пересмотру предпосылок, чтобы проверить меньше количество концепций, но на большую глубину.

ПЕРЕСМОТР ПРЕДПОСЫЛОК

После тщательной оценки результатов сравнительного анализа, многочисленных сопоставительных исследований и определения чувствительности к изменению параметров, которые осуществляются при каждом приближении, должны быть сформулированы уточненные группы предпосылок. Этап пересмотра предпосылок является удобным для оцен-

ки хода разработки проекта, технических направлений работ, затрат рабочей силы и т. д.

Некоторые сопоставительные исследования, которые осуществляются независимо от основного анализа функциональной стоимости, могут оказать существенное влияние на пересмотр предпосылок. Пример одного такого исследования показан на рис. 7. Целью этого исследования было определить наилучшие функционально-стоимостные параметры продолжительности полета самолета и радиуса действия системы МРА. Были произведены расчеты серии значений этих параметров для общего количества самолетов МРА, необходимого для выполнения задач ПЛО в глобальном сценарии военных операций, и оценки стоимости разработки и эксплуатации (Life Cycle Cost) для каждого количества самолетов. Этот последний параметр и является критерием стоимости, который необходимо минимизировать. Этот анализ был усложнен введением двух независимых параметров: количества имеющихся авиабаз и потенциального ограничения максимально допустимой продолжительности полета.

Варианты количества баз были 12, 20 и 34, как указывалось выше. Идея ограничения продолжительности полета состоит в том, что факторы, касающиеся экипажа, т. е. его работоспособности или расходования им различных запасов, могут препятствовать полету самолета при максимальной продолжительности полета и сравнительно небольшом радиусе действия. Значения потенциально возможной продолжительности полета составляют от 8 до 20 ч как с учетом ограничений, так и без них. Время от времени необходимо проводить существенный пересмотр предпосылок.

В соответствии с недавно высказанными суждениями представителей ВМС, в третьем приближении при осуществлении программы МРА рассматривалась только одна концепция с применением системы оружия ASW/ASUW. Это соответствует высказанной ранее идее о том, что в каждом последующем приближении должно рассматриваться меньшее количество концепций, но с большей глубиной анализа. Были сформулированы восемь групп предпосылок: основная группа, три уровня повышенной способности к самообороне, возможности увеличения и уменьшения крейсерской скорости полета с увеличенным и уменьшенным числом членов экипажа.

Восемь концепций, которые были разработаны на основе этих групп предпосылок, были затем использованы как исходные для сравнительного функционально-стоимостного анализа. Особое внимание было уделено самообороне; увеличение стоимости одного проекта при повышенной способности к самообороне было сопоставлено с изменением стоимости в результате износа, которому подвергаются самолеты во время показательных боевых операций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на ограниченном опыте применения описанного выше технического подхода, автор считает, что:

обобщенный технический подход к формулировке концепций военных самолетов с учетом условий закупок, установленных циркуляром А-109, уже

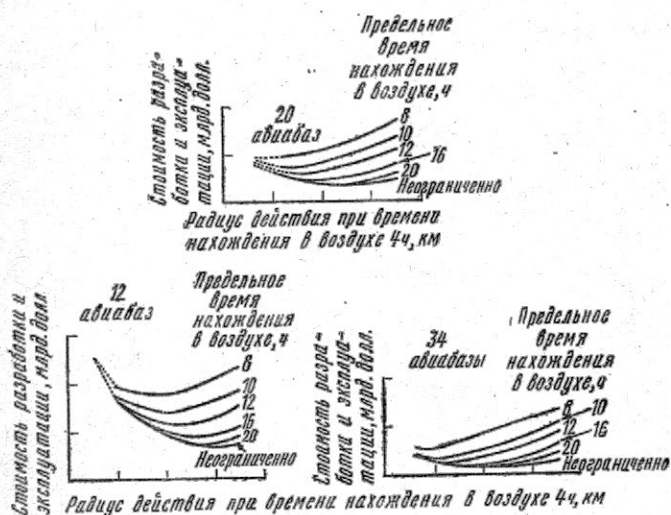


Рис. 7. Стоимость разработки и эксплуатации общего количества самолетов, состоящих на вооружении, в зависимости от радиуса действия, предельного времени нахождения в воздухе и количества авиабаз

разработан и подтвержден. Основными особенностями нового подхода являются:

1) определение задач начального этапа разработки системы, которые устанавливают направление дальнейшей работы;

2) применение итерационного процесса, включающего использование, вместо жестко установленных требований, предпосылок, которые подтверждаются периодическим пересмотром;

3) осуществление сравнительного анализа суммарной стоимости разработки и эксплуатации различных концепций систем вооружения, включая системы равной эффективности;

инженер-проектировщик летательных аппаратов должен использовать этот новый подход не один, а как член коллектива, включающего специалистов в области системного анализа, бортовых радиоэлектронных систем и вооружения, надежности и ремонтпригодности, живучести и возможности обнаружения и поражения, материально-технического обеспечения. Уже на начальном этапе разработки контрактант не должен ограничиться разработкой проблем, касающихся только планера и силовой установки, а осуществлять работы в области многих других дисциплин. Имеется очень мало самолетостроительных фирм, укомплектованных соответствующим образом кадрами для осуществления таких комплексных работ одновременно по нескольким программам;

процесс проектирования может стать гораздо более эффективным, хотя не обязательно лучше, если государственная организация-заказчик предоставит больше исходных данных по программе, чем это было сделано для рассмотренной выше программы;

несмотря на то, что приведенные в настоящей статье примеры относятся только к патрульному самолету ВМС, эта же методика может быть применена лишь с небольшими изменениями и к другим типам военных самолетов. Применение этой методики оказалось успешным, так как государственные организации-заказчики были удовлетворены результатами, полученными для рассмотренного примера. Но так как MENS для программы МРА не была утверждена, то эффективность сформулированной концепции еще нельзя оценить.

Как сказано выше во введении, в данной статье рассмотрен только один аспект циркуляра А-109: степень детальности руководства, осуществляемого министерством обороны на этапе формулирования концепции в процессе разработки новой системы вооружения.

Другие аспекты, выходящие за пределы данной статьи, но заслуживающие серьезного рассмотрения, включают:

недостаточность правительственных ассигнований на осуществление формулировки концепции. По традиции на этот процесс выделяется недостаточно средств, поскольку подрядчик ожидает, что эти работы будут производиться фирмой на собственные средства. Как указано выше, исследования, проводимые подрядчиком в соответствии с циркуляром А-109, должны быть более широкого масштаба, чем проводившиеся ранее; следовательно, их стоимость будет выше. Кроме того, в циркуляре А-109 указано, что «необходимо уделять большое внимание нововведениям и повышению конкурентоспособности», т. е. число фирм, работающих над формулировкой концепций каждой из систем вооружения, также должно быть увеличено. Сочетание этих двух факторов приводит к тому, что правительственные ассигнования на формулировку концепций окажутся еще более недостаточными, чем ранее, если только не произойдет какого-либо радикального изменения политики;

улучшение координации между министерством обороны и конгрессом, а также непрерывность выделения ассигнований в течение всего процесса разработки и приобретения новых систем вооружения.

Хотя циркуляр А-109, по-видимому, направлен на укрепление связей между исполнительными и законодательными органами, касающихся разработки и приобретения основных систем вооружения, тесной взаимосвязи между этапами принятия решений министерством обороны и выделением ассигнований конгрессом пока еще нет.

До тех пор, пока это будет иметь место, процесс закупок не будет эффективным и нельзя будет убедить подрядчиков в необходимости осуществлять исследования и разработки на свои собственные средства.

Референт М. В. Шмид.
Редактор Д. А. Гириберг.

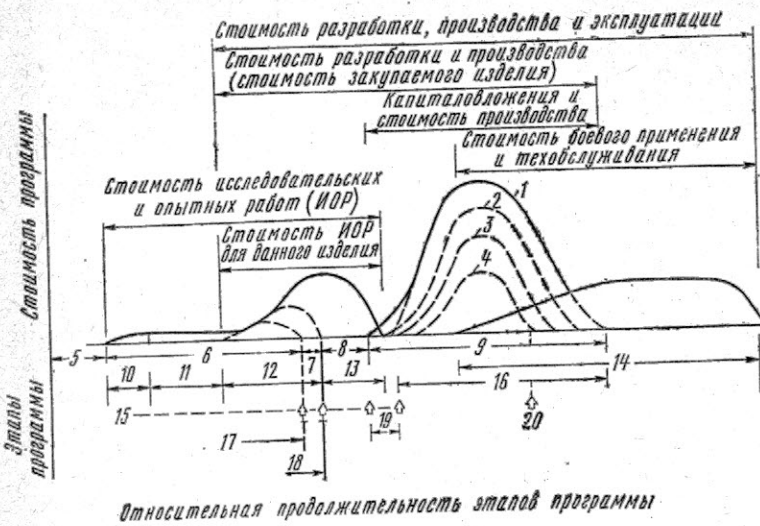
УДК 629.7.001.5.003.2

ТИПОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТОИМОСТИ И ЭТАПОВ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ

По заданию министерства обороны США было проведено исследование для анализа принципов определения стоимости всего цикла разработки и эксплуатации систем вооружения (LCC — Life Cycle Cost), начиная с формулировки концепции и кончая стадиями морального устаревания и снятия данной системы с вооружения. В основу исследования были положены разработанные министерством обороны директивы и инструкции, касающиеся применения этих принципов.

Сделана попытка учесть все факторы, влияющие на стоимость разработки и эксплуатации, и в графической форме дать качественные характеристики всех этапов и их относительной значимости по сумме затрат. На графике (рис. 1) изображен один из возможных вариантов осуществления программы разработки и эксплуатации новой системы вооружения.

График построен на основе допущения о том, что на все процессы, связанные с разработкой, тре-



1—закупочная стоимость; 2—стоимость системы вооружения (включая наземное оборудование); 3—стоимость снаряженного летательного аппарата, спроектированного в соответствии с заданной стоимостью (утвержденная министрством данного ведомства); 4—стоимость летательного аппарата без оборудования и вооружения, спроектированного в соответствии с заданной стоимостью (обусловленной контрактом); 5—планирование в организации (ведомстве), осуществляющей программу; 6—этап разработки концепции (технических требований, аванпроекта); 7—этап оценки параметров и характеристик; 8—этап разработки предсерийного образца; 9—этап серийного производства и эксплуатации; 10—фундаментальные исследования; 11—прикладные исследования; 12—разработка опытного образца; 13—разработка программы развертывания производства; 14—этап боевого применения и технического обслуживания; 15—этапы принятия решений в ASARC* и DSARC; 16—развертывание серийного производства в полном объеме; 17—составление документов о достигнутом соглашении и принятии координированного решения; 18—определение срока формирования первого боевого соединения и составление плана разработки; 19—начальный этап развертывания производства при небольших темпах выпуска; 20—начало формирования первых боевых соединений

* ASARC (Air Force Systems Acquisition Review Council) — совет по оценке разрабатываемых и приобретаемых систем вооружения ВВС США.
Рис. 1. Типовая диаграмма этапов разработки, производства и эксплуатации систем вооружения

буется 8—10 лет и на эксплуатацию системы также 10 лет. При построении его авторы исходили из того, что в процессе разработки отдельные этапы могут детализироваться, изменяться, уточняться и даже исключаться.

Считаются возможными два различных подхода к определению стоимости систем вооружения:

параметрический, основанный на анализе определения стоимости отдельных этапов осуществления программы разработки агрегатов и элементов системы;

детальный анализ отдельных этапов, исходя из современных данных.

Считается, что параметрический подход является пока единственным методом, который может быть применен на начальных стадиях проектирования. Но он неприменим для принципиально новых систем, так как требует частых пересмотров и обеспечивает получение обобщенных данных, касающихся только суммарной стоимости.

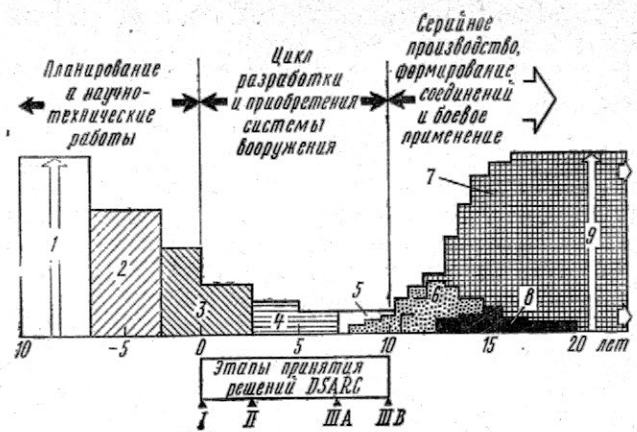
В качестве преимуществ детального анализа отмечено, что он:

может применяться как для отдельных агрегатов и подсистем, так и для различных стадий программы;

обеспечивает подробные данные для функционального сравнения различных предложений;

обеспечивает более точные оценки стоимости боевого применения и материально-технического обеспечения.

К недостаткам этого анализа относятся следующие:



1—количество исследуемых концепций (проектов); 2—прикладные исследования; 3—разработка опытного образца; 4—доводка опытного образца; 5—испытания и оценки в условиях боевого применения; 6—серийное производство; 7—боевое применение и техническое обслуживание; 8—усовершенствование серийных образцов; 9—количество самолетов, поступивших в боевые соединения

Рис. 2. Этапы разработки, производства и эксплуатации систем вооружения

он не может быть использован до тех пор, пока не получена подробная информация для проведения необходимых оценок и расчетов;

для подготовки и проведения оценок требуются большие затраты времени и средств;

при осуществлении оценок часто возникают значительные трудности;

часто требуется разработка крупномасштабных и сложных моделей [1].

Переход от этапа к этапу в процессе разработки и проектирования систем вооружения определяется решениями совета по оценке разрабатываемых и приобретаемых систем вооружения (DSARC — Defense Systems Acquisition Review Council).

Диаграмма, приведенная на рис. 2, характеризует последовательные этапы разработки новых систем во взаимосвязке с этапами принятия решений DSARC.

Основные этапы принятия решений соответствуют этапам разработки, начиная с первоначальной формулировки тактико-технических требований и связанного с ней решения о начале осуществления программы разработки определенной системы вооружения (этап 0)* — в конце этапа прикладных исследований, переходя последовательно к этапу I — примерно в середине разработки опытного образца, к этапу II — в начале доводки опытного образца и разработки предсерийного образца, к этапу IIIA — в начале эксплуатационных испытаний и оценок и к этапу IIIB — завершению разработки и связанному с ним решению о начале серийного производства [2].

* На рис. 2 (в оригинале) этап 0 не показан, но он предусматривается директивой 5000.1 министерства обороны.

1. Roberson C. F. Useful life cycle cost estimates for defense systems — an evaluation. Defense Systems Management School.

Study Project Report PMC 75—2, 36 p.

2. Astronautics and Aeronautics, 1977, v. 15, X, N 10, p. 32—34.

Референт М. В. Шмид.
Редактор Д. А. Гириберг.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТОИМОСТНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ВЫБОР СИСТЕМЫ ВООРУЖЕНИЯ

В последнее время в военной промышленности США в качестве одного из важнейших факторов, определяющих эффективность систем вооружения, принят наивысший функционально-стоимостный показатель, а также обеспечение приоритета при выделении ассигнований на разработку систем с такими показателями.

Этот комплексный фактор (affordability) отличается от получивших в настоящее время признание при оценке систем вооружения факторов надежности, боеготовности и ремонтпригодности (RAM—Reliability, Availability and Maintainability), хотя сочетание их также играет значительную роль в условиях резкого возрастания стоимости разработки и эксплуатации систем вооружения. Даже суммарная стоимость разработки и эксплуатации (Life—Cycle—Cost) не характеризует всю новую проблему, хотя так же, как и RAM, является важным фактором.

Новый комплексный фактор характеризует систему вооружения, которая при минимально возможной стоимости разработки и эксплуатации отличается наивысшей способностью решения боевых задач вне зависимости от рода войск, в котором она находит применение; в результате ей обеспечивается высокий приоритет при выделении ассигнований на разработку.

Предполагается, что сейчас необходимы большие усилия, чем когда-либо ранее, для комплексного обеспечения потребностей всех родов войск в системе министерства обороны. Во всех родах войск имеет место дублирование приобретаемой радиоаппаратуры, инерциальных навигационных систем, индикаторов, РЛС и многих других агрегатов и систем.

Совершенствуются требования к проектам систем, учитывающие приближение моделирования условий применения систем и их испытаний к эксплуатационным. Некоторые из этих усовершенствований обуславливаются увеличением количества имеющихся экспериментальных установок и установок, моделирующих боевые условия. Однако одновременно возрастает понимание трудностей применения систем (например, систем радиопротиводействия) в современных боевых условиях с учетом таких неблагоприятных условий, которые создаются преднамеренно, и таких, которые возникают естественным путем при плохих погодных условиях, особенностях рельефа местности, наличии пыли и других явлений на поле боя. Конечно, персонал, проводящий испытания в боевых условиях, существенно способствовал пониманию этих трудностей, что, в свою очередь, оказало благоприятное влияние на разработку проектов систем, испытания, тактику и подготовку персонала.

Уже достаточно давно уделяется внимание определению суммарной стоимости разработки и эксплуатации. Однако эта простая концепция не может эффективно использоваться, если стоимость не будет определена достаточно точно. Имеют место

случаи, когда стоимость приобретения превышает все расчетные оценки примерно на 100%.

Менее общепризнанными являются факты, свидетельствующие о том, что стоимость необходимого для создания современных систем вооружения наземного оборудования, а также стоимость боевого применения и технического обслуживания этих систем значительно возрастают.

Несмотря на имеющиеся существенные научно-технические достижения, их не всегда используют достаточно эффективно. Зачастую создаются системы с низкой надежностью, выпускаются некачественные запасные части, возникает необходимость заключения контрактов на вспомогательное оборудование с гражданскими организациями, применяется сложное, чрезмерно чувствительное к окружающим условиям экспериментальное оборудование. В результате имеет место исключительно интенсивное повышение стоимости боевого применения и технического обслуживания.

Обеспечение условия достаточного приоритета системы, чтобы на ее разработку выделялись необходимые ассигнования, связано с бюджетными ограничениями и приоритетами в масштабе США.

В пределах ограничений бюджета министерства обороны системы, на разработку которых выделяются ассигнования, выбираются путем сложного процесса, который длится по крайней мере один год до того, как проект бюджета будет передан на рассмотрение конгресса, и более полугода до утверждения законопроектов о новых ассигнованиях. Этот процесс включает составление меморандумов, определяющих целевые программы (POM—Program Objective Memorandum), и разработку бюджета, которые предусматривают последовательные циклы формулировки руководящих указаний министерства обороны трем ведомствам (ВВС, ВМС и армии) и заключений этих ведомств. Кроме того, президентом и административно-бюджетным управлением осуществляется анализ проекта бюджета до того, как он будет окончательно передан в конгресс. Затем конституционные требования об обсуждении в конгрессе обуславливают дальнейшие оценки и выбор систем, разработка которых будет финансироваться.

До начала этого процесса и во время его осуществления проводятся многочисленные исследования, на основе которых пытаются объективно определить, каковы потребности США и какие системы могут их удовлетворить наилучшим образом. Устанавливаются также непосредственные контакты между начальниками оперативных подразделений каждого ведомства, их министрами и министерством обороны для изложения их мнений и пожеланий.

Следует отметить, что промышленность играет ведущую роль при формировании взглядов военных ведомств, аппарата министерства обороны и конгресса. Промышленность излагает концепции, подходы к проектированию, осуществляет исследования

боевых условий и анализ систем, которые являются очень полезными, хотя объективность их результатов всегда требует критического подхода.

Для совершенствования применяемых в правительственных организациях методов определения наивысшего функционально-стоимостного показателя (affordability) может быть предложено несколько мероприятий.

Во-первых, может быть улучшено планирование. Должны учитываться проблемы долгосрочного планирования, допуская некоторый объем дублирования систем (считается, что некоторое дублирование даже приносит пользу) и последовательную разработку все более совершенных систем.

Во-вторых, можно оценить потребности США с точки зрения общей обороны и удовлетворить их с помощью наименьшего количества возможных типов систем вооружения. Этому мероприятию может существенно способствовать концентрация деятельности центров и лабораторий военного ведомства и его управлений, занимающихся разработкой систем. Решающим здесь снова является допущение некоторого дублирования разработок систем с тем, чтобы можно было обеспечить эффективность специализации, уменьшение технического риска и стимулирование работ без чрезмерного увеличения затрат.

В-третьих, следует добиться применения более гибких, усовершенствованных методов разработки и приобретения. Основные идеи циркуляра А-109 являются, несомненно, хорошими. Однако трудно или даже невозможно жестко внедрить эти идеи без того, чтобы разработанные процедуры оказались неэффективными, вызывали задержку выполнения программ, неоправданное дробление потребностей, которые должны рассматриваться комплексно, и затруднения при разработке модульных и многоцелевых систем.

Существует положение, позволяющее министру обороны не учитывать некоторые разделы циркуляра А-109, но тот факт, что такие отклонения допустимы лишь на столь высоком уровне, указывает на жесткость всей системы. Кроме того, даже эти утвержденные отклонения привлекают внимание контролеров как в исполнительных, так и в законодательных правительственных органах.

В-четвертых, в правительстве можно подходить более тщательно и требовательно к анализу концепций систем, связанному с реализацией заложенного в них технического риска, планов и программ, сроков и стоимости. Должны быть взаимоувязаны противоречивые требования, касающиеся необходимости срочности разработки, совершенства систем и продуманности проведения испытаний в боевых условиях.

Из года в год степень внимания к каждому из этих требований меняется. Совершенство системы является в настоящее время основным фактором при планировании программ, особенно при определении предпосылок для принятия положительного решения о серийном производстве. Несколько лет назад основным фактором в течение всего процесса разработки предсерийного образца были испытания в боевых условиях. Во время войны в Юго-Восточной Азии основным фактором были требования военных о срочной разработке систем.

В-пятых, необходимо требовать точные данные о стоимости. Каждый год министерство обороны пытается включить в бюджет на определенный год программы, которые были намечены на этот год предыдущим пятилетним планом. Многие из прежних оценок стоимости должны быть уточнены ввиду неточных предварительных расчетов, ввиду роста реальной стоимости или, наиболее часто в последнее время, ввиду роста инфляции. Последствия этого часто бывают болезненными: сроки реализации успешных разработок удлиняются, так как нет средств для осуществления закупок, устанавливаются неэффективные темпы развертывания производства, так как нет средств для закупки систем при эффективных темпах их выпуска, важные программы закупок прекращаются слишком рано или выносятся решение на этапе III о том, что серийное производство не будет осуществляться также из-за отсутствия средств.

Этот пятый пункт имеет прямое отношение к положению о приоритете системы, наиболее эффективной с функционально-стоимостной точки зрения. Но современные расчетные методы, использующие недостаточно точную информацию о стоимости, дают возможность довести большее количество систем до этапа III или даже до последующего этапа, чем реально возможно закупать с учетом фактической стоимости.

Промышленность также играет значительную роль в решении проблем, касающихся систем с наиболее высоким функционально-стоимостным показателем. Правительственные оценки стоимости зачастую отражают нереально низкие оценки промышленности и таким образом осложняют эти проблемы. Но более важно, чтобы промышленность изменила приоритетные критерии и уделяла бы больше внимания:

а) вопросам экономичности при приобретении и боевом применении систем;

б) обеспечению несложного, практически осуществимого технического обслуживания с минимальным использованием специального оборудования;

в) простоте, повышению прочности и возможности многоцелевого применения в боевых условиях.

Опыт последнего десятилетия может привести к выводу, что использование перспективных научно-технических достижений ведет к созданию дорогостоящих систем с низкой боеготовностью и реальными характеристиками, значительно ниже запланированных. Перед промышленностью США стоит задача добиться, чтобы этого не случилось.

В своем стремлении увеличить сроки эксплуатации существующих авиационных систем, а также в процессе проектирования, строительства и закупок новых систем ВВС сталкиваются с целым рядом проблем и ограничений, обусловленных как сокращением производственной базы, так и значительным ростом стоимости производства этих систем.

ВВС осуществляют анализ установившихся традиций, связанных с разработкой и закупками систем вооружения, на основе которого они пришли к выводу, что с устаревшими традициями надо бороться. Вместо того, чтобы обратить основное внимание на освоение новых научно-технических до-

стижений, наблюдается все возрастающее стремление к непрерывному улучшению существующих систем, что привело, в частности, к появлению нового понятия, сокращенно обозначаемого R²I (Preplanned Product Improvement) и означающего заранее запланированное совершенствование систем и создание новых лучших систем с меньшей стоимостью.

Основным требованием 1980-х годов, как заявил начальник отделения авиационных систем управления систем вооружения ВВС США генерал Скантце, является повышение производительности труда в промышленности, что считается основным фактором, обуславливающим достижение наилучшего функционально-стоимостного показателя систем (affordability), а также обеспечение для существующих систем максимально высоких характеристик и сроков службы в результате модернизации их посредством применения «лучших датчиков, лучшего вооружения, лучшей электроники и лучших систем связи».

Очевидно, что наилучший функционально-стоимостный показатель — это не случайно возникшее понятие, которое в скором времени выйдет из употребления. Последние анализы министерства обороны свидетельствуют о том, что общий ежегодный рост стоимости основных систем вооружения приближается к 20%, что обусловлено инфляцией, сокращением промышленной базы субконтрактантов, снижением объема продаваемой продукции и возрастающей нехваткой квалифицированных технических кадров.

Поскольку производительность труда и прибыльность производства снижаются в результате применения все более трудоемких операций, повышение их является одной из основных задач, определяющих возможность достижения наилучших функционально-стоимостных показателей. В частности, расширение применения перспективных методов формовки и склейки материалов (вместо более трудоемкой склейки), а также систем автоматизации производства является, очевидно, частью решения этой проблемы. Разработка новых материалов является другой частью решения проблемы.

Имеются факты, свидетельствующие о том, что методы производства композиционных материалов в настоящее время приближаются к такой стадии совершенствования, когда может быть осуществлен переход от дорогостоящих экспериментов к широкому применению этих материалов при изготовлении планеров летательных аппаратов всех типов. В настоящее время большие надежды, возлагавшиеся 20 лет назад на применение композиционных материалов, не оправдались в значительной степени потому, что производство композиционных материалов оказалось связанным с ручными процессами высокой трудоемкости.

Сложность проблемы заключается в том, что из-за слишком высокой стоимости производства композиционные материалы еще мало применяются, в основном только для обшивок летательных аппаратов. В результате же незначительного спроса на композиционные материалы промышленность не имеет стимула осуществлять капиталовложения на развертывание большого объема их производства. Поэтому отделение авиационных систем ВВС предоставляет начальные средства на проектирование

заводов по производству композиционных материалов с оптимальными характеристиками. Например, с фирмой Нортроп был заключен контракт на проведение функциональных исследований, связанных с созданием завода с широкой автоматизацией производственных процессов. Эти исследования стоимостью 2,2 млн. долл. должны быть завершены к сентябрю 1982 г.

Основной целью этих исследований является обеспечение эффективности производства и экономичности, которые обусловили бы заинтересованность в широком использовании композиционных материалов в конструкциях планеров летательных аппаратов. Очевидно, что потребуются затраты значительных средств при высоком техническом риске для организации перспективных заводов с автоматизированным процессом производства композиционных материалов. Возможно, что в данном случае объединятся усилия военной и гражданской авиации, и они совместно обеспечат необходимый капитал, как предполагает Скантце.

В настоящее время, по заявлению Скантце, применение композиционных материалов в авиационных двигателях не представляется перспективным. Однако в конечном счете такие композиционные материалы, как многослойные углеродо-углеродистые, разработанные для применения в соплах баллистических ракет, могут найти применение и для изготовления горячих элементов конструкций авиационных двигателей.

Другая область модернизации производства, которая, по мнению Скантце, имеет большие перспективы, — это объединение машинного проектирования и производства в единый непрерывный процесс. При объединении проектирования и производства может быть обеспечено оптимальное использование ЭВМ для разработки агрегатов и деталей. Помимо этого, поскольку процесс полностью автоматизирован, может быть обеспечено высокое качество изделий с точностью изготовления, близкой к 100%.

Стремление к модернизации промышленности летательных аппаратов и повышению ее производительности едва ли сможет быть реализовано, пока капиталовложения остаются на современном относительно низком уровне. Осложняет проблему и слабость производственной базы этой отрасли промышленности. Например, сенатская комиссия по вооруженным силам недавно вынесла суждение о тенденциях развития оборонной промышленности. Было заявлено, что «многие потенциальные поставщики оборонной материальной части все больше внимания уделяют контрактам гражданского назначения, которые обеспечивают им большую прибыльность и большую стабильность деловых операций, чем циклически меняющиеся программы министерства обороны».

Указав, что в настоящее время впервые со времени второй мировой войны производство гражданских самолетов превышает производство военных, комиссия отметила, что «сроки поставок всех систем вооружения обусловлены сейчас нехваткой поковок и литья, оптических систем, датчиков и полупроводников».

И последнее, о чем предупредила сенатская комиссия, — это «низкий уровень запасов стратегического сырья, в частности кобальта, титана и асбес-

УДК 629.7.017.1

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ

Вопросам надежности современных систем вооружения всегда уделялось большое внимание как создателями, так и заказчиками этих систем. Однако за последнее десятилетие решающим требованием в США было улучшение технических характеристик. Вместе с тем наблюдаемое в настоящее время сокращение покупательной способности, в частности применительно к системам вооружения, возрастающее значение фактора боеготовности и удорожание стоимости боевого применения современных систем вооружения поставили перед военным ведомством США задачу уделить особое внимание вопросам совершенствования проектирования и научно-техническим дисциплинам, которые смогли бы обеспечить повышение надежности этих систем.

В своем стремлении использовать быстрый научно-технический прогресс военные планировщики США постепенно улучшали боевую эффективность летательных аппаратов, что привело к чрезвычайному усложнению систем вооружения. В результате были созданы системы, которые успешно проходили приемочные испытания при предельных эксплуатационных нагрузках, но затем ставили сложнейшие проблемы перед эксплуатационниками и обслуживающим персоналом. В связи с возникшими трудностями производительность в промышленности летательных аппаратов снизилась, так же как и в других отраслях.

Проектировщики, работавшие главным образом в направлении обеспечения улучшенных характеристик, либо вспоминали о надежности в самом конце процесса проектирования, либо встречались с возрастающими трудностями, стремясь обеспечить комплексную взаимосвязку всех элементов очень сложных систем.

На стадии серийного производства в связи с возрастанием стоимости и удлинением сроков поставок технологи терпели неудачу в попытках обеспечить заданную надежность, а испытатели, несущие ответственность за проверку надежности серийных образцов, несмотря на проведение испытаний строго по установленному регламенту, зачастую получали результаты, не вполне соответствовавшие предъявляемым требованиям.

В последнее время руководящие работники министерства обороны и промышленности стали уделять больше внимания проблемам надежности. Все отчеты о ходе разработки систем вооружения, а также о факторах боеготовности должны обязательно включать сведения о надежности и ремонтопригодности [1].

В июле 1980 г. министерством обороны США была опубликована директива 5000.40, в которой сформулирована новая политика этого министерст-

ва в области надежности и ремонтопригодности систем вооружения. В директиве рассматривается фактор наличия в боевых соединениях готовых к применению систем вооружения как равный по значимости тактико-техническим характеристикам, а перед руководителями разработки будущих военных программ ставится задача, чтобы этот фактор предусматривался в системах вооружения с самого начала проектирования [2].

Кроме того, должны быть определены увеличение стоимости будущих программ разработки систем вооружения, обусловленное факторами надежности и ремонтопригодности, и те изменения, которые могут иметь место в процессе составления бюджета министерства обороны в результате выделения больших ассигнований для проведения увеличенного объема испытаний на надежность на ранних стадиях программ [1].

Документы, выпущенные организациями министерства обороны, и планы мероприятий, которые должны осуществляться отдельными ведомствами уже в соответствии с директивой 5000.40, было намерено передать заместителю министра обороны по ИОР в начале ноября 1980 г. [6]. Всего на разработку директивы 5000.40 потребовалось четыре года [2].

Такое смещение центра внимания министерства обороны с тактико-технических характеристик, являвшихся ранее единственным критерием эффективности систем вооружения, к оценке ТТТ в качестве только одного из требований в комплексе мероприятий, предусматривающих общее снижение стоимости разработки и эксплуатации, является эволюционным процессом.

Но, по мнению специалистов министерства обороны и промышленности, директива 5000.40 еще не представляет собой окончательного решения, как должны быть обеспечены необходимые усовершенствования новых систем при комплексной взаимосвязи надежности, ремонтопригодности и качества [2].

Руководителем разработки директивы 5000.40 в министерстве обороны полковником Суэттом были изложены принципы, положенные в основу этой директивы.

При составлении директивы основное внимание уделялось двум задачам:

первая — это обеспечение надежности и ремонтопригодности в боевых условиях. Результат решения этой задачи выражается в количестве фактически применяемых систем и видов оборудования, что представляет собой основной критерий для оценки надежности и ремонтопригодности во всех программах и проектах.

Каждое установленное в настоящее время или предлагаемое требование по надежности и ремонтпригодности должно быть оценено с точки зрения реального влияния его на оперативно применяемые системы;

вторая — минимизировать стоимость и сроки разработки и приобретения систем. Специалисты по надежности и ремонтпригодности обычно рекомендовали руководителям программ увеличивать ассигнования на решение этих проблем. Но в то же время руководители должны были снижать стоимость программ и сокращать сроки их осуществления. Поэтому возникла необходимость разработать программу, в которой предусматривается возможность изменения стоимости и сроков, чтобы была обеспечена высокая эффективность систем вооружения в полевых условиях.

Обе эти задачи являются двумя аспектами одной и той же цели: достигнуть максимальной эффективности затрат. Одним из самых эффективных методов применения функционально-стоимостного принципа является доведение системы до полной готовности, прежде чем начнется ее серийное производство и применение в боевых соединениях [3].

Согласно заявлению полковника Суэтта, директива 5000.40 представляет собой результат обобщения опыта, накопленного в государственных организациях и промышленности за последние 20 лет [4].

Директива представляет собой внутренний документ министерства обороны, который должен использоваться руководителями программ разработки систем вооружения в отдельных ведомствах.

Далее Суэтт конкретизирует следующие основные цели директивы:

повысить боеготовность систем вооружения и степень успешного выполнения боевых задач;

уменьшить стоимость технического обслуживания и материально-технического обеспечения в военном ведомстве;

сократить численность персонала, необходимого для обслуживания и материально-технического обеспечения усовершенствованных систем вооружения;

обеспечить руководителей министерства обороны информацией о характеристиках систем вооружения в боевых условиях;

обеспечить наилучшую эффективность затрат с

точки зрения боевой эффективности закупаемых систем вооружения.

Надежность и ремонтпригодность считались признанными факторами уже с 1950-х годов, но до недавнего времени они учитывались главным образом при рассмотрении возможностей улучшения характеристик систем, состоящих на вооружении. В результате часто случалось, что проблемы, связанные с надежностью, выявлялись слишком поздно, так что решать их приходилось только на серийных образцах или же путем экстраполяции результатов испытаний до тех пор, пока разрабатываемая система не удовлетворяла хотя бы минимальным требованиям военных стандартов.

По мере того как системы вооружения становились все более сложными, проблемы, связанные с их техническим обслуживанием, а также стоимость обслуживания приобретали все большее значение.

По заявлению Суэтта, технические характеристики систем и стоимость их разработки и эксплуатации считаются теперь факторами равного значения. «Для нас совершенно очевидно, что системы, состоящие на вооружении, не обладают достаточной надежностью и ремонтпригодностью в боевых условиях». Основной целью директивы 5000.40 является решить эту проблему путем включения факторов надежности и ремонтпригодности в процесс проектирования, разработки и производства систем вооружения, а также документально подтвердить соответствие установленным стандартам путем формирования серии требований к надежности, которые должны быть обеспечены руководителями программ с самого начала проектирования и разработки (рис. 1 и 2). «Мы пытались установить принцип, определяющий, что при испытаниях на ранних стадиях разработки, так же как и на всех последующих стадиях осуществления программы, отказ в процессе испытаний является положительным фактором, так как он выявляет неполадки, которые необходимо устранить», — заявил Суэтт. «Сами по себе испытания не повышают надежность. Устранение неполадок — вот что повышает надежность».

Согласно последовательности испытаний, установленной директивой 5000.40, руководители программ обязаны фиксировать ход осуществления программ на диаграммах, на которых должно быть показано, каким образом были устранены неполадки, выявляемые в результате испытаний на надеж-

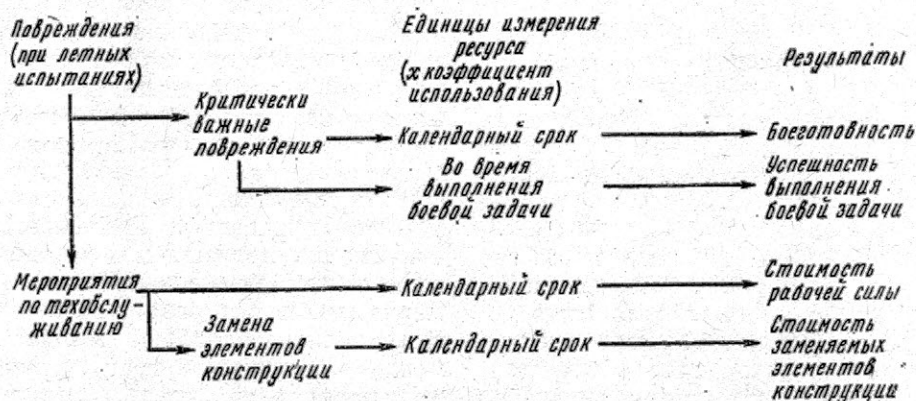


Рис. 1. Факторы, определяющие необходимость поверочных испытаний на надежность в соответствии с директивой 5000.40

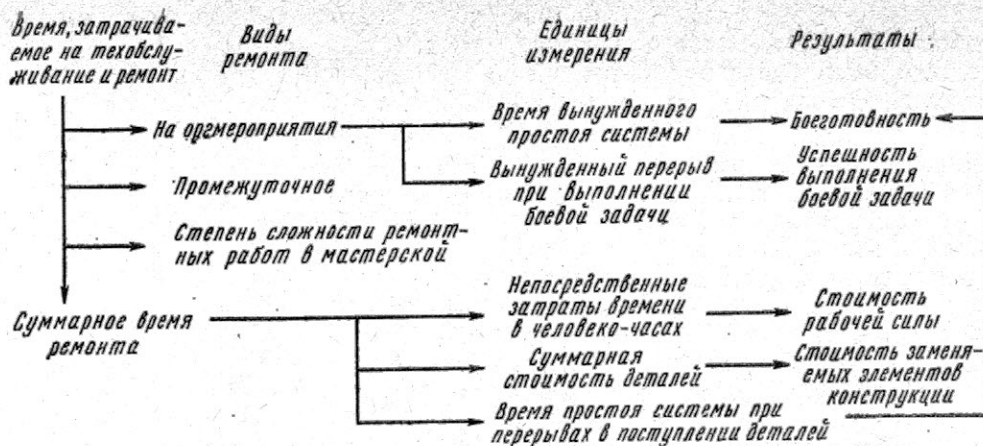


Рис. 2. Факторы, определяющие необходимость поверочных испытаний на ремонтпригодность в соответствии с директивой 5000.40

ность, проведенных на ранних стадиях разработки, и как это повлияло на увеличение средних сроков между повреждениями конструкций. Вверху диаграммы должны быть показаны желаемые технические характеристики, а внизу — минимально допустимые.

«При завершении третьего этапа программы, когда совет по оценке разрабатываемых и приобретаемых систем вооружения (DSARC) принимает решение о начале серийного производства, мы должны иметь ясное представление о том, как данная система удовлетворяет поставленным требованиям» [2].

Во время разработки системы не следует сосредоточивать внимание на каком-либо одном этапе. Необходимо осуществлять анализ всей программы, начиная с выбора основных материалов и до создания натуральных образцов и начиная от формулировки предварительных требований до конечного этапа разработки или снятия системы с вооружения.

Очевидно, что повышение надежности может иметь место на любой стадии разработки и применения системы. Оно зависит лишь от того, когда этому будет уделено необходимое внимание. Однако мало вероятно, что надежность системы может быть повышена на стадии боевого применения. Допуская, что иногда приходится решать эту проблему после принятия решения о серийном производстве на третьем этапе, если на более ранних стадиях недостатки и дефекты не были обнаружены, не следует считать, что это является неизбежным.

Задача повышения надежности не ограничивается этапами «испытания — анализ — устранение неполадок» (Test — Analyze — And — Fix) во время разработки предсерийного образца. Необходимо начать этот процесс гораздо раньше. В противном случае никогда не сможет быть обеспечена достаточная степень надежности только в результате увеличения объема испытаний.

Одной из концепций является повышение надежности от одной системы к следующей, более совершенной, когда опыт применения в полевых условиях предшествующей системы можно считать, в сущности, испытаниями, а устранение обнаруженных неполадок учитывается на стадии предварительного проектирования новой системы. До сих пор такой метод повышения надежности считается

наиболее эффективным с функционально-стоимостной точки зрения. Он назван «эволюционным методом» или «обеспечением надежности в процессе проектирования» (reliability by design).

Разработчик может учесть действительное повышение надежности в процессе проектирования только в том случае, если он будет знать недостатки предшествующей системы. Инженеры, работающие в области надежности и ремонтпригодности, должны обеспечить разработчику все необходимые данные для создания именно той системы, которая необходима. При выполнении рабочих чертежей разработчик не может использовать вероятностные требования к надежности системы. Он не может также использовать комплексные значения параметров надежности и ремонтпригодности для полевых условий, характерные для системы предыдущей стадии совершенствования. Он должен располагать замеренными значениями внешних эксплуатационных нагрузок, сведениями о типичных формах повреждений и иметь образцы аналогичных систем или их элементов, наиболее нагружаемых в процессе эксплуатации. Тогда он сможет начать проектирование новой системы с учетом недостатков предыдущей. От успеха его работы будет зависеть реальное повышение надежности.

В директиве 5000.40 сделана попытка установить взаимосвязи между эксплуатационниками и разработчиками и стимулировать повышение надежности системы вооружения от одной стадии совершенствования к следующей. Без обеспечения такой взаимосвязи невозможно осуществить эволюционное повышение надежности и анализ повреждений. Заложенную в проект степень надежности нельзя обеспечить, если использовать только нормативы, стандарты и расчетные данные в качестве основы при конкурсном проектировании и выборе окончательного варианта.

Для повышения надежности контрактант вынужден осуществлять резервирование, определять допустимые повреждения и предусматривать альтернативные применения систем. Учет таких факторов при проектировании повышает сложность систем, увеличивает общее количество деталей и элементов конструкций, требует проведения специальных мероприятий по техническому обслуживанию, замене деталей, увеличению количества необходимых запчастей и, следовательно, повышает сум-

марную стоимость разработки и эксплуатации. Это не только проблема проектирования, это относится также и к испытаниям.

Анализ, проведенный в боевых условиях, свидетельствует о том, что именно незначительные повреждения существенно влияют на стоимость технического обслуживания и затраты рабочей силы, хотя такие повреждения обычно не учитываются при проектировании, так как не являются критически важными.

Для подхода к решению этой проблемы на стадии проектирования необходимо сформировать две различные концепции надежности: кроме применяемого в настоящее время термина «надежность при выполнении боевой задачи» (mission reliability), следует ввести еще понятие «надежность с учетом технического обслуживания» (maintenance reliability), которое должно учитывать самые незначительные повреждения.

Иногда можно обеспечить повышение надежности в результате ремонта испытываемых образцов и замены поврежденных другими, аналогичными. Проблема состоит в том, что такое повышение надежности, осуществляемое на опытных образцах, не может быть автоматически перенесено на серийные. Таким образом, оказывается, что повышение надежности без внесения изменений в основной проект не является рациональным методом.

Существо этой проблемы заключается в том, что испытания не должны быть процессом случайного характера. Наиболее слабая деталь испытываемого образца всегда отказывает первой. Заменяющая ее деталь является случайно выбранным образцом из серии запасных частей. Это означает, что примерно одна из 10 000 замененных деталей окажется лучше прежней.

Логическим следствием этого факта является то, что необходимо заменить наиболее слабые детали до начала этапа испытаний, анализа и устранения неполадок (Test—Analyze—And—Fix) на уровне системы в целом. Это должно обеспечить начало повышения надежности на более высоком уровне, во время испытаний системы, и привести к значительному сокращению продолжительности испытаний.

Кроме того, становится очевидным, что точное моделирование условий боевого применения не является необходимым для испытаний на ранних стадиях разработки или в процессе исключения наиболее слабых деталей. Более важно, чтобы эти испытания выявляли типовые формы повреждений и их механизм.

В настоящее время проводятся работы по определению взаимозависимостей между уровнем напряжений и количеством отказов. Эти взаимозависимости необходимо знать, чтобы ответить на вопрос: «Какие величины напряжений достаточны для испытаний на повышение надежности?» Ответ на этот вопрос должны дать специалисты по определению внешних нагрузок, исходя из анализа опыта и условий боевого применения систем.

Необходимо также потребовать проведения испытаний в условиях боевого применения в начале стадии доводки опытного образца. До сих пор квалификационные испытания проводились непосредственно перед или после принятия решения о начале серийного производства. Это слишком поздно.

Исследования показали, что около 50% повреждений, вызванных воздействием внешних нагрузок, имеющих место в условиях боевого применения, были обнаружены во время испытаний при моделировании таких нагрузок, но устранить возможность возникновения этих повреждений было уже невозможно на этом этапе из-за недостатка времени и средств.

Поэтому в директиве 5000.40 указано: «Квалификационные испытания по определению воздействия условий боевого применения могут считаться законченными только тогда, когда все повреждения исправлены, приняты меры по предотвращению их повторения и все исправления испытаны и признаны эффективными».

Такие испытания должны производиться как можно раньше — желательно на стадии разработки опытного образца или в самом начале его доводки — до того, как образцы будут подвергнуты испытаниям и оценкам на начальной стадии боевого применения или квалификационным испытаниям.

Многие годы шла речь о моделировании нагрузок на начальной стадии разработки (frontend loading), т. е. о возможно более раннем выделении ассигнований на эти цели, чтобы избежать повышения стоимости разработки и эксплуатации на последующих стадиях всего процесса создания и применения систем вооружения. Теперь делается попытка улучшить характеристики надежности и ремонтпригодности в условиях боевого применения без увеличения стоимости и сроков разработки и приобретения. Одним из путей решения этой задачи является перенесение части капиталовложений со стадии испытаний при эксплуатационных нагрузках на более ранние стадии и подтверждение изменений в проекте, произведенных в результате испытаний, которые осуществлялись в процессе разработки. Иными словами, повышение надежности обеспечивает большую эффективность затрат, чем проверка на надежность (reliability qualification).

Испытания по проверке надежности (reliability assurance testing) являются продолжением процесса обеспечения качества; при этих испытаниях уделяется внимание напряжениям, обусловленным характеристиками внешней среды и продолжительностью или количеством циклов нагружения, при которых произошли повреждения. Обнаружению и исправлению повреждений следует уделять также больше внимания, чем получению данных для определения соответствия условиям контрактов. При испытаниях по проверке надежности точное моделирование условий боевого применения не является обязательным, но при приемочных испытаниях на надежность (reliability acceptance testing) оно необходимо. Это обуславливает значительные различия в стоимости экспериментальных установок, на которых проводятся эти испытания.

Испытания по проверке надежности можно определить как этапы испытаний, анализа и устранения неполадок (Test—Analyze—And—Fix) применительно к стадии производства. Они должны проводиться с учетом функционально-стоимостного подхода для системы в целом при максимальном внимании к устранению неполадок (т. е. к стадии «And—Fix»). И хотя это не повышает надежность данной системы как таковой, но способствует повы-

шению фактической надежности после поступления системы на вооружение. Как и в случае сопоставления понятий «повышение надежности» и «проверка на надежность», оба вида испытаний — по проверке надежности и приемочные испытания на надежность — являются необходимыми, но первый вид испытаний обеспечивает более высокую эффективность затрат.

На стадии формирования боевых соединений необходимо следовать тому же принципу: «Определить проблему и устранить ее». Это основная цель гарантии повышения надежности (reliability improvement warranty) [3].

С предложением другого, менее сложного метода повышения надежности систем вооружения выступил Уиллоуби, заместитель по надежности и ремонтнопригодности начальника управления материально-технического снабжения ВМС США, который в прошлом был руководителем в области надежности программы NASA «Сатурн — Аполлон».

Основным различием между методиками Уиллоуби и Суэтта является то, что по методике Уиллоуби фирмы должны сообщать ВМС, что они будут делать для повышения надежности систем, а по методике Суэтта промышленность должна получать указания о требованиях министерства обороны, касающихся методов обеспечения надежности [2].

Учитывая опыт программы «Аполлон», Уиллоуби также подчеркивает, что наилучшим путем улучшения технических характеристик в сочетании с надежностью является учет этого фактора с самого начала разработки систем вооружения [1].

После проведения оценки состояния всех основных систем вооружения в ВМС Уиллоуби и возглавляемая им комиссия пришли к выводу, что надежность большинства систем не соответствует даже минимальным нормативам, хотя все они прошли демонстрационные испытания на надежность по программам ВМС [2].

Для систем вооружения ВМС повышение надежности имеет особенно большое значение отчасти потому, что специфика базирования летательных аппаратов на судах заставляет это ведомство уделять большее внимание совершенствованию недостаточно надежного вспомогательного оборудования.

Применение внедряемого Уиллоуби нового принципа под кодовым названием «Новая точка зрения» (New Look) уже начало оказывать влияние на программы закупок систем вооружения ВМС. Истребитель F-18 и его двигатель F404 являются первыми крупными системами, в которых с самого начала разработки были учтены факторы повышения надежности [1].

По мнению Уиллоуби, новый принцип должен заставить контрактантов ВМС понять, что «необходимо добиваться улучшения методов проектирования, а не увеличивать количество испытаний, подтверждающих, что система является надежной».

Иногда приходится констатировать, что, несмотря на хорошее качество проекта, фирмы-контрактанты не могут обеспечить изготовление системы, отвечающей требованиям проекта, из-за отсутствия соответствующих технологических возможностей.

«Если полагаться на испытания, которые проводятся, когда компоновка уже окончательно утверж-

дена, то слишком поздно что-либо предпринимать для устранения выявленных недостатков», — заявил Уиллоуби.

Предусматриваемое директивой 5000.40 создание независимых групп для оценки испытаний на надежность, проводимых контрактантами, связано с возникновением новых проблем, так как большинство крупных фирм располагает собственными экспериментальными установками и персоналом для проведения испытаний.

«Если такая группа начнет осуществлять контроль на конечной стадии реализации программы, она не будет достаточно осведомлена о многих особенностях и деталях, которые известны персоналу, принимавшему участие в программе с самого начала», — заявил Райерсон, руководитель производственного отдела фирмы Хьюз, который работал в тесном сотрудничестве с Суэттом и Уиллоуби при разработке директивы 5000.40.

По мнению Суэтта, наиболее положительным аспектом директивы является то, что она уделяет внимание надежности как факту процесса проектирования, дает общее определение надежности и предусматривает использование характеристик надежности в полевых условиях при разработке будущих систем вооружения [2].

Основное определение термина «надежность» теперь расширено и включает не только сроки, но и повреждения, наличие которых обуславливается необходимостью ремонта конструкций. Кроме того, в понятие «надежность» включены факторы обеспечения запчастями и стоимости разработки и эксплуатации [4].

В качестве одного из основных уточнений в директиве 5000.40 приведены дифференцированные формулировки терминов «надежность» (reliability) и «надежность при выполнении боевых задач» (mission reliability).

Если термин «надежность» охватывает «все повреждения во всех случаях», то «надежность при выполнении боевых задач» касается только характеристик систем в течение времени выполнения конкретной боевой задачи [2].

«Надежность в боевых условиях» (operational reliability) является фактором такого же значения, как технические характеристики в боевых условиях.

В сущности, надежность — это технические характеристики, обеспечиваемые в соответствии с требованиями в течение заданного срока, при определенных нагрузках на конструкцию [4].

Определение термина «повреждение» (отказ) также упрощено и означает теперь, как заявил Суэтт, «любую характеристику, не отвечающую техническим условиям».

При прежних испытаниях на надежность, проводившихся по существовавшим ранее инструкциям, использование термина «допустимый отказ» (relevant failure) делало результаты испытаний неопределенными, так как невозможно было определить, кто несет ответственность за снижение установленных (стандартных) характеристик и оказывают ли эти характеристики влияние на надежность при выполнении боевых задач [2].

До пересмотра военного стандарта 781 в 1977 г. большая часть экспериментальных оценок надежности конструкций осуществлялась только в конце стадии разработки. За исключением тех случаев,

когда эти оценки являлись частью испытаний в условиях начальной боеготовности соединений, испытывались только первые серийные образцы вопреки принятому в министерстве обороны принципу «сначала совершать полеты, а затем принимать решение о покупке» («fly before buy»).

Принцип «независимых» демонстрационных испытаний гласит: «насколько это возможно, испытания, определяющие соответствие требованиям надежности и ремонтпригодности, должны осуществляться другими организациями, а не поставщиками, продукция которых должна быть оценена с точки зрения соответствия установленным требованиям». Такая формулировка соответствует принятым принципам проверки систем [4].

В директиве 5000.40 сделана попытка ответить на эти вопросы путем введения определения термина «возмещаемый» (компенсируемый). Если допустимый отказ считается фактором, от которого зависит боеготовность системы, то возмещаемый (компенсируемый) отказ — это фактор, взаимосвязанный с характеристиками, обусловленными контрактами.

Внедрение директивы 5000.40 потребует внесения некоторых существенных изменений в процесс военных закупок и, в частности, в порядок выделения ассигнований на осуществление программы разработки системы.

Согласно заявлению Суэтта, «в некоторых программах может оказаться предпочтительным переключать часть средств, выделяемых на закупки, на осуществление ИОР с тем, чтобы можно было устранить факторы, обуславливающие недостаточную надежность».

Новая директива дает руководителям программ возможность более четко определять требования, касающиеся надежности, применительно к данной программе и резервировать некоторую сумму на устранение возникающих неполадок [2].

В ВВС также внедряются подобные принципы повышения надежности. Один из специалистов по надежности в составе управления систем вооружения заявил: «Мы стараемся уделять больше внимания проблемам надежности. Проведенные исследования показали, что у нас имеются возможности это обеспечить, но в случае бюджетных ограничений в первую очередь обычно уменьшаются ассигнования на мероприятия, связанные с повышением надежности и ремонтпригодности».

За последние несколько лет в армии также начали уделять большое внимание надежности систем вооружения, особенно в связи с усложнением конструкции новых вертолетов. Когда был решен вопрос о выборе вертолета Сикорский УН-60 «Блэк Хоук», то в основу разработки программы его создания был положен опыт применения вертолета Белл УН-1 «Хью». В качестве основных факторов, которые учитывались при проектировании как вертолета УН-60, так и вертолета-штурмовика Хьюз АН-64, были приняты надежность и ремонтпригодность [1].

В NASA поиски критериев надежности привели к выводу, что соблюдение технических требований и технологический контроль являются лучшими методами обеспечения надежности, чем данные математической обработки результатов испытаний с мо-

делированием максимальных эксплуатационных нагрузок [2].

При обсуждении в конгрессе бюджета министерства обороны на 1982 б. г. также уделялось значительное внимание вопросам надежности и боеготовности систем вооружения. В частности, было отмечено, что:

все большую поддержку получает мнение, что разработку новых реактивных двигателей необходимо начинать независимо от того, имеется ли уже самолет для их применения или нет, так как решение проблем, возникающих в процессе разработки силовой установки, может потребовать до 10 лет;

комиссия по ассигнованиям палаты представителей при обсуждении законопроекта о бюджете министерства обороны потребовала, чтобы министр обороны подтвердил, что неполадки, обнаруженные при испытаниях истребителя F-18 и при его последующей аварии, должны быть устранены до того, как будет принято решение о начале развернутого серийного производства;

в сенате имели место возражения против того, что ассигнования, выделенные на закупку резервных запасных частей в качестве мобилизационного запаса, были использованы министерством обороны на закупку запасных частей для ремонта самолетов, уже совершающих полеты;

комиссия по ассигнованиям палаты представителей высказала возражения против того, что министерство обороны отказалось от концепции «fly before buy» (совершать полеты до решения о закупках) и закупает самолеты, результаты испытаний и разработки которых еще не обеспечивают оснований для решения о серийном производстве.

Некоторые влиятельные члены конгресса утверждают, что большинство членов конгресса еще не осознали, что обеспечение надежности должно быть заложено в системах вооружения с самого начала их проектирования, а не реализовываться от случая к случаю при установке запасных частей, когда система вооружения уже создана.

Один из этих влиятельных членов конгресса заявил: «Закупки дополнительных запасных частей — это только временное и частичное решение вопроса».

«Чтобы реализовать решение долгосрочной задачи об обеспечении надежности с начала проектирования, должны быть разработаны жесткие нормативы по надежности, должны проводиться продуманные испытания и тщательный контроль со стороны министерства обороны на различных уровнях — от руководителей программ до самых высших руководителей. Конгресс должен сначала требовать обеспечения удовлетворительных характеристик, а затем уже выделять ассигнования на закупки».

Предполагается, что комиссия по ассигнованиям палаты представителей при обсуждении бюджета министерства обороны на 1982 б. г., как и в предыдущем году, потребует заверения министра обороны в том, что нормативы по надежности, боеготовности, ремонтпригодности и долговечности, обусловленные контрактами на осуществление программ, будут обеспечены до заключения контрактов на закупки.

Наиболее часто при обсуждениях в конгрессе упоминались две проблемы: чрезмерная сложность

Показатели боеготовности истребителей

Самолеты	Сложность конструкции и обслуживания	Количество самолетов, не готовых к выполнению боевых задач, %	Среднее количество летных часов на один отказ	Потребное количество ремонтов на один полет	Потребные трудозатраты на ремонт и техобслуживание, чел.-ч/полет.
ВВС					
A-10	Низкая	32,6	1,2	1,6	18,4
A-7D	Средняя	38,6	0,9	1,9	23,8
F-4E	Средняя	34,1	0,4	3,6	38,0
F-15	Высокая	44,3	0,5	2,8	33,6
F-111F	Высокая	36,9	0,3	9,2	74,7
F-111D	Высокая	65,6	0,2	10,2	98,4
ВМС					
A-4M	Низкая	27,7	0,7	2,4	28,5
AV-8A	Низкая	39,7	0,4	3,0	43,5
A-7E	Средняя	36,7	0,4	3,7	53,0
F-4J	Средняя	34,2	0,3	5,9	82,7
A-6E	Высокая	39,3	0,3	4,8	71,3
F-14A	Высокая	47,1	0,3	6,0	97,6

бортовых электронных систем и трудности с устранением погрешностей в системах математического обеспечения ЭВМ.

Отмечается, что конгрессмены согласны ожидать, когда бортовые электронные системы будут усовершенствованы, поэтому они менее склонны давать согласие на приобретение тех систем вооружения, функционирование которых в большой степени зависит от ЭВМ.

«Это новый фактор, который может создать очень серьезные проблемы, решение которых еще не найдено», — заявил один из влиятельных конгрессменов. Он подчеркнул, что тщательная проверка таких сложных программ, включающих применение ЭВМ, с учетом всех возможных вариантов условий боевого применения является исключительно трудной.

В ответ на вопрос, при применении каких систем возникали наибольшие трудности, некоторые из конгрессменов отметили двигатели для самолетов F-14 и F-15 (табл. 1).

Один из членов палаты представителей подчеркнул, что имеется много хороших правил, касающихся закупок новых систем, но для претворения их в жизнь нужны постоянные квалифицированные кадры [5].

По предположениям наиболее крупных фирм, выпускающих военные самолеты, возрастающий интерес министерства обороны к надежности и ремонтнопригодности систем вооружения найдет отражение в большом объеме документации по этим проблемам и требованиям к испытаниям, проводимым на ранних стадиях разработки.

Эти расширенные требования будут реализованы в результате роста ассигнований на осуществление будущих программ, которые, как надеются военные планировщики, обусловят снижение суммарной стоимости разработки и эксплуатации.

Представители министерства обороны считают, что улучшение надежности и ремонтнопригодности будущих летательных аппаратов обеспечит в дальнейшем непосредственное повышение боеготовности в полевых условиях при пониженной стоимости боевого применения. В результате этого будет также уменьшена потребность в кадрах эксплуатационников и необходимом материально-техническом обеспечении.

Мероприятия, осуществляемые по программе разработки современных военных самолетов, таких как F-16 (ВВС) и F-18 (ВМС), отражают заинтересованность промышленности и военного ведомства в повышении надежности и ремонтнопригодности.

Американские самолетостроительные фирмы предполагают, что опубликованная в июле 1980 г. директива 5000.40 окажет влияние на будущие программы разработки летательных аппаратов. Промышленники не считают, что потребуются существенное изменение характера контрактов, касающихся осуществления новых программ, тогда как эксперты фирм по надежности поддерживают концепцию об уделении большего внимания вопросам надежности и ремонтнопригодности на ранних стадиях разработки.

Согласно заявлению Кэртиса, вице-президента фирмы Дженерал Дайнемикс и заместителя руководителя программы разработки самолета F-16, надежность и ремонтнопригодность готового самолета нельзя обеспечить в результате испытаний, а самолет должен строиться уже с учетом этих качеств.

«Чтобы обеспечить надежную систему, необходимо затратить средства и усилия на начальных этапах разработки», — подчеркнул Тодт, вице-президент фирмы Макдоннелл-Дуглас по обеспечению

качества. «Мало что можно изменить после того, как система спроектирована».

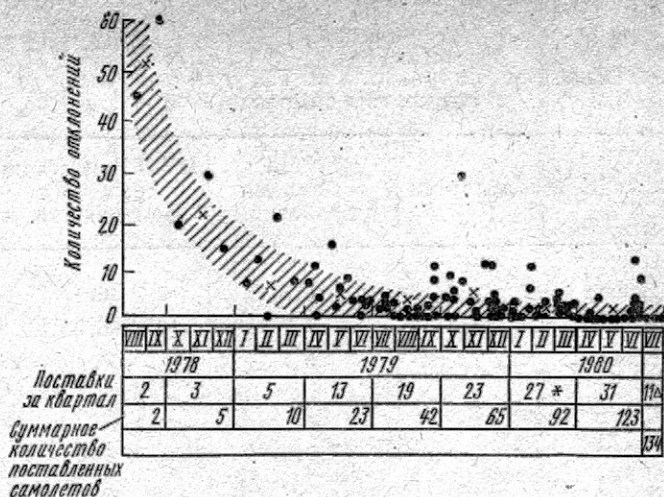
Харди, инженер, участвовавший в доводке самолета F-16, отметил, что директивой предусмотрены почти такие же испытания, какие были проведены на самолете F-16: испытания на надежность в процессе разработки контрактантом предсерийного образца и, возможно, специальные испытания элементов конструкции, наиболее интенсивно нагружаемых в процессе боевого применения. Для специальных испытаний были выбраны те элементы, которые являются критическими с точки зрения успешного выполнения боевых задач или с точки зрения безопасности полетов. «На примере F-16 мы поняли, — заявил Харди, — что хотя испытания на надежность обходятся дороже, чем ранее проводившиеся, но они являются весьма результативными».

Надежность самолетов определяется частично качеством их изготовления. Строгий контроль ВВС при приемке в сентябре 1980 г. 150 серийных самолетов F-16 показал, что 54 из них не имеют отклонений от проектных нормативов, как сообщили представители фирмы Джeneral Дайнэмикс. Среднее количество отклонений, обнаруженных приемщиками, постепенно уменьшалось по мере увеличения количества поставляемых самолетов, за исключением резкого скачка вверх во второй половине 1979 г. Этот скачок отразил первоначальные поставки самолетов серии «Блок 05», отличающихся некоторыми модификациями проекта (рис. 3).

Программа разработки самолета F-16 включала проверку на надежность, которая предусматривалась в контракте под названием «план осуществления программы по надежности». Этим планом были определены мероприятия по обеспечению надежности, которые контрактант должен был осуществить на стадии разработки предсерийного образца самолета F-16, и предусматривалось, чтобы работы по повышению надежности продолжались и на стадии серийного производства. Характеристики надежности истребителей F-16 фирмы Джeneral Дайнэмикс возрастают по мере приработки деталей в процессе эксплуатации самолета и лучшего освоения его персоналом ВВС. Уменьшение среднего количества повреждений на 1 ч летного времени здесь следует классическому графику освоения (learning curve), согласно которому время выполнения поставленной задачи уменьшается, асимптотически приближаясь к какому-то пределу, по мере того, как количество решаемых задач возрастает.

В качестве численного показателя было принято среднее время полета между повреждениями (MFTBF); этот показатель определяется как суммарное время полета, деленное на суммарное количество повреждений, обнаруженных в полете и на земле. Показателем MFTBF выражается характеристика надежности с точки зрения необходимого технического обслуживания.

Заданный показатель надежности MFTBF (Mean Flight Time Between Failures) для самолета F-16 в среднем равен 2,9 ч, а величина, обратная MFTBF, т. е. количество повреждений на 1 ч полета, равна 0,34 (рис. 4). Подобный же план составлялся и по программе повышения ремонтпригодности.



× — в среднем на один самолет;
● — первый самолет серии «Блок 05»;
* — о трех самолетах нет сведений;
△ — о шести самолетах нет сведений

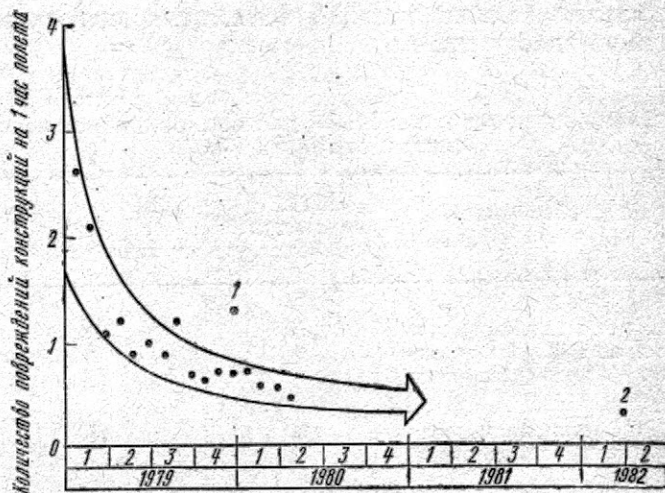
Рис. 3. Повышение качества самолетов F-16 в процессе поставок

Фирмой Джeneral Дайнэмикс для проведения таких работ создана специальная техническая группа по надежности, которая начинает свою работу перед началом стадии разработки предсерийного образца.

Для самолета F-16, его подсистем и оборудования были разработаны специальные количественные показатели по надежности, причем для стадии разработки и производства эти показатели были различными.

Согласно требованиям, самолет F-16 должен иметь на стадии серийного производства коэффициент надежности при выполнении боевых задач, равный 90%, а на стадии разработки этот коэффициент был равен 85%.

Харди пояснил, что боевая задача может считаться успешно выполненной, если за время, начиная от запуска двигателей перед взлетом до выключения их после посадки, поврежденный оборудо-



1 — типичный образец самолета ВВС 1979 г (F-4);
2 — запланированная величина показателя для самолета F-16 (0,34)
Рис. 4. Надежность самолета F-16 (исследования авиабазы ВВС им. Хилла); результаты квалификационных испытаний на надежность серийных образцов агрегатов (успешно завершены испытания ЭВМ системы управления огнем, индикатора на лобовом стекле, электрооптической РЛС, ЭВМ системы управления полетом, блока инерциальной навигационной системы; продолжается осуществление испытаний РЛС и системы управления сбросом внешних грузов)

Таблица 2

Значения показателя MFTBF для агрегатов и подсистем самолета F-16

Агрегаты и подсистемы	MFTBF на стадии разработки, ч	MFTBF на стадии серийного производства, ч
Планер	3,5	6,1
Силовая установка	27,0	66,0
Бортовые радиоэлектронные системы	5,7	8,3
Система вооружения	65,0	85,0
Система запуска оружия для поражения цели	710,0	940,0
Система управления полетом	18,0	30,0

вания не было или были такие повреждения, которые можно компенсировать применением альтернативного оборудования или изменением режимов эксплуатации.

На стадии разработки самолет F-16 имел показатель MFTBF, равный 1,75 ч, а на стадии серийного производства этот показатель должен достичь 2,9 ч.

В табл. 2 приведены величины показателя MFTBF для основных агрегатов и подсистем самолета F-16.

Кроме того, потребовались испытания на надежность основных систем радиоэлектронного, механического и электрического оборудования. В табл. 3 указаны показатели среднего времени между повреждениями (MTBF — Mean Time Between Failures) для радиоэлектронных систем.

В программе самолета F-16 на стадии разработки были использованы анализы видов повреждений и их результатов (FMEA — Failure Mode and Effects Analyses) с целью выявления и определения зон, в которых могут произойти повреждения, и указания степени влияния возможных повреждений на работу систем.

Таблица 3

Значения показателя MTBF для радиоэлектронных систем самолета F-16

Радиоэлектронные системы	MTBF на стадии разработки, ч	MTBF на стадии серийного производства, ч
Бортовая поисково-прицельная РЛС для применения против воздушных целей	70	125
РЛС для применения при всех боевых операциях	60	100
РЛС/электрооптический индикатор	130	475
Индикатор на лобовом стекле	150	500
ЭВМ для управления огнем	280	720
ЭВМ для управления полетом	100	400

«Если FMEA будут проводиться прежде, чем будет окончательно завершено проектирование, то проектировщики будут вынуждены внести в проект необходимые изменения», — заявил Харди.

Количественные показатели надежности и требования к испытаниям на надежность были установлены для субконтрактантов фирмы Дженерал Дайнэмикс, осуществлявших проектирование нового оборудования, и их обязали провести испытания на надежность на стадиях проектирования и разработки в соответствии с общей программой проверки надежности самолета F-16.

Большую роль в обеспечении надежности играет применение деталей с заданными характеристиками, надежность которых значительно выше, чем предельные характеристики системы в целом. Контроль и стандартизация деталей проводятся в соответствии с военным стандартом.

В рамках осуществления программы F-16 была создана комиссия по проверке качества отдельных деталей и определения возможности применения дополнительных деталей, не включенных в официальный перечень по самолету F-16. В комиссию вошли представители фирмы Дженерал Дайнэмикс, занимающиеся разработкой самолета F-16, отделения авиационных систем управления систем вооружения ВВС США, центра поставок военного электронного оборудования, центра промышленных поставок военного назначения, Римского авиационного испытательного центра ВВС и т. д.

Представители фирмы Макдоннелл-Дуглас также не предвидят существенных изменений характера контрактов по будущим программам в соответствии с директивой 5000.40.

Разрабатываемый фирмой Макдоннелл-Дуглас самолет F-18 имеет показатель надежности MFTBF 3,7 ч, а его бортовое радиоэлектронное оборудование — 30 ч.

В процессе разработки предсерийного образца истребителя F-18 происходит некоторое повышение надежности. Среднее значение показателя MFTBF для трех предсерийных образцов, совершавших полеты в первой половине 1979 г., немного превышало 1 ч, а для десяти предсерийных образцов, совершавших полеты в первой половине 1980 г., этот показатель несколько превысил 3 ч. Гарантированное значение показателя MFTBF для самолета F-18 установлено в 3,7 ч (рис. 5).

Параметры надежности РЛС для самолета F-18 при серийном производстве значительно возрастают: если первый серийный образец РЛС имеет гарантированный MFTBF, равный 60 ч, то 50-й образец — 80 ч, а 125-й образец — 100 ч.

Гарантированная величина показателя ремонтнопригодности для F-18 требует уровня боеготовности 85%. Гарантированная величина среднего количества человеко-часов необходимого технического обслуживания на 1 ч полета составляет 11, а средняя продолжительность одного ремонта (MTTR — Mean — Time — To — Repair) составляет 1,78 ч.

Представители фирмы Грумман отзываются о директиве 5000.40 с большим одобрением, обращая особое внимание на то, что факторам надежности

и ремонтпригодности придается большое значение на ранних стадиях разработки.

«Очень важно, — заявил начальник сектора надежности, ремонтпригодности и безопасности этой фирмы Прэзинос, — уделять внимание этим факторам именно на самых ранних стадиях разработки концепции. Когда система начинает реализовываться в металле, слишком поздно что-либо менять для повышения надежности и ремонтпригодности. Это окажет очень сильное влияние и на стоимость и на сроки осуществления программы».

Представители фирмы Грумман особо отметили то, что директива 5000.40 предусматривает, чтобы запасные части, а также дополнительно закупаемое оборудование и осуществленные модификации соответствовали с точки зрения надежности и ремонтпригодности тем же требованиям, что и предусмотренные первоначальной программой разработки системы вооружения, тогда как в прошлом это правило соблюдалось не всеми ведомствами.

По мнению представителей фирмы Пратт-Уитни, результатом внедрения директивы 5000.40 будет взаимоувязка на стадии проектирования и разработки параметров надежности и ремонтпригодности с характеристиками системы при ее боевом применении. Учет таких взаимоувязок имеет особенно важное значение для авиадвигателестроительных фирм.

По заявлению представителей фирмы Джeneral Электрик надежность двигателя F404 (усовершенствованного ТРДД для истребителя F-18) превышает установленную требованиями ВМС. За ~14 000 ч испытаний, проведенных на стадии разработки предсерийных образцов, показатель МТВФ этого двигателя составил 289 ч, в то время как согласно требованиям ВМС этот показатель должен составлять 173 ч. Во время испытаний на долговечность с моделированием боевых условий в течение ~750 ч один из двигателей F404 проработал между внеплановыми ремонтными работами 259 ч. В требованиях же ВМС при проведении таких испытаний указано соответствующее время 72 ч. После 4000 ч полетов на предсерийном образце самолета F-18 показатель МТВФ для двигателя F404 составил 295 ч.

По сведениям, полученным от фирмы Боинг, ВВС повышают требования к надежности нового оборудования, в частности радиоэлектронного, предназначенного для применения на самолетах В-52G/H.

В настоящее время многие фирмы имеют специалистов по надежности, занимающих различные должности и пользующихся различной степенью влияния. В то время как раньше они считались надоедливыми контролерами на этапах процесса проектирования и разработки систем, то теперь они являются полноправными участниками в осуществлении этих этапов. Большинство этих специалистов согласны, что до сих пор военные не обеспечивали достаточно четкого определения требований к надежности и ремонтпригодности, которые были бы приемлемы для промышленности и могли быть включены в условия контрактов. В результате промышленность сама по традиции участвовала совместно с военными заказчиками в определении

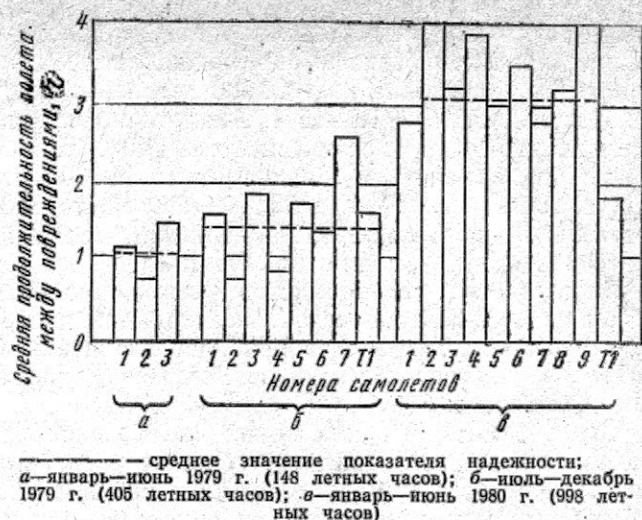


Рис. 5. Повышение надежности самолета F-18

таких требований до заключения контрактов на новые системы и в процессе их заключения.

Директива 5000.40 рассматривается как дальнейшее доказательство необходимости для военного ведомства самим формулировать эти требования, но промышленностью высказываются сомнения в том, располагают ли военные достаточными для этого средствами и квалифицированными кадрами. Специалисты промышленности считают желательным, чтобы военные были в состоянии разрабатывать одинаковые требования для всех потенциальных контрактантов — участников разработки новых программ.

По оценке промышленных обозревателей, у военных в США до сих пор отсутствовали методы накопления и обработки данных, которые способствовали бы выявлению и улучшению недостаточно надежных агрегатов существующих систем.

По заключению многих руководителей промышленности, количество часов, налетанных военными самолетами, очень мало по сравнению с гражданскими. Одной из основных причин этого являлось использование военных нормативов, способствующих скорее снижению, чем повышению надежности различных военных систем. Однако инженеры и проектировщики, в частности, участвовавшие в разработке самолета F/A-18, отмечают, что многие виды их продукции не являются специфически военными с точки зрения методов проектирования, производства или по своим техническим характеристикам.

Крупнейшим фирмам, выполнявшим по контрактам разработку самолета F/A-18, в том числе Макдоннелл-Дуглас, Нортроп, Хьюз и Джeneral Электрик, была предложена поощрительная премия размером 45 млн. долл., если они обеспечат соответствие нормативам надежности. Такой подход, по-видимому, оправдал себя. После 1200 ч полетов самолет F-18 достиг показателя МТВФ, равного 2 ч. Самолет F-15 на той же стадии разработки имел показатель МТВФ 0,7 ч, а чтобы достигнуть того же показателя, что и F-18, ему потребовалось налетать 100 000 ч.

Большая часть успеха самолета F-18 приписывается тому, что этот самолет и его системы отличаются относительной простотой конструкции. Применяемая на нем многорежимная РЛС состоит из 15 000 деталей и имеет показатель МТВФ, равный

100 ч, тогда как многорежимная РЛС с более высокими характеристиками, применявшаяся на самолете F-14, состояла из ~28 000 деталей и имела показатель МТВФ ~10—15 ч. Аналогично положение и по двигателям: если двигатель F404, установленный на самолете F-18, состоит из 14 000 деталей, а двигатель J79 — из 22 000 деталей, то соответственно и показатель МТВФ для двигателя F404 в ~5 раз выше, чем для двигателя J79.

Большинство специалистов промышленности согласны с тем, что простота конструкции является, по-видимому, одним из наиболее значительных факторов, обеспечивающих возможность повышения надежности.

Вторым методом повышения надежности является совершенствование отдельных агрегатов. Многие фирмы стали применять в своей практике оценку отдельных агрегатов, получаемых от субконтрактантов, до оформления заказа, когда разрабатываются новый летательный аппарат или системы. Затем основные контрактанты проводят соещения с потенциальными субконтрактантами по конструктивным особенностям агрегатов, которые должны быть усовершенствованы прежде, чем агрегат будет признан соответствующим требованиям надежности.

Так, например, фирмой Локхид разработаны ИК датчики, которые используются для определения горячих зон в блоках электронного оборудования. Такой датчик вначале использовался при испытаниях оборудования патрульного противолодочного самолета CP-140, являющегося модификацией самолета Локхид P-3. В результате применения ИК датчика некоторые агрегаты самолета CP-140 были переконструированы, было применено внутреннее охлаждение в некоторых электронных блоках для ликвидации горячих зон и, следовательно, увеличения ресурса этих блоков. В будущем фирма предполагает установить температурные ограничения для электронных приборов, поставляемых предприятиями.

Еще одним методом повышения надежности систем вооружения является применение резервирования систем или увеличения коэффициента безопасности отдельных компонентов. Однако это может привести к увеличению веса и стоимости тех-

нического обслуживания и производства, а также к повышению закупочных цен.

Например, для повышения надежности самолета F-18 его вес был увеличен на ~180 кгс в результате снятия ограничений по весу отдельных агрегатов, в частности, подшипников.

«Если промышленники не имеют возможности обеспечить полный контроль за техническим обслуживанием, они не могут нести всю ответственность за возникающие повреждения», — утверждают сотрудники фирмы Локхид. «Если осмотреть блок оборудования после 2—3 циклов технического обслуживания, осуществленных персоналом ВВС или ВМС, то внутри обнаружится много деталей, не соответствующих техническим требованиям». Например, в системах самолета ПЛО S-3A после технического обслуживания были обнаружены детали с теми же складскими номерами, что и первоначально установленные, но не соответствующие им ни по форме, ни по способу крепления, ни по выполняемым функциям.

«Правительство вынуждено покупать запасные части у различных организаций», — отметил один из инженеров фирмы Макдоннелл-Дуглас. «Но гарантировать надежность запасных частей, купленных таким путем, невозможно, так как заключение контракта обусловлено, как правило, наименьшей ценой» [6].

1. Military stresses maintainability, reliability. Aviation Week and Space Technology, 1980, v. 113, 6/X, N 14, p. 42—43.
2. Defence directive puts new stress on reliability. Aviation Week and Space Technology, 1980, v. 113, 6/X, N 14, p. 56—59.
3. Swett B. H. Reliability growth management. In: „Reliability growth“. Institute of Environmental Sciences. Seminar proceedings. 1978, p. 4—9.
4. Aviation Week and Space Technology, 1981, v. 114, 12/I, N 2, p. 86.
5. Congress awakening to reliability need. Aviation Week and Space Technology, 1980, v. 113, 6/X, N 14, p. 69—70.
6. Reliability emphasized earlier in design. Aviation Week and Space Technology, 1980, v. 113, 6/X, N 14, p. 71—75.

Референт М. В. Шмид.

Редактор Д. А. Гиршберг.

УДК 658.629.7

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ВООРУЖЕНИЯ*

Организация материально-технического обеспечения в процессе разработки и приобретения систем вооружения охватывает все стадии разработки и эксплуатации. В данной статье рассматриваются лишь те стадии, которые главным образом определяют успешность материально-технического обеспечения и технического обслуживания.

Планирование систем материально-технического обеспечения делится на две основные категории: планирование работ, которые должны быть осуществлены до подписания контракта на разработку предсерийного образца, и планирование работ, которые будут производиться в процессе разработки этого образца.

Необходимо разграничивать эти функции планирования, так как они имеют различные, хотя и связанные между собой цели. Цель планирования

* Sylvester J. F. Acquisition logistics management in naval aviation. AIAA Paper N 80—1827.

работ до разработки предсерийного образца — подготовка эффективного контракта, обеспечивающего успешное осуществление программы реализации комплексной системы материально-технического обеспечения во время разработки этого образца, а цель планирования на этапе разработки предсерийного образца — достижение заданных эксплуатационных характеристик и обеспечение эффективности системы технического обслуживания.

Чтобы достичь первой цели, необходимо уделить основное внимание трем критически важным факторам: особенностям проекта, требованиям, обусловленным в контракте, и финансовым ограничениям. Когда контракт на разработку подписан, в нем уже на ~90% обусловлены особенности проекта. Следовательно, если одной из задач является разработка летательного аппарата, пригодного к применению в системе боевых соединений, то необходимо на стадии планирования этапов, предшествующих разработке, выявить все особенности проекта, которые должны определить ремонтпригодность системы. Соответственно, успех достижения второй цели планирования — в процессе разработки — зависит от строгого соблюдения требований контракта, касающихся комплексной системы материально-технического обеспечения. Очевидно, что эти требования должны разрабатываться до заключения контракта. Возможность осуществить программу разработки комплексной системы материально-технического обеспечения в процессе разработки системы вооружения также в большой степени зависит от самого существенного фактора — наличия необходимых финансовых средств. Без выделения соответствующих ассигнований самая блестяще задуманная программа разработки комплексной системы материально-технического обеспечения не сможет быть реализована. Следовательно, разработка бюджета является ключевым требованием к программе работ, которые должны быть осуществлены до начала разработки.

Проектирование системы технического обслуживания должно начинаться задолго до подписания контракта на разработку системы вооружения. Оно является сочетанием эксплуатационных проблем с проблемами научно-технических усовершенствований. При этом имеется в виду, что связанные с проектированием проблемы технического обслуживания, характерные в настоящее время для самолетов, применяемых в составе боевых соединений, должны решаться на стадии планирования разработки новой системы вооружения.

Все проблемы, относящиеся к техническому обслуживанию, необходимо предусматривать путем включения их в технические требования к проекту самолета и в запрашиваемую по контракту цену (Request for Quotation). Следовательно, совершенно необходимо, чтобы сотрудники, занимающиеся вопросами технического обслуживания, определяли основные проблемы, связанные с особенностями проекта, и обсуждали их с проектировщиками до определения запрашиваемой по контракту цены, чтобы фирма-контрактант могла быть уверена в реальности предусматриваемой цены. Поэтому при окончательном выборе фирмы-контрактанта в контракте на разработку предусматривается ~95% проектных данных. Кроме того, сотрудники, занимающиеся вопросами технического обслуживания,

должны привлекаться к формулировке технических требований к проекту для того, чтобы была обеспечена разработка проекта, удовлетворяющего требованиям технического обслуживания. Если требования к техническому обслуживанию определяются в основном на этапе до начала разработки, то выявляются также преимущества и недостатки программы создания комплексной системы материально-технического обеспечения, которые могут иметь место во время разработки. Здесь подразумевается, что эффективное выполнение программы комплексной системы материально-технического обеспечения на этапе разработки основной программы определяется в значительной степени тем, насколько правильно сформулированы в контракте на разработку требования на предварительной стадии проектирования. Необходимо, чтобы главный контрактант принимал активное участие в планировании и анализе программы комплексной системы материально-технического обеспечения.

Чтобы обеспечить эффективное выполнение работ по контракту, необходимо с начала предварительной стадии проектирования конкретизировать все задачи программы комплексной системы материально-технического обеспечения. Они могут быть определены в самых различных формах. Например, одной из задач может быть обеспечение контрактантом всей программы испытаний. Если такая задача была единственной, необходимо было бы сформулировать требования в контракте таким образом, чтобы все условия технического обслуживания были включены как первоочередные в программу испытаний, составленную контрактантом, и отсрочить время закупки утвержденных программой объектов наземного оборудования (GSE — Ground Support Equipment) для обслуживания в боевых условиях на более поздние сроки.

Конечным результатом стадии планирования на этапе, предшествующем разработке, должна быть формулировка требований к программе комплексной системы материально-технического обеспечения и определение данных для выбора контрактанта. Эти данные должны быть учтены при определении запрашиваемой по контракту цены и проведении сравнительных конкурсных оценок соответствия требованиям контракта.

Одним из наиболее важных элементов программы комплексной системы материально-технического обеспечения является своевременное выделение необходимых ассигнований.

Цикл разработки бюджета в федеральном правительстве от начала его составления до выделения средств продолжается около двух с половиной лет. Следовательно, до того как подписан контракт на разработку, необходимо осуществить значительную работу по составлению бюджета.

Как правило, сотрудникам, занимающимся проблемами материально-технического обеспечения, не удается достаточно рано составить необходимый проект бюджета, и в результате этого к моменту подписания контракта выделяются только незначительные средства. Это немедленно сказывается в замедлении осуществления программы комплексной системы материально-технического обеспечения с сопутствующими затруднениями для руководителей этой программы в получении необходимых средств.

Только после подписания контракта и утверждения бюджета начинается сложная и дорогостоящая (оцениваемая примерно в 40—80 млн. долл.) разработка программы создания комплексной системы материально-технического обеспечения. В течение этого периода продолжительностью 24—36 месяцев должен быть определен весь объем необходимых работ по материально-техническому обеспечению и техническому обслуживанию, а также сроки их выполнения.

При разработке и заключении контракта на осуществление этой программы составляются два вида календарных планов: генеральный план и детальные планы разработки и поставок агрегатов и элементов конструкции. Генеральный план создания комплексной системы материально-технического обеспечения определяется двумя факторами: планом инженерных работ по разработке систем вооружения и планом руководителя проекта по осуществлению работ в боевых соединениях.

Генеральный план разрабатывается сразу после того, как подписан контракт на разработку системы вооружения с основным контрагентом. После согласования генерального плана разрабатываются детальные планы поставок комплектов агрегатов и элементов конструкции с указанием объема работ по техническому обслуживанию, сроков и места назначения поставок каждой группы агрегатов и деталей. Эти детальные планы согласовываются с главным конструктором и в соответствии с генеральным планом становятся основой для организации разработки и приобретения всех объектов материально-технического обеспечения.

Применяются три основных аналитических метода, обеспечивающие руководителю по приобретению объектов материально-технического обеспечения возможность закупать и распределять оптимальный ассортимент агрегатов и деталей.

Первый—это системный метод материально-технического обеспечения, согласно которому анализируются технические характеристики конструкций и определяется оптимальный ассортимент агре-

гатов и деталей и объем работ по техническому обслуживанию самолетов в боевых соединениях.

Второй метод представляет собой следующую стадию анализа. Он включает сравнительные исследования альтернативных вариантов систем материально-технического обеспечения для определения оптимальных вариантов, учитывающих производственные возможности ремонтных мастерских, длительность необходимого технического обслуживания или существенные изменения принципов материально-технического обеспечения.

Третий, аналитический метод предусматривает использование данных, касающихся материально-технического обеспечения, в предположительном сценарии с тем, чтобы исследовать непрерывно изменяющуюся эффективность различных систем технического обслуживания для достижения различных степеней готовности к боевому применению.

В результате применения этих аналитических методов руководители по разработке и приобретению систем материально-технического обеспечения получают данные, на основании которых можно принимать решения о закупках.

Между сотрудниками военного ведомства имеются некоторые разногласия по поводу роли руководителя по материально-техническому обеспечению в осуществлении программы испытаний. Некоторые полагают, что он должен обеспечивать только приобретение оборудования для начальной стадии испытаний, хотя совершенно необходимо, чтобы он участвовал как в составлении плана испытаний, так и в обеспечении закупок необходимого для этого оборудования. Только в результате анализа начальных данных проведенных испытаний он может достаточно скоро определить, насколько разработанный план испытаний обеспечивает надежное моделирование условий начальной стадии применения системы. С этой целью ему должны быть выделены ассигнования в сумме 40—50 млн. долл. на материалы, кадры и необходимое оборудование.

Референт *М. В. Шмид.*
Редактор *Д. А. Гиршберг.*

ТИ*, ОНТИ ЦАГИ, 1981, № 20, 1—27.

Редакционная коллегия: Г. В. Александров, Г. Е. Даньшина (секретарь), Р. Д. Иродов, А. Г. Мунин,
Е. И. Ружицкий (председатель), В. М. Фролов, Ю. Я. Шиллов (ответственный редактор)

Технический редактор - В. Н. Добровольская

Корректор И. И. Паскалов

Сдано в набор 09.10.81.
Высокая печать.

Подписано в печать 01.12.81.
Бум. л. 1,75.

Формат бумаги 60×90¹/₈.
Усл. печ. л. 3,5

Уч.-изд. л. 4.

Типографская № 1.
Тираж 2631 экз.

Литературная гарнитура.
Цена 55 коп.

Типография ЦАГИ. Заказ 1443.

