

А. И. Канащенко, С. В. Новиков

ОСНОВНЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

A. I. Kanashchenkov, S. V. Novikov

BASIC METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF DESIGNING A NEW GENERATION OF AIRCRAFT RADAR SYSTEMS

Аннотация. *Актуальность и цели.* Требования снижения затрат при все возрастающей сложности и объемах выполняемых задач предвещают переход к аппаратно- и функционально интегрированным радиолокационным системам летательных аппаратов (РСЛА) нового поколения, в которых комплексирование осуществляется не по физическим принципам работы первичных измерителей, а по функциональному назначению систем. Для проектирования радиолокационных систем нового поколения требуется изменение принципов конструирования, которые бы обеспечили переход от технологий конструирования поколения «4» к новым технологиям конструирования этих систем нового поколения «4++», «5», т.е. необходимо перейти от технологии конструирования «снизу-вверх» к технологии конструирования «сверху-вниз». *Материалы и методы.* Предложена структура взаимосвязи факторов технического и экономического характера, которые необходимо учитывать при создании РСЛА. Предложены разные методы решения этой задачи с тем, чтобы обеспечить качество информационного обеспечения и сокращение стоимости жизненного цикла. Предложены ключевые методологические принципы, обеспечивающие реализацию требований, установленных к радиолокационным системам нового поколения. Предложены способы реализации метода разработки технологии на основе обеспечения единства стадий: научных исследований, конструирования, разработки технологии и организации производства как единого процесса создания систем. *Результаты.* Реализация на практике при создании радиолокационных систем нового поколения «4++» (например, Ka-диапазона) основных методологических принципов и методов конструкции, снижение массогабаритных характеристик РЛС нового поколения по сравнению с существующими аналогами в 2,5 раза, повышение надежности почти в 2,5–3 раза, сокращение стоимости жизненного цикла более чем в 2 раза и другие преимущества. *Выводы.* Предложены эффективные методы и принципы конструирования аппаратуры во взаимосвязи с техническими, экономическими и тактическими характеристиками,

Abstract. Background. Requirements to reduce costs with increasing complexity and volume of tasks will predetermine the transition to hardware and functionally integrated radar systems of aircraft (RLA) of the new generation, in which the integration is carried out not according to the physical principles of the primary meters, but according to the functional purpose of the systems. To design a new generation of radar systems requires a change in design principles that would ensure the transition from the design technology generation "4" to new technologies for the construction of these systems of the new generation "4++", "5", i.e. it is necessary to move from the design technology "bottom-up" to the design technology "top-down". *Materials and methods.* The structure of interrelation of factors of technical and economic character which need to be considered at creation of RLA is offered. Different methods of solving this problem in order to ensure the quality of information support and reduce the cost of the life cycle are proposed. The key methodological principles that ensure the implementation of the requirements established for a new generation of radar systems are proposed. Methods of realization of a method of development of technology on the basis of ensuring "unity of stages are offered: scientific researches, designing, development of technology and the organization of production" as uniform process of creation of systems. *Results.* Implementation of the basic methodological principles and methods of construction, reduction of weight and size characteristics of the new generation radar compared to existing analogues by 2.5 times, increasing reliability by almost 2.5–3 times, reducing the life cycle cost by more than 2 times and other advantages in practice when creating a new generation radar systems "4++" (for example, Ka-band). *Conclusions.* The effective methods and principles of equipment design in connection with technical, economic and tactical characteristics, which provide the creation of a new generation of radar systems, not inferior to the requirements of the international class, are proposed.

которые обеспечивают создание радиолокационных систем нового поколения, не уступающих требованиям международного класса.

Ключевые слова: авиационная радиолокация, радионавигация, радиотехническое оборудование, проектирование высокотехнологичной техники, инновационное производство.

Key words: aviation radar, radio navigation, radio equipment, design of high-tech equipment, innovative production.

Введение

Спецификой современного состояния авиации является то, что существенно возросли возможности самолетов-носителей по изменению своего углового и пространственных положений, расширилось поле значений и законов изменения скоростей и ускорений перемещений, качественным образом изменились возможности авиационных средств поражения. В то же время происходящее бурное развитие прикладных сторон фундаментальных наук, возрастающая способность датчиков различной физической природы извлекать из геофизических полей все больший объем информации и все возрастающие возможности вычислительных систем по объему памяти и быстродействию, применение новых технологий позволяют все полнее удовлетворять требованиям информационного обеспечения все усложняющихся видов и способов боевых действий. В то же время реализация этих возможностей требует значительных объемов финансовых ресурсов, материальных, людских и временных затрат. Поэтому при формировании облика радиолокационных систем перспективных самолетов требуется не только количественное улучшение показателей эффективности, но и принятие **новых конструктивных решений** [1]. В связи с этим требуется выделить ряд принципиальных направлений, определяющих облик РСЛА (рис. 1).



Рис. 1. Основные направления, определяющие облик РСЛА

Если технические, экономические, технологические факторы носят в основном объективный характер, то организационные во многом определяются субъективными качествами Заказчика и Исполнителя [1].

Взаимосвязь этих факторов представлена на рис. 2.

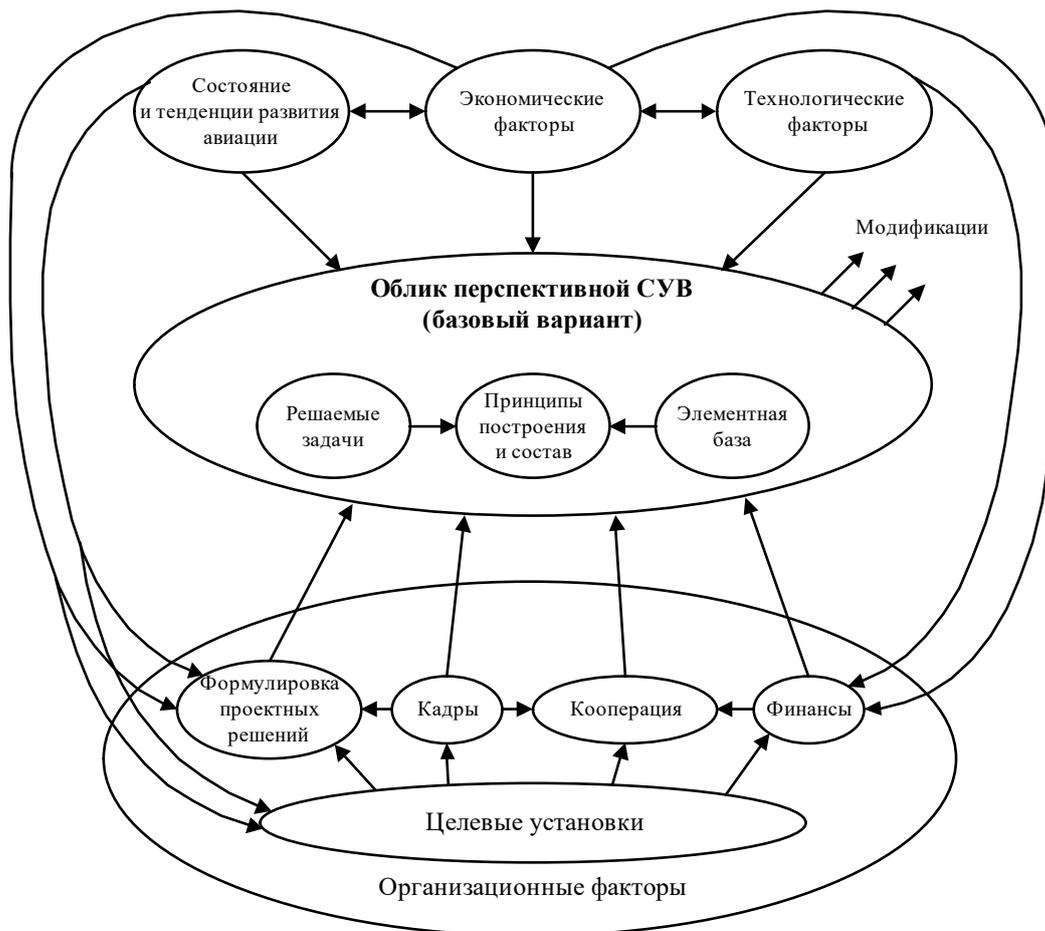


Рис. 2. Взаимосвязь факторов, учитывающихся при разработке РСЛА

Задачу удовлетворения этих требований по повышению качества информационного обеспечения и сокращению стоимости жизненного цикла разрабатываемых РСЛА можно решать разными способами [2].

Во-первых, не исчерпал еще возможностей путь эволюционного развития, в рамках которого можно улучшать показатели эффективности традиционным методом. Однако нужно учесть, что в эксплуатации находятся в большей степени радиолокационные системы поколения «четыре», и в этом поколении систем не удалось решить ряд проблем, имевших место ранее, так, например, точность решения боевых задач практически осталась на уровне поколения «три». Практически на том же уровне остались показатели надежности. Стоимость жизненного цикла остается высокой. Структура систем четвертого поколения не является рациональной, так как при конструировании аппаратуры применен метод, не оправдавший себя еще в первом поколении, связанный с искусственным делением на подсистемы по физическому принципу действия, а не по решаемым задачам. В четвертом поколении еще по-прежнему сохранен принцип конструирования с использованием системы «снизу-вверх».

В настоящее время научно-технический прогресс в области авиации решает задачи создания систем пятого поколения. Это связано с новыми тенденциями развития авиации, непосредственно или опосредовано влияющими на облик РСЛА. Характерным для этого поколения является создание интегрированных РСЛА на основе принципа проектирования «сверху-вниз».

Таким образом, с учетом вышеизложенного необходимо определить основные методологические принципы проектирования радиолокационных систем пятого поколения с учетом факторов развития авиации, обеспечивая при этом высокую надежность, повышение уровня тактико-технических характеристик, обеспечивая высокую контролепригодность и резкое сокращение стоимости жизненного цикла проектируемых радиолокационных систем нового поколения.

Этапы решения задачи выбора структуры авиационной РСЛА

Современные РСЛА являются физическими комплексами иерархически построенных информационно-управляющих систем. В общем случае РСЛА представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся разновидностей бортовых информационных управляющих систем с широкой сетью режимов работы [1–4]. Проектирование таких систем является чрезвычайно сложной задачей, при решении которой необходимо учитывать комплекс взаимосвязанных тактических, экономических и технологических факторов, влияющих на облик перспективной РСЛА, рассмотренных в работе [1], а также в предисловии настоящей статьи.

РСЛА многофункционального самолета представляет совокупность функционально связанных подсистем. Именно совокупность технических и алгоритмических средств получения информации о необходимых фазовых координатах и определяет аппаратный состав РСЛА. Из этого следует, что число возможных вариантов построения структуры РСЛА, которые обладают возможностями, исходя из уровня функциональной интеграции, и определяют уровень аппаратурной интеграции, исключая при этом, по возможности, аппаратурную избыточность и обеспечивая наилучшие возможности с точки зрения эффективности в заданном множестве условий боевого применения или решения других задач самолета.

Синтез РСЛА начинается с формулирования задач, возлагаемых на нее, требований, предъявляемых к ней, описания свойств внешней среды, в которой она должна функционировать, и определения располагаемых вычислительных ресурсов.

Экономические факторы, влияющие на облик радиолокационных систем

Огромные затраты на войны с использованием современного дорогостоящего оружия требуют от специалистов обратить пристальное внимание на экономическую сторону и принять меры к снижению затрат. Оценку уровней материальных, трудовых и финансовых ресурсов, затрачиваемых на создание информационных систем (ИС) нового поколения, будем проводить как для боевых действий (БД), так и для процессов разработки новых типовых ИС, поддержки их функционирования, а также затрат на эксплуатацию (обслуживание) информационных систем. Актуальность учета экономичности ведения БД обусловлена тремя факторами, графически представленными на рис. 3.

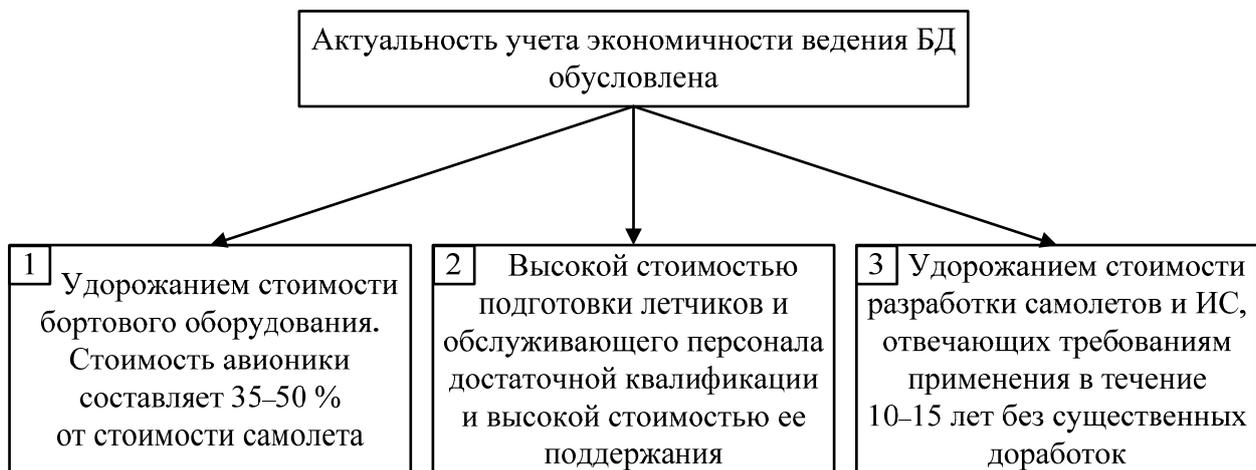


Рис. 3. Факторы, требующие учета экономичности ведения БД

Учет этих факторов определяется следующими основными направлениями развития авиации и ИС: многофункциональность применения, внедрение экономичных боевых режимов, снижение потерь и нерационального расхода топлива и средств поражения, снижение требований к уровню подготовки летчиков и обслуживающего персонала, снижение стоимости жизненного цикла, функциональная и аппаратная интеграция и т.д. Функциональные связи представлены на рис. 4.



Рис. 4. Экономические факторы, влияющие на формирование облика РСЛА

Из всего перечня этих направлений необходимо учесть при формировании облика радиолокационных систем управления вооружением те, которые непосредственно влияют на облик.

Проектирование радиолокационных систем управления вооружением

Несколько лет назад встала задача, как перейти на радиолокационные системы управления вооружением нового поколения, так как в большинстве случаев на эксплуатации находятся системы поколения «4», по существу имеющие те же недостатки, что и аппаратура поколения «3».

Потребность в радарх нового поколения объясняется не только заменой устаревших моделей и возможностью тем самым повысить боевую эффективность существующих летательных аппаратов, например, вертолетов, но и необходимостью оборудования радиолокационными системами летательных аппаратов (самолетов, вертолетов и БЛА) нового поколения.

В процессе исследований были сформированы принципы создания нового поколения радиолокационных систем, которые обеспечили переход от технологий конструирования поколения «4» к технологии конструирования этих систем нового поколения («4++», «5»), т.е. от технологии конструирования «снизу-вверх» к технологии «сверху-вниз», с одной стороны, базирующейся на открытой архитектуре и высоком уровне цифровизации, функциональной и аппаратной интеграции бортового оборудования и т.д., и с другой – на создании функциональной сложной технологической системы на основе базовости конструкции и внутривидовой и межвидовой унификации. Развитие радиолокационных систем например, для вертолетов, приводит к тому, что нельзя для каждого летательного аппарата разрабатывать свой радиолокатор. Это требует больших начальных затрат на разработку технической системы и будет относительно высока стоимость серийных образцов, и в целом высокая стоимость жизненного цикла.

Ключевую роль, по нашему мнению, в этом играют прежде всего «Основополагающие принципы» создания новых технических систем (рис. 5).

Реализация на практике этих принципов позволяет, прежде всего [5]:

- при росте технических характеристик, повышении функциональной сложности создаваемых технических систем снизить относительную стоимость этих систем и обеспечить ее приемлемость при минимальном риске;

- повысить адаптивность радиолокационной системы к различным летательным аппаратам с учетом возможности модификации их к различным летательным аппаратам;

- внести определенность в применении новых технологий для улучшения экологических показателей;
- улучшить возможности наращивания тактико-технических характеристик на жизненном цикле технических систем;
- обеспечить более высокие показатели надежности, низкую стоимость эксплуатации и т.д.



Рис. 5. Основополагающие принципы создания новых технических (радиолокационных) систем

Для реализации этих принципов и обеспечения развития принципов конструирования технических систем «сверху-вниз» разработаны и внедрены единые «Основные методологические принципы конструирования технических систем» (рис. 6), опирающиеся на базовые «Основополагающие принципы», реализуемые с использованием открытости архитектуры, модульности построения, функциональной и аппаратной интеграции, цифровизации, стандартных внутренних и внешних интерфейсов, высокой надежности и экономичности эксплуатации и т.д.

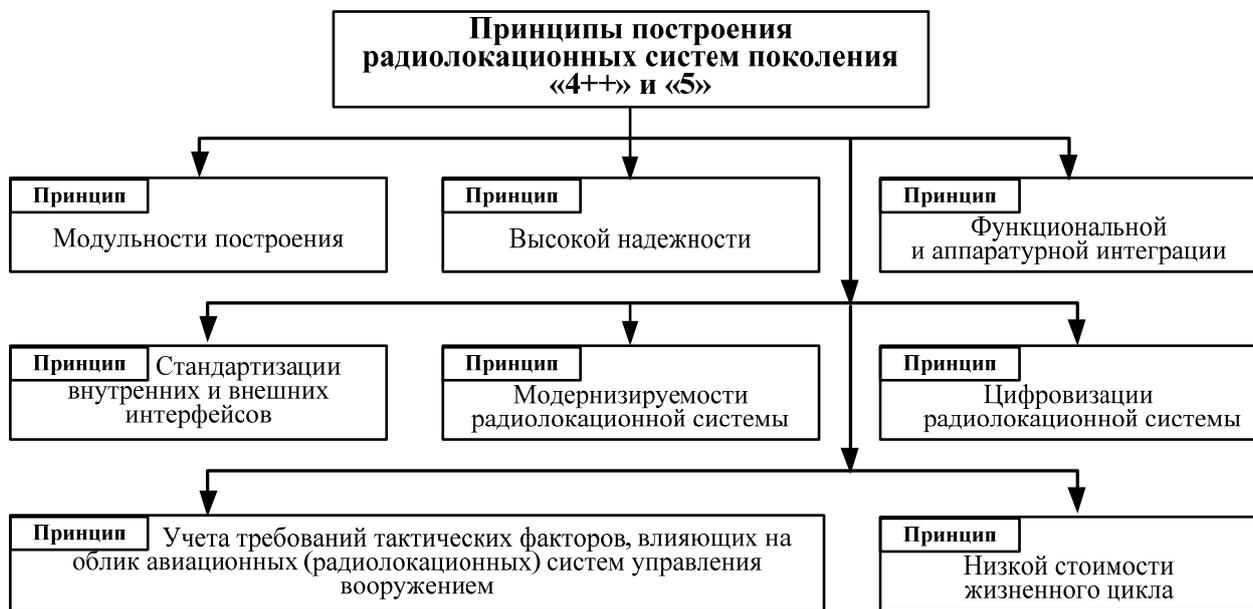


Рис. 6. Основные методологические принципы построения технических систем нового поколения

Используя эти принципы, в Московском авиационном институте создано унифицированное семейство радиолокационных систем, предназначенных для использования в летательных аппаратах типа вертолет, учебно-боевой самолет, беспилотный летательный аппарат (БЛА). Пример: радиолокационная система Ка-диапазона волн разработана и прошла испытания. Имеет литеру «О», разработана с использованием «основных методологических принципов» конструирования (рис. 7) [7].

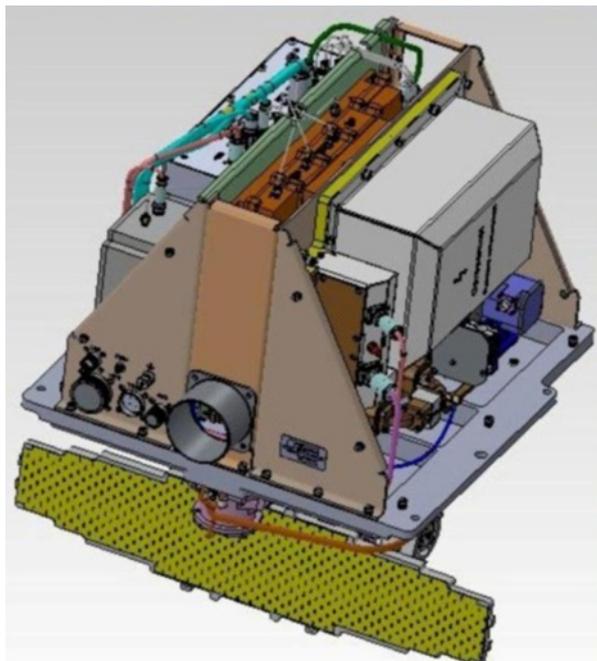


Рис. 7. Малогабаритная масштабируемая многорежимная радиолокационная система нового поколения с щелевой антенной решеткой Ka-диапазона волн

Конструкция разработана с использованием предложенных методологических принципов построения.

МБРЛС Ku-диапазона волн:

- АМ-1 – электрический привод с ЩАР;
- ПЗМ1 с ПРМ1 – модуль приемо-задающий, цифровизированный, аппаратно и функционально интегрированный, выполняющий функции: опорного генератора, синхронизатора, формирователя импульсов, синтезатора и преобразователя сигналов;
- ПРД1 – твердотельный передающий модуль Ka-диапазона волн;
- БЦВМ-С – БЦВМ нового поколения со встроенным цифровым приемником.

Сравнительные конструктивные характеристики радиолокационной системы поколения «4», находящейся в эксплуатации, и нового поколения «4++» с использованием предлагаемых «Основных методологических принципов конструирования», приведены в табл. 1. Используются унифицированные радиолокационные модули [8].

Таблица 1

Сравнительные характеристики радиолокационных систем разных поколений

Наименование параметров	БРЛС поколения «4», находящиеся в эксплуатации	Изделия нового поколения, разработанные с использованием основополагающих принципов конструирования
1. Вес аппаратуры, кг	140	35
2. Количество блоков (модулей)	более 12	4
3. Надежность аппаратуры, часов на отказ	150 (не достигнута)	350
4. Стоимость жизненного цикла	X	в 2,5 раза ниже
5. Стоимость серийного образца	X	в 2,4 раза ниже
6. Функциональные возможности		Улучшены: дальность в 1,3 раза, разрешающая способность – в 3 раза, введены новые режимы и т.д.
7. Занимаемый объем на объекте	~1 от выделенного на объекте	0,28 от выделенного на объекте
8. Потребляемая мощность, Вт	свыше 1000,0	400,0

Опережающее развитие технологий и оптимальные взаимосвязи их с конструированием технических систем

При конструировании технических систем важно реагировать на запросы рынка (потребности) и реагировать на изменение технических возможностей систем. Каждое исследование, создание новых технических систем требует не только реализации новых методологических принципов конструирования, но и новых принципов организации технологии. Представляется, что эти принципы основаны на единстве процессов **конструкции, компонентов, технологии и оптимизации конструкторско-технологических характеристик (КТХ) и производства**. Средой для выполнения этих условий могут быть опережающая технология и высококачественное технологическое оборудование (рис. 8).

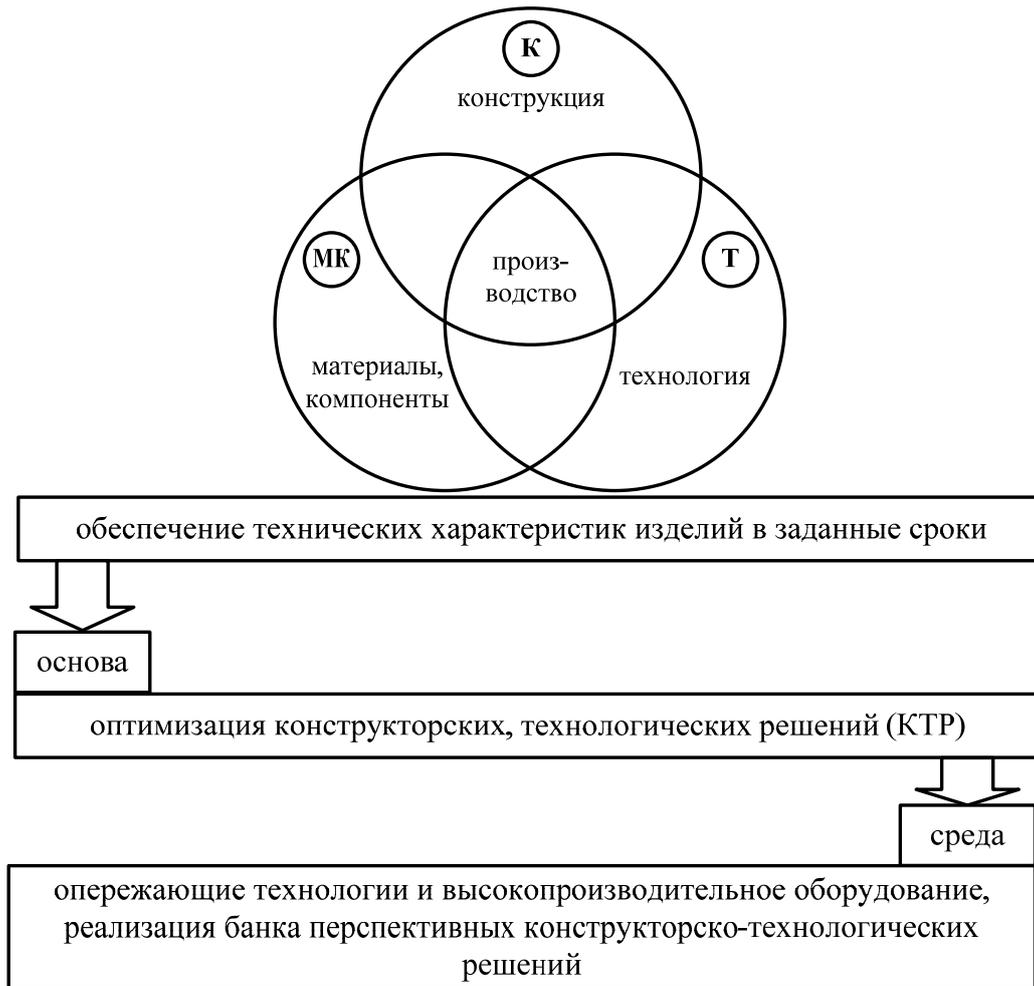


Рис. 8. Схема разработки изделий на основе оптимизации и опережающей технологии

Как видно из рис. 8, производство – это система операционного превращения материалов и компонентов посредством технологий в заданную конструкцию. Обеспечение технических характеристик изделия в заданные сроки осуществляется на основе оптимизации конструкторско-технологических решений (КТР). Условие обеспечения заданных технических характеристик в установленные сроки сходно производственной среде, в которой имеются современные опережающие технологии, высокопроизводительное оборудование и банк данных конструкторско-технологических решений. Общесистемные принципы конструирования сложных технических систем, изложенные выше, предполагают оптимизацию конструкторско-технологических решений, на основе этого создается банк унифицированных прогрессивных конструкторско-технологических решений [9].

Технология создания сложных технических систем представлена на рис. 9.



Рис. 9. Укрупненная технология создания сложных технических систем

Используя общесистемные принципы конструирования и принципы единства процессов создания конструкции, компонентов, технологии и оптимизации КТР в условиях обеспечения преемственности фундаментальных и прикладных исследований, единства создания конструкции, материалов и компонентов (с учетом более прогрессивных КТР) и моделирования внутренних и внешних процессов, создаются сложные технические системы. В процессе создания технической системы происходит выбор и разработка компонентов, обоснование технических характеристик и решений, выбор технологий и производственной базы, и проводятся последующие этапы создания технической системы, руководствуясь утвержденными ГОСТами. Результат можно наглядно представить в виде следующей схемы (рис. 10).

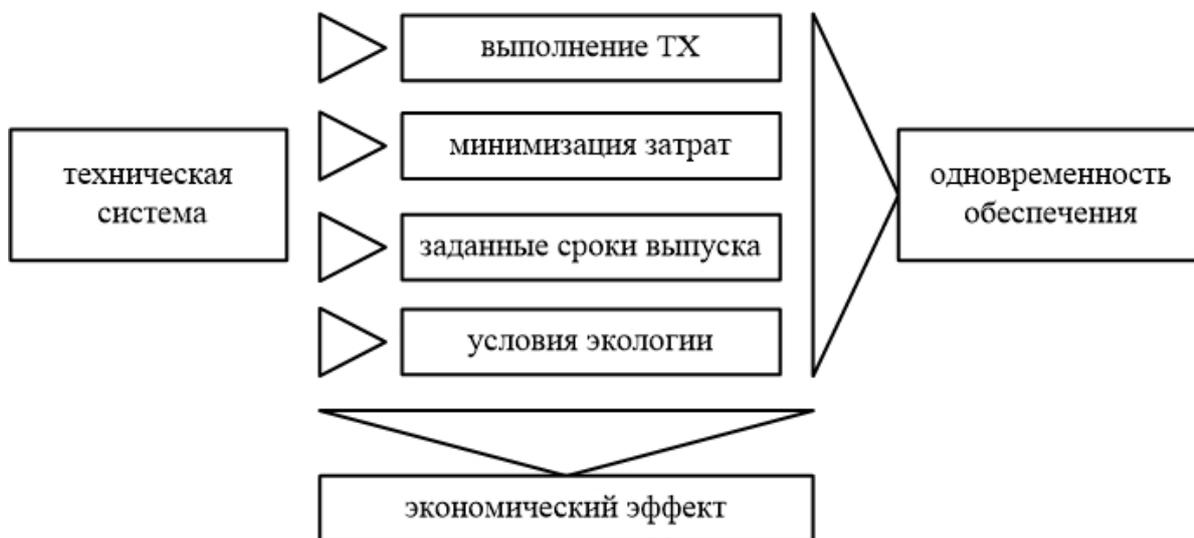


Рис. 10. Техническая система

Принципы создания новой технологии базируются на единстве процесса стадий разработки конструкции изделия, организации применения технологии и подготовки серийного производства приведены на рис. 11.



Рис. 11. Принципы технологического обеспечения производства

Суть новизны этих принципов заключается в системном и комплексном подходе проведения НИОКР, разработке технологии, подготовке и организации серийного производства как единого процесса, обеспечивающего высокий технологический уровень разработки, ТХ, подготовки и организации производства в сроки одновременно (или почти одновременно) с окончанием испытаний изделия при минимизации затрат на подготовку производства и серийный выпуск единицы изделия. По ранее существующей технологии после окончания испытаний и корректировки конструкторской документации начинается процесс подготовки серийного производства, который в зависимости от сложности длится 1–2 года. Новая технология позволяет сократить это время, что очень важно не только с позиции экономии средств, времени и труда, но и для обеспечения передовых позиций на новых рынках или расширения уже существующих сегментов рынка. Во-вторых, при применении такой технологии изделие имеет более высокие технико-экономические характеристики, качество, надежность и сокращение затрат на эксплуатацию [10].

Как видно на рис. 11, уже на стадии НИР, когда определяются технические характеристики разрабатываемого изделия, выявляются основные конструкторско-технологические решения. На стадии разработки технических предложений, которая предшествует эскизно-техническому проектированию, определяется массив основных КТР, формируются НИОКР в области технологии, закладываются основы обеспечения технологичности разрабатываемого изделия и затем уже на этой основе начинается технологическая подготовка.

Стадия эскизно-технического проектирования характеризуется, кроме обычных требований, связанных с разработкой конструкции, формированием НИОКР в области технологии, разработкой директивной технологической документации, обязательной для стадии рабочего проектирования, и совершенствованием технологической подготовки производства к выпуску изделия.

На следующей стадии заканчиваются разработка конструкторской документации (КД), обработка технологичности конструкции и продолжается технологическая подготовка производства.

Стадия испытаний подтверждает качество КД, при необходимости ее уточняет. На этой стадии заканчиваются разработка технической документации и подготовка серийного производства.

Базируясь на принципах единства процесса стадий разработки конструкции изделия, организации разработки технологии и подготовки серийного производства, разработана и представлена типовая модель технического обеспечения проектирования изделия на этой основе (рис. 12).

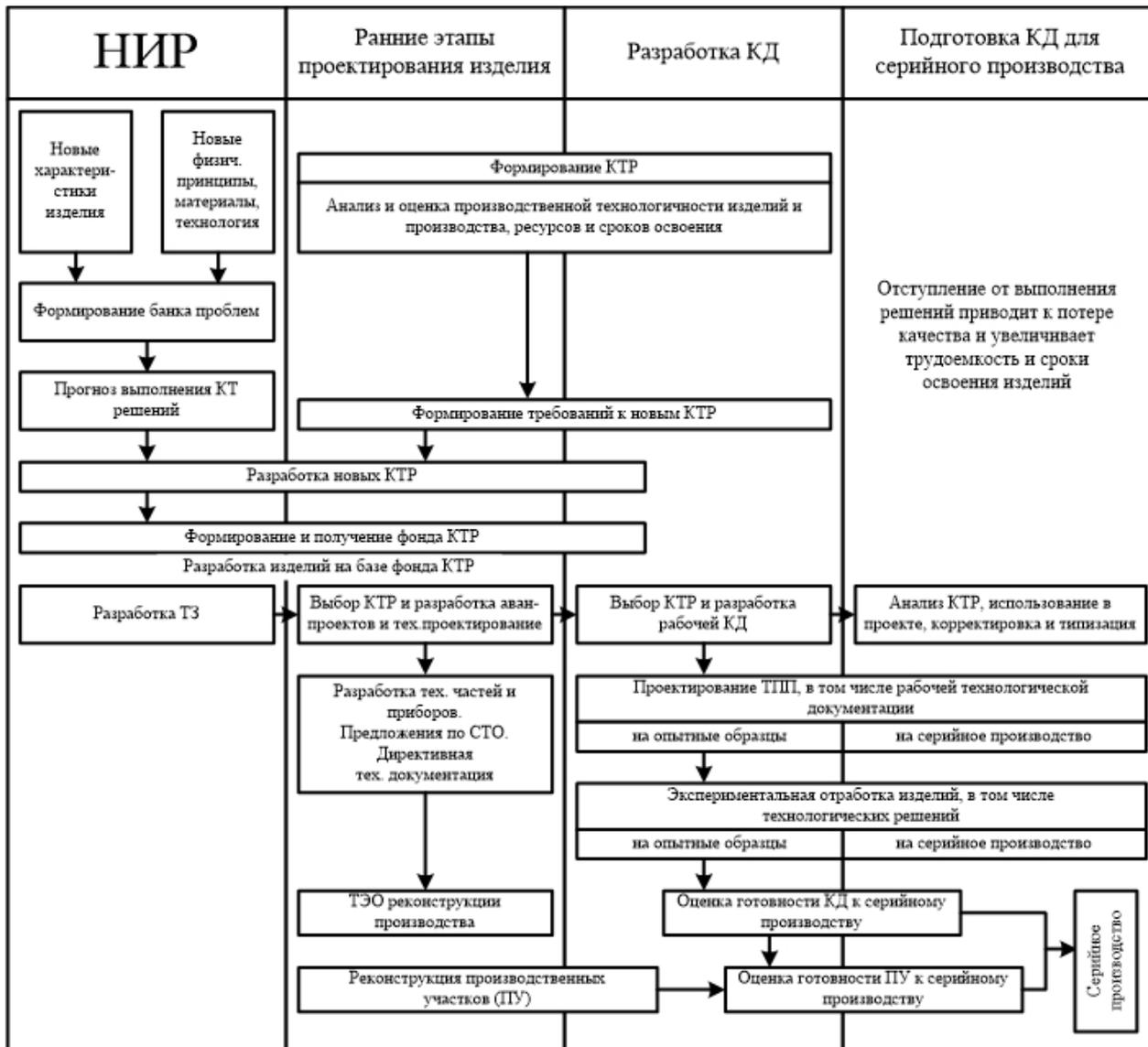


Рис. 12. Модель (типовая) технического обеспечения проектирования изделия

Каждый этап модели технического обеспечения проектирования имеет свои особенности, но все они взаимосвязаны между собой и в совокупности соответствуют принципу единства процесса стадий разработки конструкции, технологической разработки и подготовки серийного производства.

В соответствии с этой моделью на стадии НИР разрабатываются новые характеристики изделия с одновременно сформированным пакетом новых физических принципов, материалов, компонентов и базовых технологий. Это ложится в основу формирования банка проблем и формируется прогноз выполнения КТР. Уже на этой стадии начинается разработка новых КТР, формирование и получение фонда КТР. Фонд КТР – основа для разработки изделия и прежде всего на стадии НИР разработки технического задания.

Как видно, в процессе разработки изделия конструкторской документации в полном объеме пока еще нет, но уже на основе выработанных технологических решений начинается формирование пакета программ по реконструкции производства и участков, что очень важно для ускорения темпов создания изделия и его серийного производства.

На этапе разработки КД продолжается и заканчивается формирование КТР, их анализ и оценка производственной технологичности изделий и производства, анализируются ресурсы и сроки

освоения изделия в производстве. Продолжается и заканчивается формирование требований к новым КТР, разработка новых КТР и формирование их фонда. Важно, что на этом этапе осуществляется окончательный выбор КТР и заканчивается разработка конструкторской документации. На этой стадии проектируется технологическая подготовка производства, в том числе рабочей технической документации, производится экспериментальная отработка изделий, включая технологические решения, изготавливаются опытные образцы, оценивается готовность конструкторской документации к серийному производству, а также готовность производственных участков к серийному производству.

Этап испытаний изделия совмещен с окончанием подготовки конструкторской документации для серийного производства и осуществлением запуска установочной партии серийного производства. Необходимо всегда помнить, что отступление от выполнения тех или иных этапов работ приводит не только к потере качества, но и увеличивает трудоемкость и сроки освоения изделий.

Эти важные особенности ускорения продвижения продукта на рынок на основе новых принципов создания продукта одновременно с разработкой методов адаптации изделия к организационно-техническим условиям производства позволяют обеспечить высокий уровень качества изделий, конкурентоспособность на рынке при минимизации затрат на всех стадиях разработки, производства и эксплуатации [11].

Заключение

Использование общесистемных и методологических принципов конструирования аппаратуры и применение организационных принципов конструирования на основе «единства процесса создания конструкции, компонентов, технологии и организации производства» позволили при разработке трех радиолокационных систем обеспечить:

1) высокую степень аппаратной и функциональной интеграции, позволивших сократить количество модулей в МБРЛС до 3–4 (в существующих аналогах БРЛС – 13 блоков). Существенно сократить количество различных соединений и кабелей и уменьшить вес кабельной системы с ~ 20–25 кг в существующих системах до 1,5–2 кг в новых разрабатываемых системах;

2) высокий уровень стандартизации внутренних и внешних интерфейсов, позволяющих легкую адаптацию МБРЛС к различному типу летательных аппаратов, а стандартные внутренние интерфейсы обеспечивают модернизируемость МБРЛС в процессе жизненного цикла;

3) высокий уровень цифровизации с одновременно аппаратной и функциональной интеграцией в радиолокационной системе, что позволило резко сократить массогабаритные характеристики аппаратуры, снизить, например, вес МБРЛС «Ка» диапазона волн до 32 кг, вместо существующей БРЛС этого диапазона – 140 кг, существенно снизить (в три раза) энергопотребление, а следовательно, и выделение тепла, аппаратно и функционально интегрировать аппаратуру и создать унифицированные базовые радиолокационные модули для диапазона Ка, Ку, Х, которые имеется возможность применять в БРЛС для любого носителя, адаптируя лишь антенную систему к летательному аппарату (тип антенны – по требованию Заказчика);

4) повышение надежности в 2,5 раза по сравнению с существующими БРЛС, находящимися в эксплуатации, и надежность не менее 300–350 ч на отказ;

5) высокий уровень автоматизированного контроля, позволивший резко сократить количество стендовой аппаратуры, необходимой для эксплуатации;

6) повышение точности определения координат цели в 2,5–3 раза, а также других тактико-технических характеристик.

Проведенные мероприятия по созданию опытных образцов МБРЛС нового поколения позволят существенно сократить стоимость аппаратуры по сравнению с существующими аналогами, а также стоимость жизненного цикла.

Библиографический список

1. *Канащенков, А. И.* Формирование облика авиационных систем управления вооружением / А. И. Канащенков. – М. : Радиотехника, 2006.
2. *Канащенков, А. И.* Теория и практика управления современными организационно-экономическими системами (на опыте российских предприятий) / А. И. Канащенков. – М. : Блок-информ-экспресс, 2000.
3. *Антипов, В. Н.* Многофункциональные радиолокационные комплексы истребителей / В. Н. Антипов, С. А. Исаев, А. А. Лавров, В. И. Меркулов. – М. : Воениздат, 1994.

4. *Балуев, В. Н.* Авиационные прицельные системы / В. Н. Балуев, А. К. Ганулич, В. М. Герасимов, А. И. Козменко. – М. : ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1986.
5. *Меркулов, В. И.* Авиационные системы радиоправления. Т. 1. Принципы построения систем радиоправления. Основы синтеза и анализ / под ред. А. И. Канащенкова, В. И. Меркулова. – М. : Радиотехника, 2003.
6. *Канащенков, А. И.* Малогабаритная многорежимная бортовая радиолокационная система КУ-диапазона волн / А. И. Канащенков, А. М. Матвеев, С. В. Новиков, Д. С. Красавин // *Электросвязь*. – 2018. – № 5. – С. 55–61.
7. *Канащенков, А. И.* К вопросу формирования облика средств управления вооружением нового поколения / А. И. Канащенков, К. Ю. Гаврилов, С. В. Новиков // *Вопросы оборонной техники. Сер. 16: Технические средства противодействия терроризму*. – 2018. – № 5-6 (119-120). – С. 118–122.
8. *Канащенков, А. И.* Малогабаритные интегрированные радиолокационные системы нового поколения для летательных аппаратов / А. И. Канащенков, А. М. Матвеев, Э. С. Минаев, С. В. Новиков // *Известия высших учебных заведений. Авиационная техника*. – 2017. – № 4. – С. 153–157.
9. *Рогов, В. Я.* Экономические характеристики и рынок применения бортовой радиолокационной станции / В. Я. Рогов, С. В. Новиков // *Modern Economy Success*. – 2017. – № 6. – С. 150–153.
10. *Канащенков, А. И.* Модернизация инструментария открытого конкурсного отбора высокотехнологичных проектов / А. И. Канащенков, Э. С. Минаев, С. В. Новиков // *Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева*. – 2016. – Т. 72, № 1. – С. 79–85.
11. *Канащенков, А. И.* Возможности применения малогабаритного цифрового радара в самолетной авиации / А. И. Канащенков, А. М. Матвеев, С. В. Новиков // *Труды МАИ*. – 2016. – № 89. – С. 23.

References

1. Kanashenkov A. I. *Formirovanie oblika aviacionnyh sistem upravleniya vooruzheniem* [Formation of the image of aviation weapons control systems]. Moscow: Radiotekhnika, 2006.
2. Kanashenkov A. I. *Teoriya i praktika upravleniya sovremennymi organizacionno-ehkonomicheskimi sistemami (na opyte rossijskikh predpriyatij)* [Theory and practice of management of modern organizational and economic systems (on the experience of Russian enterprises)]. Moscow: Blok-inform-ehkspress, 2000.
3. Antipov V. N., Isaev S. A., Lavrov A. A., Merkulov V. I. *Mnogofunkcional'nye radiolokacionnye komplekсы istrebitelej* [Multi-functional fighter radar systems]. Moscow: Voenizdat, 1994
4. Baluev V. N., Ganulich A. K., Gerasimov V. M., Kozmenko A. I. *Aviacionnye pricel'nye sistemy* [Aircraft sighting systems]. Moscow: VVIA named N. E. Zhukovskogo, 1986.
5. Merkulov V. I., Drogalin V. V., Kanashenkov A. I. *Aviacionnye sistemy radioupravleniya. T.1, Principy postroeniya sistem radioupravleniya. Osnovy sinteza i analiz* [Aviation systems of radio control. V.1, Principles of construction of radio control systems. Basics of synthesis and analysis]. Moscow: Radiotekhnika, 2003.
6. Kanashchenkov A. I., Matveev A. M., Novikov S. V., Krasavin D. S. *Elektrosvyaz'* [Telecommunication]. 2018, no. 5, pp. 55–61.
7. Kanashchenkov A. I., Gavrilov K. Yu., Novikov S. V. *Voprosy oboronnoj tekhniki. Seriya 16: Tekhnicheskie sredstva protivodejstviya terrorizmu* [Questions of defense technology. Series 16: Technical means of countering terrorism]. 2018, no. 5-6 (119-120), pp. 118–122.
8. Kanashchenkov A. I., Matveev A. M., Minaev E. S., Novikov S. V. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Aviacionnaya tekhnika* [Proceedings of higher educational institutions. Aviation technology]. 2017, no. 4, pp. 153–157.
9. Rogov V. Ya., Novikov S. V. *Modern Economy Success*. 2017, no. 6, pp. 150–153.
10. Kanashchenkov A. I., Minaev E. S., Novikov S. V. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A. N. Tupoleva* [Bulletin of Kazan State Technical University. A. N. Tupolev]. 2016, vol. 72, no 1, pp. 79–85.
11. Kanashchenkov A. I., Matveev A. M., Novikov S. V. *Trudy MAI* [Works of MAI]. 2016, no. 89, p. 23.

Канащенков Анатолий Иванович

доктор технических наук, профессор,
главный конструктор,
директор Научного центра специальных
радиоэлектронных систем и менеджмента,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(125993, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: kai_ncsrm@mail.ru

Kanashchenkov Anatoly Ivanovich

doctor of technical sciences, professor, chief designer,
director of Scientific Center of Special
Radio-Electronic Systems and Management,
Moscow Aviation Institute
(National Research University)
(125993, 4 Volokolamsk highway, Moscow, Russia)

Новиков Сергей Вячеславович

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра менеджмента и маркетинга
высокотехнологичных отраслей промышленности,
Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)
(125993, Россия, Москва, Волоколамское шоссе, 4)
E-mail: ncsrm@mail.ru

Novikov Sergey Vyacheslavovich

candidate of economical sciences, associate professor,
sub-department of management and marketing
of high-tech industries,
Moscow Aviation Institute
(National Research University)
(125993, 4 Volokolamsk highway, Moscow, Russia)

УДК 621.396

Канащенко, А. И.

Основные методологические принципы проектирования радиолокационных систем летательных аппаратов нового поколения / А. И. Канащенко, С. В. Новиков // Надежность и качество сложных систем. – 2018. – № 3 (23). – С. 71–84. – DOI 10.21685/2307-4205-2018-3-10.