

Министерство образования и науки Российской Федерации

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ

(национальный исследовательский университет)

На правах рукописи



Дембицкий Дмитрий Николаевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО
УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ РЛС НА БАЗЕ ЕДИНОЙ
АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Шифр специальности: 05.13.12

Системы автоматизации проектирования (радиотехнических устройств и систем)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

д.э.н, Профессор,

Лауреат Государственной премии РФ

Боев Сергей Федотович

Москва 2015 год

Оглавление

Перечень сокращений, условных обозначений, терминов.....	3
Введение	4
1. Глава 1. Анализ походов к созданию РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы.....	7
1.1. Принципы создания РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы.....	7
1.2. Анализ методов управления процессами проектирования РЛС на основе АПП.....	16
1.3. Постановка задач диссертации.....	27
2. Математические модели анализа процесса создания РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы.....	31
2.1. Параметрическая модель оценки готовности компонентов РЛС	32
2.2. Оценка готовности по соответствию характеристик требованиям процесса разработки	37
2.3. Статистическая модель оценки готовности компонентов.....	38
2.4. Стохастическая модель оценки вероятности нарушения графика разработки РЛС	43
2.5. Структурная модель оценки вероятности нарушения графика разработки РЛС.....	51
Выводы по главе 2	54
3. Разработка метода управления рисками проектирования РЛС	57
3.1. Метод оценки факторов управления процессом разработки РЛС.....	58
3.2. Управление выбором компонентов из библиотек АПП	63
3.3. Управление процессом проектирования при разработке компонентов РЛС	68
3.4. Управление процессом проектирования при планировании работ по созданию РЛС 73	73
Выводы по главе 3	78
4. Структура автоматизированной системы управления проектированием РЛС	80
4.1. Структура программно-аппаратного комплекса создания РЛС	80
4.2. Структура автоматизированной системы управления проектированием РЛС	85
4.3. ПК ввода информации о структуре и характеристиках функционально-параметрической модели	92
4.4. Программный комплекс ввода и редактирования данных (ПКРОВ) АПП РЛС.....	99
4.5. Программный комплекс формирования вариантов подстановки модели (ПКФВПМ) 106	106
Выводы по главе 4	109
5. Апробация и внедрение разработанного математического обеспечения	110

5.1. Пример оптимального управления процессом создания перспективной РЛС дальнего обнаружения	110
5.2. Апробация и внедрение разработанных методов и алгоритмов	114
Выводы по главе 5	115
Заключение.....	116
Список использованных источников.....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	125
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	132
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	138

Перечень сокращений, условных обозначений, терминов

РЛС – радиолокационная станция дальнего обнаружения
АСУ – автоматизированная система управления
ЕАПП – единая аппаратно-программная платформа
ПРО – противоракетная оборона
ТТХ - тактико-технические характеристики
ФАР – фазированная антенная решетка
ТТЗ – тактико-техническое задание
САПР – система автоматизированного проектирования
CAD - англ. computer-aided design - Система автоматизации проектных работ
ИИБ - информационный интерфейс библиотек
КТС – конструкторско-технологическая система
ФАС – функционально-алгоритмическая система
РЭК - радиоэлектронный комплекс
ФПО – функциональное программное обеспечение
ФТМ – функционально-технологическая матрица
ФПМ- функционально-параметрическая модель
РИ – радиоизображение
ВВТ – вооружение и военная техника
ЖЦ – жизненный цикл
СГК – стенд генерального конструктора
АПП – аппаратно-программная платформа
PDM - англ. Product Data Management — система управления данными об изделии
АСУС – автоматизированная система управлением созданием
АСУП – автоматизированная система управления проектированием
ИСУЖЦ – информационная система управления жизненным циклом

Введение

Повышение функциональной сложности современных РЛС, проектируемых для систем противоракетной обороны (ПРО) приводит к усложнению управления процессами их разработки. Практика показывает, что, несмотря на повсеместное внедрение САПР, автоматизация управления проектированием остается плохо формализованной областью принятия решений. Развитие средств управления проектами сильно отстают от темпов усложнения РЛС. На верхнем уровне руководства проектом РЛС область анализ и принятие управленческих решений до сих пор является полной прерогативой Главного конструктора и мало подвержена новациям.

Вместе с тем повышение функциональной и конструктивно-технологической сложности РЛС для ПРО (далее РЛС) приводит к многократному возрастанию временных и ресурсных затрат на их создание. Одним из факторов этого роста является снижение эффективности руководства процессами разработки. Централизация управления входит в противоречие с лавинным ростом информации, постоянно требующей оперативных решений на всех стадиях жизненного цикла разработки РЛС.

Возникает необходимость применения методов автоматизированного управления проектированием на самом верхнем уровне создания РЛС. Конечно, невозможно придумать алгоритм принятия творческих решений, невозможно заменить разработчика высокой квалификации, многолетний опыт и инженерную интуицию. Однако современные вычислительные средства позволяют облегчить выполнение творческих задач путем применения алгоритмических методов анализа и обработки информации.

Вопросам исследования и разработки таких методов в области управления проектированием РЛС посвящена данная диссертация.

Одна из главных причин разработки новых подходов к проектированию РЛС обусловлена возникшим противоречием между повышением требований к характеристикам РЛС, усложнением их функций и отставанием базовых

технологий их создания. Это приводит к существенному увеличению сроков разработки и объемов ресурсного обеспечения.

Новые системы проектирования и управления созданием РЛС должны обеспечивать оптимизацию структуры и параметров комплексов (блоков, модулей) РЛС в условиях сокращения сроков разработки (до 3-5 лет) и объема финансирования (на 30-50%). Особую остроту это противоречие приобретает при создании многофункциональных РЛС нового поколения с использованием принципиально-новых технических решений [2].

Используя традиционные методы проектирования, становится все труднее реализовать заданные тактико-технические требования на РЛС в заданные сроки и с требуемым объемом финансирования.

Проектирование и создание РЛС нового поколения с минимизацией рисков проектирования и широкой унификацией, в сжатые сроки, возможно на основе использования единой аппаратно-программной платформы проектирования (АПП), являющейся универсальным интеграционным средством (своего рода моделью конструктора), в котором отражается общая логика формирования базовых проектных решений главным конструктором.

В основе предложенной в ОАО РТИ методики проектирования РЛС с использованием АПП лежат следующие принципы [9,10]:

- 1) матричная декомпозиция и система анализа на основе реконфигурируемой унифицированной блочно-модульной структуры проектируемой РЛС, включающей функциональные системы и конструктивно-технологические комплексы аппаратных и программных блоков (модулей);
- 2) разработка новых теоретических основ и аппаратно-программных компонентов функциональных систем и конструктивно-технологических комплексов РЛС;
- 3) отработка и испытания функциональных систем РЛС на стенде генерального конструктора с унифицированным комплексом имитационно-моделирующих систем (УКИМС), обеспечивающего

структурно-функциональное совмещение в системе проектирования имитационных и натуральных аппаратно-программных блоков, для комплексной оценки и функциональной увязки новых условий фоноцелевой обстановки, условий эксплуатации и конструктивно-технологических параметров реализации блоков (модулей);

- 4) итеративная оценка уровня производственно-технологической готовности комплексов (блоков, модулей) РЛС;
- 5) проектное управление на базе новой расширенной автоматизированной системы с поэтапной оценкой ресурсов и возможностей создания РЛС.

Автоматизация процесса проектирования новых РЛС на основе предложенной единой платформы упорядочивает применение таких успешно зарекомендовавших себя системных принципов построения сложных технических комплексов, как унификация, модульность, иерархичность, открытость, интеграция, эволюционное развитие. Это способствует сокращению сроков проектирования изделий и повышению качества и успешности проектов по созданию РЛС новых поколений.

Для развития новых подходов необходима основательная программно-информационная поддержка, которая должна обеспечить наиболее полное использование преимуществ концепции единой аппаратно-программной платформы в направлении систематизации, анализа и применения накопленного опыта для эффективного управления разработками на всех стадиях создания РЛС новых поколений.

Новизна предлагаемого в диссертации подхода состоит в том, что критериями эффективности управления созданием РЛС нового поколения является учет факторов, непосредственно влияющих на процесс проектирования, в том числе текущих показателей технической, технологической и производственной готовности комплексов, блоков и модулей, в условиях жестких временных ограничений. При этом

источниками исходными данными для оценки эффективности управления выступают: верифицированные на *стенде генерального конструктора* текущие конструкторско-технические характеристики компонентов проектируемой РЛС и имеющаяся в базах данных информация о накопленном опыте разработок предыдущих поколений РЛС. Комплексное применение факторов, влияющих на процесс проектирования, формализация их связей с показателями процесса создания РЛС и в конечном итоге переход к автоматизированному управлению процессом разработки является перспективным направлением исследований, как с позиций теории проектирования, так и с позиций практической значимости для создания перспективных РЛС.

В диссертации представлены результаты исследований и разработок моделей автоматизации управления процессом создания РЛС путем включения в аппаратно-программный комплекс предприятия программно-информационных средств, позволяющих разработчикам контролировать состояние процесса проектирования и оказывать эффективное влияние на его показатели для успешного завершения при жестких временных и ресурсных ограничениях.

1. Глава 1. Анализ походов к созданию РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы.

1.1. Принципы создания РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы

Для РЛС нового поколения необходима концепция проектирования, позволяющая определить систему основных показателей, факторов и условий проектирования, способствующих комплексному решению проблемы создания РЛС высокого уровня новизны в сжатые сроки [9]. Концепция проектирования -это система взглядов, определяющая общую

направленность и методологические основы задач принятия решений в процессе проектирования.

Известен способ представления концепции создания РЛС, как перечисление показателей эффективности создания РЛС, обеспечивающих минимизацию рисков с требуемыми заказчиком характеристиками в заданные сроки и в пределах выделенного финансирования. В основе такой концепции должна лежать система принципов и положений, позволяющих обосновать требования к ее функциональным возможностям и разработать платформу проектирования для выбора состава и структуры РЛС нового поколения. Такой комплекс задач сложно выполнить на основе известного метода создания РЛС [24], не позволяющего осуществить комплексную оценку проекта с учетом как заданных ТТХ, так и производственно-технологических, финансовых и других возможностей завершения проектирования РЛС в заданные сроки.

К настоящему времени в области построения сложных систем, к которым относится РЛС, получил распространение платформенный подход [2,5]. Понятие платформы является многоплановым, но с точки зрения построения таких систем следует выделить два аспекта в использовании этого понятия:

1) Платформа как конструкторско-технологическая основа построения технической системы.

2) Платформа как инструментальная основа проектирования и создания изделий, определяющая совокупность моделей и методов для принятия проектных решений.

В первом случае платформа определяет совокупность основных компонентов, набор комплектующих, типовые конструктивные и технологические решения, применяемое оборудование в конструкции сложных систем, рассматриваемых на единой системной основе. Во втором случае платформа выступает в роли технологического базиса

проектирования, который определяет методологию создания технической системы на основе ряда шагов ее эволюционного развития.

Необходимость совершенствования методологии создания РЛС нового поколения обусловлена противоречием между высокими требованиями к проектируемой РЛС, финансовыми и временными ограничениями на проведение широкого комплекса работ по разработке новых прорывных технологий создания и производства систем, блоков, модулей. Применение теории платформ открывает пути разрешения указанного противоречия [3, 4].

Как правило, под платформой понимается блочно-модульный комплекс открытой архитектуры, обеспечивающий возможность создания ряда новых систем из основных компонентов, которые есть совокупность старых модулей (из состава предыдущей разработки), новых (разрабатываемых) модулей из текущей разработки и будущих модулей (из планируемой разработки). В работах [3,4] показано, что платформа обладает рядом характеристик, которые обеспечивают повышение оперативности и эффективности проектирования сложных систем. К таким характеристикам платформы принято относить следующие показатели:

- универсальность, как возможность проектирования систем с различными тактико-техническими характеристиками (ТТХ) на основе существующих модулей;
- безопасность, как возможность использования только верифицированных процедур подключения компонентов и исключение несанкционированных действий в процессе проектирования;
- надёжность, как способность гарантировано выполнять необходимые функции на основе компонентов платформы;
- ускоренная разработка системы за счет использования готовых компонентов;
- проектное взаимодействие, при котором в единой системе проектирования одновременно применяются несколько дополняющих друг друга методов и алгоритмов.

В области проектирования платформенный подход получил наибольшее распространение при разработке программных инструментальных средств, ориентированных на использование в процессах создания сложных программных и информационных систем [5,6]. При использовании подобных инструментов процесс разработки программного обеспечения рассматривается, как производственный процесс, что требует создания и внедрения *методик управления* этим процессом, сходных с методиками управления процессами проектирования в материальном производстве. Внедрение таких методик зачастую осуществляется путем объединения на основе интегрированных платформ разработки приложений программных компонентов одного или нескольких производителей с целью автоматизации и оптимизации процессов, достижения соответствия стандартам качества [7].

При создании РЛС платформенная концепция требует учета ряда дополнительных условий:

- одновременное проектирование функционально-программного обеспечения (ФПО) и аппаратно-программных модулей,
- разработки должны обеспечивать унификацию и комплексирование новых модулей, удовлетворяющих разнородным требованиям ГТХ, что сложно обеспечить, когда предприятие создает ряд РЛС с существенно отличающимися режимами работы и видом их базирования,
- всесторонний учет научно-технического задела и разработок, использование которых позволило бы объединить наиболее удачные новые проектные решения [8].

Внедрению единой аппаратно-программной платформы (АПП) способствуют:

- высокий уровень развития унификации технологий и производства;
- развитие принципов блочно-модульного построения РЛС;

- широкое применение САПР CAD/CAM в разработке модулей и блоков РЛС;
- широкое использование цифровых компонентов (модулей, блоков) и программных средств в структуре РЛС;
- многолетний опыт создания РЛС предыдущих поколений и наличие большого технического задела и наработок.

В проектировании РЛС АПП определяется, как совокупность моделей аппаратно-программных решений и методов их использования, обеспечивающих единство архитектурных, структурных, технологических и иных решений, используемых при создании ряда РЛС на всём ее жизненном цикле.

Предлагаемая концепция проектирования РЛС на базе единой платформы проектирования может быть реализована в виде ряда развития РЛС [9].

Понятие «*ряд развития*» отражает применение принципа постепенного наращивания возможностей вновь создаваемых РЛС и основывается на том, что всякое изделие можно характеризовать набором его показателей (характеристик) $H = (H_1, H_2, \dots, H_L)$, где L – число используемых показателей. Это могут быть количественные показатели, но допускается использование качественных показателей с некоторой мерой. Важно, чтобы для значений меры h_k ($k=1,2,\dots,L$) каждого показателя H_k определялось отношение порядка, позволяющее сравнивать данные значения между собой. Введенный вектор H естественно называть *характеристическим портретом изделия*. Тогда всякое изделие можно характеризовать вектором или кортежем значений показателей $h = (h_1, h_2, \dots, h_L)$ и производить сравнение соответствующих характеристик H_k различных изделий.

С использованием понятия *характеристического портрета* ряд развития РЛС формально можно определить следующим образом. Пусть имеется изделие R_i , которое характеризуется определенными значениями

показателей $h^i = (h_1^i, h_2^i, \dots, h_L^i)$. На его основе требуется создать изделие R_{i+1} , характеризуемое таким набором показателей $h^{i+1} = (h_1^{i+1}, h_2^{i+1}, \dots, h_L^{i+1})$, что для заданных (одного или нескольких) показателей $h_k^{i+1} > h_k^i$, а для остальных показателей $h_j^{i+1} \leq h_j^i$, где $j \neq k$, знак $>$ означает лучше, а знак \leq – не хуже. Про изделие R_{i+1} можно сказать, что оно является развитием изделия R_i , и это отношение можно записать в виде $R_i \prec R_{i+1}$. Тогда ряд развития изделий можно определить, как последовательность $\hat{R}_q = (R_1, R_2, \dots, R_q)$, в которой любые два соседних компонента R_i и R_{i+1} ($i = 1, 2, \dots, q-1$) связаны отношением $R_i \prec R_{i+1}$.

Ряд развития \hat{R}_q упорядочен системой показателей характеристических портретов и отражает улучшение технических характеристик изделия в соответствии с существующей тенденцией совершенствования РЛС, определяемой спросом со стороны отдельных отраслей (заказчиков). Наличие отношения упорядочения позволяет для ряда развития \hat{R}_q определить нижнюю $\underline{h} = (\underline{h}_1, \underline{h}_2, \dots, \underline{h}_L)$ и верхнюю $\bar{h} = (\bar{h}_1, \bar{h}_2, \dots, \bar{h}_L)$ границы характеристических портретов изделий в составе ряда, которые отражают диапазон значений характеристик изделий, достигаемых внутри ряда.

Создаваемая РЛС характеризуется заданными заказчиком значениями показателей h_1^*, \dots, h_L^* , часть из которых превосходит характеристики из диапазона (\underline{h}, \bar{h}) значений для ряда развития. В данном —случае для удовлетворения требований заказчика производителю необходимо организовать цикл проектирования нового изделия R_{q+1} с улучшенными характеристиками, которое можно включить в ряд развития, что позволит аккумулировать и использовать накопленный потенциал в проектировании и производстве РЛС и создаст хорошую основу для развития принципов открытой архитектуры и унификации разрабатываемых изделий.

Будем рассматривать платформу, как универсальное интеграционное средство (модель), в котором отражается общая логика формирования базовых проектных решений главным конструктором [10]. Структура платформы системы проектирования РЛС, ее общий принцип организации и состав представлены на рис. 1.1.1 (индекс i означает состояние Π_i платформы, соответствующее циклу проектирования изделия R_i в ряду развития).

В целом платформа состоит из двух частей: информационной базы и процессной части, которые объединены посредством внутреннего шинного информационного интерфейса. Информационная база включает компоненты, определяющие информационный ресурс, который используется при формировании облика РЛС. Процессная часть содержит ряд блоков, определяющих действия, которые необходимо выполнять в процессе принятия проектных решений на основе имеющейся информационной базы.

Формально информационная база платформы, соответствующая циклу проектирования изделия R_i , определяется как совокупность элементов A_i , P_i , I_i , T_i , C_i , S_i , каждый из которых отражает определенный аспект информационного ресурса платформы:

A_i , P_i , I_i – библиотеки (наборы) соответственно аппаратных, программных, интерфейсных модулей, используемые при создании РЛС, со всеми их характеристиками и свойствами, определяемыми соответствующими спецификациями;

T_i – параметры, отражающие возможности и готовность стендового и метрологического обеспечения для проведения испытаний используемых модулей в составе разрабатываемой РЛС на этапе изготовления образца изделия R_i ;

C_i – совокупность моделей функциональных систем и систем сигналов, представляющие аппаратные и алгоритмические компоненты трактов РЛС, обеспечивающих решение ее различных функциональных задач;

S_i – набор шаблонов (моделей) проектирования.

Перечисленные компоненты отражают модельные представления различных аспектов организации РЛС как системы и предназначены для многократного использования при проектировании. Путем комбинирования совокупности таких моделей по определенным правилам можно создавать желаемый облик РЛС.

Для интеграции информационной базы платформы с другими системами, в частности САПР, в структуре платформы предусмотрен информационный интерфейс библиотек, что создает возможность использования одинаковых библиотек на разных уровнях проектирования РЛС.

Создание нового изделия R_{i+1} в ряду развития \hat{R}_i основывается на использовании и модификации состояния платформы $\Pi_i = (A_i, P_i, I_i, T_i, C_i, S_i)$, сформированной в цикле проектирования изделия R_i и содержащей весь потенциал проектирования, накопленный к данному времени. Модификация состояния платформы осуществляется на основе решения главного конструктора о нововведениях, направленных на улучшение характеристик РЛС, что определяет новое состояние платформы $\Pi_{i+1} = \Pi_i + \Delta \Pi_{i+1}$ для проектирования изделия R_{i+1} . Величина $\Delta \Pi_{i+1}$ в этой формуле представляет собой кортеж $\Delta \Pi_{i+1} = (\Delta A_{i+1}, \Delta P_{i+1}, \Delta I_{i+1}, \Delta T_{i+1}, \Delta C_{i+1}, \Delta S_{i+1})$, где каждый элемент отражает дополнения и изменения, которые затрагивают соответствующий элемент платформы.

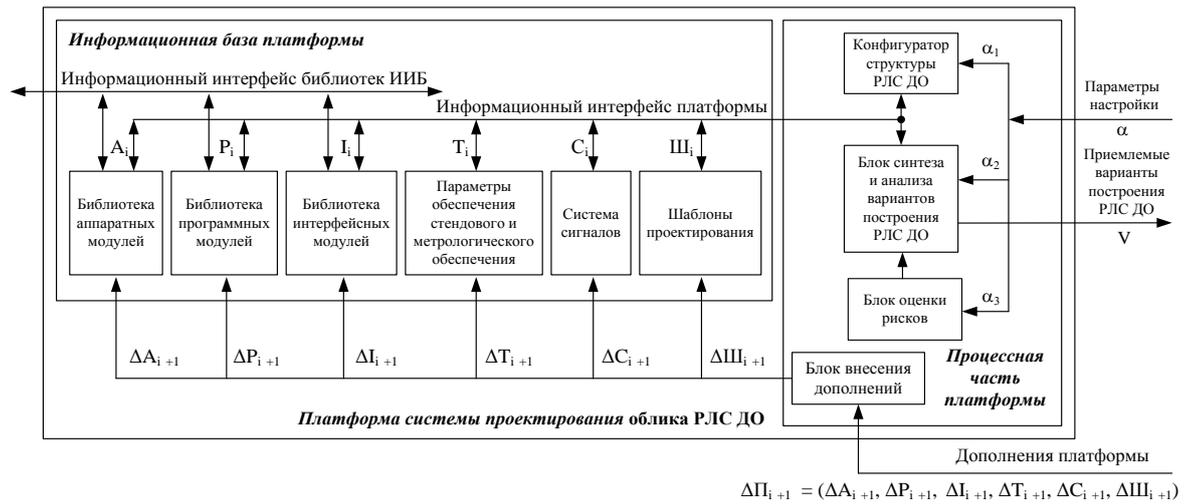


Рис. 1.1.1 Структура единой аппаратно-программной платформы создания РЛС

Конфигуратор предназначен для построения модели конфигурации структуры РЛС, соответствующей определенному допустимому варианту модульной компоновки изделия. Такая модель используется в блоке синтеза и анализа вариантов построения РЛС, который реализует логику комбинаторного перебора различных вариантов построения изделия в целях выбора приемлемых вариантов. При этом отбор вариантов проводится по критерию, функционал которого определен в блоке оценки рисков.

Используемый критерий в целом соответствует политике принятия проектных решений, направленной на минимизацию рисков проектирования либо на обеспечение приемлемого уровня таких рисков. В функционале критерия учитываются два основных вида рисков: нарушение заданных сроков изготовления изделия и превышения запланированных затрат на изготовление. С этой точки зрения можно сказать, что платформа содержит *ядро управления* созданием РЛС, которое предназначено для повышения уровня завершенности проектов.

Для управления действиями блоков процессной части предусмотрена возможность использования набора параметров настройки α . С помощью настроек α_1 можно задавать уровень детализации модели структуры в конфигураторе, α_2 используются для задания глубины просмотра и анализа вариантов, α_3 позволяют изменять параметры функционала критерия в процессе формирования предпочтительного облика РЛС. В пределах диапазона изменения параметров настроек разработчик может варьировать уровень детализации решений, что предоставляет ему возможность создавать собственную стратегию формирования предпочтительного варианта облика РЛС.

Рассмотренная концепция проектирования РЛС на основе АПП является основой создания автоматизированной системы управления проектированием. Она предоставляет возможности использовать накопленный в ряду развития \hat{R}_i опыт в виде информационной базы и процессной части для управления созданием желаемого облика РЛС.

1.2. Анализ методов управления процессами проектирования РЛС на основе АПП

Системы управления проектами получили импульс развития после широкого внедрения сетевых информационных технологий, которые позволили объединять коллективы разработчиков проектов на основе применения интегрированных баз данных [60]. Стала возможной реализация систем сквозного параллельного проектирования.

Функциями систем управления проектом являются [22]: слежение за состоянием проекта, координация и синхронизация параллельно выполняемых процедур, управление методологией проектирования.

Современные системы управления проектированием находят самое широкое распространения и в настоящее время востребованы в областях проектирования сложных технических объектов. Рассмотрим основные

тенденции их развития на примерах наиболее известных программных продуктов.

САПР Teamcenter компании Siemens PLM Software объединяет процессы разработки и управления проектированием. Технологии PLM (*product lifecycle management*) объединяют методики и средства информационной поддержки изделий на протяжении всех этапов жизненного цикла изделий. Характерная особенность PLM — обеспечение взаимодействия как средств автоматизации разных производителей, так и различных автоматизированных систем многих предприятий. Решение по управлению процессом разработки изделия Teamcenter позволяет специалистам работать в рамках территориально-распределенной среды, сведя все конструкции в единую систему управления данными об изделиях (PDM). Это дает возможность фиксировать проектные данные изделия, управлять ими и синхронизировать их, а также автоматизировать процессы внесения технических изменений, проверки и утверждения.

Другая ведущая в области систем управления проектами САПР Windchill компании PTC, которая на сегодняшний день является, пожалуй, одним из наиболее функционально полных продуктов в этой области [57]. Ориентируется на задачи: управления проектными данными; внесением в них изменений; управлением конфигурациями объектов. Такие же задачи решают системы управления проектами, разработанные зарубежными фирмами (IBM/Dassault Systemes; PTC; UGS PLM Solutions), и отечественными разработчиками (CSoft; SolidWorks-Russia (SWR); АСКОН; Интермех ; «Лоция Софт»; НИЦ CALS-технологий «Прикладная логистика»; «Топ Системы») [58, 58, 59].

Анализ рынка программного обеспечения показывает, что общая тенденция систем автоматизированного управления проектами (АСУП) связана с созданием средств образования маршрутов проектирования, CALS-технологиями (хранение, обработка и передача информации в компьютерных

средах), управления проектными данными на всех этапах жизненного цикла изделия, обеспечения интеграции специализированных САПР для стыковки информации об изделии.

Решение перечисленных задач является в настоящее время одним из важнейших показателей эффективности организации проектных работ. В РТИ подобная система (Windchill) уже используется при проектировании РЛС и дает положительные результаты.

Обладая великолепными показателями в систематизации проектной документации, в обеспечении «безбумажных» методах сопровождения проектов, рассмотренные PLM-системы предоставляют возможности доступа к информации о проекте на всех уровнях руководства и на всех этапах жизненного цикла изделия. Практика внедрения таких САПР показывает, что наряду с несомненными преимуществами они не всегда обеспечивают необходимый уровень контроля за интегральными характеристиками процесса проектирования. При возрастании сложности проектируемого объекта детальный контроль часто вступает в противоречие с необходимостью получения обобщенных оценок. Руководителю необходимо в оперативном режиме иметь представление о состоянии процесса разработки, как на уровне отдельных участков, так и на уровне всего проекта.

Лавинный рост информации о состоянии разработки особенно сильно проявляется при создании многофункциональных РЛС для ПРО. В сложной иерархической структуре станции каждый элемент нижнего уровня может оказывать определяющее влияние на важнейшие функциональные характеристики РЛС. Таким образом, необходим, как детальный контроль за состоянием разработки отдельных блоков и модулей, так и общий, определяющий состояние всего проекта. При наличии большого числа участков и компонентов разработки такой контроль осуществить обычными средствами сложно. Это приводит к снижению четкости в управлении

проектированием, к потерям времени на повторные согласования и проверки, к нерациональному распределению ресурсов на направлениях разработки.

Одним из возможных путей повышения управляемости процессом проектирования может быть интеллектуализация формирования оценок на всех уровнях принятия решений. Включение в состав САПР баз знаний [46] на основе накопленного опыта создания РЛС предыдущих поколений позволит избежать неэффективного распределения ресурсов, будет способствовать рациональному их применению.

Исследование возможностей автоматизации управления проектированием [47, 48] показало принципиальную возможность применения в ряду развития радиотехнических устройств и комплексов алгоритмов искусственного интеллекта. Однако такие методы требуют накопления достаточного статистического материала. Эволюционное развитие РЛС – процесс растянутый во времени. Полный цикл разработки составляет около 10 лет. Это усложняет накопление такого опыта из-за снижения актуальности данных.

Внедрение в практику проектирования РЛС концепции единой аппаратно-программной платформы создает новые возможности в улучшении эффективности управления процессом проектирования [2]. Основным стимулом использования этих возможностей становятся жесткие ограничения на время и ресурсы при увеличении функциональной сложности РЛС.

Новая концепция потребовала новых средств и нового идеологического подхода к организации процесса проектирования. На первый план выходят задачи нормирования творческого процесса и создания для него средств управления. Таким образом, появилась необходимость проведения исследований в области моделирования процессов создания РЛС с позиций

оперативного контроля, получения объективных оценок, использования накопленного опыта.

Нормирование процесса создания перспективных РЛС на базе АПП можно осуществить, проанализировав влияние негативных факторов, влияющих на срыв сроков и превышение стоимости разработки.

Классификацию факторов, влияющих на создание РЛС можно систематизировать в следующем виде (рис.1.2.1) [11].



Рис. 1.2.1 Систематизация факторов проектирования и производства РЛС

С точки зрения возможности воздействия на процессы проектирования факторы можно разбить на два класса управляемые и неуправляемые. В случае если участники проекта владеют методиками влияния на процесс проектирования, они имеют дело с управляемыми факторами. К ним относятся, например, требования к параметрам компонентов РЛС, уровень финансирования работ, количество и квалификация участников проекта, сроки завершения работ. Данный класс факторов характеризуется наличием знаний о функциональной или статистической зависимости значения параметров проекта от факторов и средств воздействия на эти зависимости

$$\rho = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (1.2.1),$$

где x_1, x_2, \dots, x_N - факторы.

Если зависимость параметров проекта от факторов установлена, то можно подключить процедуры управления. Меняя значения факторов

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_N$, разработчик РЛС узнает направление (тренд) и величину изменения параметров проекта $\Delta \rho = f(x_1 + \Delta, x_2 + \Delta, \dots, x_N + \Delta) - f(x_1, x_2, \dots, x_N)$, и принимает необходимые действия по оптимизации.

Можно выделить два подкласса управляемых факторов: детерминированные и случайные. Первые влияют на параметры проекта через функциональные зависимости (1.2.1), вторые связаны с вероятностью нарушения графика работ (ВНГР) через статистические характеристики вероятностных законов.

Детерминированные факторы по большей части являются результатом инженерной оценки значений параметров проекта через значения параметров процесса проектирования, как уровень потерь в результате применения тех или иных действий. ВНГР в этой интерпретации - это абсолютное значение потерь. Преимущество в том, что расчет имеет простое инженерное толкование, связывая параметры процесса проектирования с параметрами объектов проектирования. Такое упрощение дает возможность легко строить аналитические выражения для оценки ВНГР, применять к модели математических методов оптимизации. Негативной стороной принимаемых упрощений модели ВНГР является снижение адекватности моделей, искажение реальной картины процесса проектирования.

Случайные факторы в большей степени соответствуют природе ВНГР, как математическом, так и инженерном представлении. В дальнейшем нас больше будут интересовать случайные факторы, которые доминируют в оценках ВНГР. Так как ВНГР по определению является случайной величиной, то и ее исчисление должно вытекать из статистических законов.

Подкласс неуправляемых факторов будет нас интересовать в меньшей степени. Хотя с точки зрения задач управления ВНГР они также важны, так как дают представление о тенденциях развития событий в процессе создания РЛС. К неуправляемым факторам относятся такие характеристики, как состояние бюджетного финансирования, политические процессы, влияющие

на поставки технологий, и т.п. Задачей разработчика является компенсация негативных тенденций от неуправляемых факторов путем изменения управляемых факторов.

Факторы эффективности проектирования можно классифицировать по следующим группам и подгруппам:

1. Конструкторско-технические факторы характеризующие:

1) уровень готовности новых блоков, модулей и комплексов,

2) объем относительных трудозатрат на создание новых блоков, модулей и комплексов,

3) сложность и критичностью блока, модуля в общей системе.

2. Производственные факторы характеризующие:

1) уровень готовности новых производств,

2) объем относительных трудозатрат на создание новых производств,

3) сложность новых производств.

3. Технологические факторы характеризующие:

1) уровень готовности новых технологий,

2) объем относительных трудозатрат на создание новых технологий,

3) сложность и критичность новых технологий.

Общее количество факторов, влияющих на процесс создания РЛС велико и количественно оценить их значимость практически невозможно. Поэтому, целесообразно скомпоновать эти факторы в единую модель с тем, чтобы получить количественную оценку их влияния на процесс создания РЛС нового поколения.

В настоящее время отсутствуют эффективные и адекватные модели для анализа и управления процессом создания РЛС, которые основаны на общесистемном критерии проектирования, учитывают значимые источники, влияющие на процесс, позволяют проводить количественную оценку факторов, а также обосновывать выбор проектных решений, направленных на минимизацию влияния негативных факторов на процесс проектирования.

Традиционно анализ состояния процесса проектирования осуществляется путем проведения процедур экспертного анализа, связанных с привлечением экспертов [12], участвующих в разработке. Хотя такой подход продуктивен, однако требует больших затрат времени на согласования. В условиях дефицита времени на разработку необходимо переходить к более эффективным средствам.

Следует отметить три особенности решений, принимаемых при проектировании РЛС:

1) Существует целый ряд факторов, влияющих на качество принимаемых решений, которые по существу являются эвристическими и характеризуются высоким уровнем субъективности. Такие факторы практически не формализуемы и трудно поддаются каким-либо количественным оценкам [13].

2) Проектирование и разработка новых модулей для РЛС не позволяет накопить статистику качества принимаемых проектных решений по вновь разрабатываемым модулям, необходимую для вероятностного описания моделей факторов риска и их влияния на успешность проектирования. Об этом, кстати, свидетельствует тот факт, что в литературе отсутствуют соответствующие формализованные подходы к анализу вероятностей негативных событий в ПП [14].

- Применение экспертного анализа для описания природы неопределенности принятия проектных решений также представляется малоцелесообразным и проведение процедур экспертного анализа известными методами [15, 16] будет весьма затруднительно, а в некоторых случаях невозможно.

В качестве еще одного варианта реализации экспертных оценок возможно применение метода форсайта [17], основанного на долгосрочном прогнозировании научно-технологического и социального развития. Оценка выполняется экспертной группой, сформированной на базе опытно-конструкторского бюро предприятия с привлечением в случае

необходимости специалистов из других подразделений, а также других предприятий и организаций, включая высшие учебные заведения и государственные научные центры. Экспертной группой выполняется комплекс работ, связанный с предварительной оценкой уровня готовности компонентов РЛС

Метод форсайта является мощным инструментом определения стратегий формирования будущего как в крупных корпорациях, отвечающих за целые технологические отрасли, так и в области государственного управления, науки и развития гражданского общества (разработка «дорожных карт»).

В рамках создания конкретных технических систем, в том числе РЛС, использование метода форсайта ограничено решением отдельных крупных задач. Во-первых, процесс создания РЛС строго определен действующими нормативными документами, а во-вторых, слишком велика значимость генерального (главного) конструктора, выступающего в качестве и разработчика, и эксперта.

Неопределенность, возникающая в процессе проектирования конкретных комплексов (блоков, модулей) и ведущая к риску проектирования, вызывается чаще всего не нехваткой коллективного знания о правилах создания РЛС, а выбором неудачных или ошибочных технических решений, которые после их обнаружения устраняются в порядке, установленном на предприятии.

Таким образом, в условиях оперативного принятия решений в процессе создания РЛС с требуемыми характеристиками и в заданные (как правило, жесткие) сроки нецелесообразно прибегать к трудоемким коллективным методам принятия решений (форсайт, мозговой штурм и т.п.). Более эффективным является метод принятия решений, основанный на положениях теории принятия решений, использующий такие процедуры как: модель, алгоритм, критерий. Такой подход позволяет автоматизировать процесс принятия решений [18].

Ввиду отсутствия объективных статистических данных для вероятностного описания результатов создания РЛС на всех этапах жизненного цикла ключевое значение приобретает интегрированная информация о соответствии параметров и характеристик разрабатываемых компонентов РЛС заданным требованиям.

Возможными подходами по формализации такой информации являются модели, основанные на использовании шкальных оценок уровней готовности. Применение подобных подходов показало их достаточную эффективность при создании изделий военной техники [19, 20]. При создании РЛС этот метод не дает объективной оценки, т.к. не обладает необходимой точностью и не позволяет найти аналитические зависимости решений от влияющих на них факторов.

Из проведенного анализа видно, что использование рассмотренных методик для оценки эффективности процессов их создания РЛС не достаточно для решения конкретных задач управления проектированием. Сама методическая база находится в стадии становления и характеризуется отсутствием единых формализованных моделей и методов обоснования проектных решений, обеспечивающих минимизацию суммарных рисков создания новых образцов ВВТ.

В конечном итоге разработчика интересует возможность создания РЛС с заданными ТТХ за определенное время при минимальном использовании выделенных ресурсов. Учитывая, что процесс проектирования РЛС в целом носит творческий характер, возникает неопределенность в прогнозировании его параметров. В этих условиях целесообразно применять вероятностные оценки вероятности (риска) нарушения графика разработки (ВНГР), как отдельных компонентов, так и всей РЛС [21].

Кроме того, использование вероятностного подхода создаст вычислительную базу для решения задач оптимизации управления процессами создания РЛС. Вероятностная оценка процесса проектирования позволит прогнозировать эффективность принимаемых решений на всех

стадиях создания, осуществлять оперативный контроль за состоянием процесса по результатам имитационного моделирования и проведения комплекса натуральных экспериментов на стенде генерального конструктора, являющегося одним из основных инструментов единой аппаратно-программной платформы проектирования и создания РЛС нового поколения.

Существуют разные подходы к оценке вероятности выполнения проектных работ:

- 1) Инженерный – опирается на статистику реализовавшихся опасностей, на вероятностный анализ безопасности.
- 2) Модельный – основан на рассмотрении моделей воздействия факторов на риски.
- 3) Экспертный – опирается на экспертные оценки специалистов в предметной области.

В данной работе акценты будут сделаны в основном на модельном подходе, который будет базироваться на математических методах представления процесса проектирования. Построение математических моделей вероятностных оценок ПП должно учитывать специфику постановки задачи, а именно:

- иерархическую конфигурацию РЛС (необходим инструмент оценки ВНР, как отдельных компонентов, так и системы в целом);
- подготовку исходных данных в привязке к жизненному циклу (ЖЦ) создания компонентов РЛС;
- возможность контроля готовности модулей на стенде ГК, на всех этапах ЖЦ (от модели до образцов изделия);
- необходимость предусмотреть набор корректирующих действий при превышении заданных уровней ВНР.

Для *оптимального управления процессом проектирования* нужен удобный, рабочий аппарат, не перегруженный параметрами и допущениями. Поэтому оправдано применение простой – по возможности объективной, математически обоснованной, а не экспертной модели. На основе такой

идеализированной модели обобщенного представления об эффективности процесса проектирования можно создавать автоматизированную систему управления процессом на базе программно-аппаратной платформы, которая охватывает все этапы жизненного цикла создания РЛС нового поколения.

1.3. Постановка задач диссертации

Создание перспективных РЛС – это сложный процесс, который связан не только с поиском оригинальных идей и решений, но и с оценкой их эффективности с позиций технической, технологической и производственной реализуемости при заданных ресурсных и временных ограничениях. Он включает этапы от технико-экономического обоснования (ТЭО) и подготовки проектного задания до испытания образцов изделий и передачи заказчику. Для осуществления процесса создания перспективных РЛС необходим постоянный контроль и управление, которые должны учитывать разнообразные факторы влияющие на качество принимаемых решений. Следовательно, проектирование должно профессионально управляться, то есть включать и поиск оригинального решения, и организацию проектных работ, при этом стоит говорить не просто о проектировании, а об управлении проектированием. «Управление проектированием», как и «проектирование», имеет те же *цели* деятельности и тот же *объект*, но для достижения цели привлекает дополнительные средства и методы.

Функции управления процессом создания РЛС невозможно осуществлять без применения программно-информационных средств. Существующие в настоящее время автоматизированные системы решают ряд важнейших задач управления проектированием: координации работы САПР различного назначения [58], управления проектными данными [57], планирования ресурсов предприятия [59], планирования производства [22].

Применение интегрированных САПР в создании РЛС на основе унифицированной программно-аппаратной платформы открывает перспективы ряда новых направлений исследований и разработок в области управления процессами проектирования. К ним относятся исследования:

- в области теории оценок процесса проектирования с учетом технических характеристик изделия и возможностей их достижения за заданное время,
- методов управления проектированием с позиций рационального использования имеющихся ресурсов,
- методов накопления и использования существующего задела по проектированию конструктивно-технологических систем РЛС для планирования процесса проектирования и оптимизации принимаемых технических решений,
- методологии формирования среды для программно-информационной поддержки концепции эволюционного подхода к созданию РЛС.

Целью данной работы является снижение сроков разработок и рисков при создании многофункциональных РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы путем применения математического моделирования и интерактивных процедур принятия решений для управления процессом проектирования.

Анализ предложенной ОАО РТИ в качестве основы построения автоматизированной системы управления процессом проектирования методологии создания РЛС в виде единой аппаратно-программной платформы и существующих аналогичных разработок в области управления процессом проектирования намечает основные направления исследований и разработок для достижения поставленной цели:

1. Исследование и обоснование путей перехода от оценок и методов принятия решений, основанных на субъективных оценках руководителя проекта, к управлению процессом создания РЛС на базе

формализованных объективных показателях, получаемых из накопленного опыта в результате эволюционного развития РЛС.

2. Исследование и разработка математических моделей и методов для оценки принятия эффективных решений об управлении процессом создания РЛС на основе обработки данных из унифицированной аппаратно-программной платформы ряда эволюционного развития РЛС.
3. Разработка на основе предложенных математических моделей и методов программно-информационных средств автоматизированного управления проектированием с целью практической реализации предложенных математических моделей при создании многофункциональных РЛС.
4. Встраивание разработанных программно-информационных средств автоматизированного управления проектированием в программно-аппаратный комплекс предприятия заказчика для создания многофункциональных РЛС нового поколения на основе единой аппаратно-программной платформы.

В рамках намеченных основных направления исследований и разработок в диссертации *предлагается решить следующие задачи:*

1. Создать математический аппарат представления процесса проектирования РЛС, который позволит:
 - моделировать и прогнозировать на основе накопленного в аппаратно-программной платформе опыта параметры процесса проектирования РЛС,
 - при формировании оценок процесса проектирования РЛС учитывать уровень технической, конструктивно-технологической и производственной готовности

компонентов на всех стадиях жизненного цикла создания РЛС,

- минимизировать на каждом этапе проектирования риски невыполнения работ при соблюдении сроков создания РЛС с заданными тактико-техническими характеристиками (ТТХ).

2. На основе предложенных математических моделей разработать метод управления процессом создания многофункциональных РЛС, который позволит осуществлять оперативный контроль хода выполнения работ, распределять и подключать необходимые ресурсы для минимизации вероятности нарушения графика работ.
3. С использованием предложенных моделей и метода разработать интерактивные информационно-программные средства управлению процессом проектирования и интегрировать их в аппаратно-программный комплекс проектирования многофункциональных РЛС предприятия заказчика.
4. Внедрить разработанное математическое и информационно-программное обеспечение в опытную эксплуатацию на предприятии с целью проверки его работоспособности и эффективности для решения задач проектирования многофункциональных РЛС на различных этапах жизненного цикла.

2. Математические модели анализа процесса создания РЛС на основе унифицированной аппаратно-программной платформы

Для управления процессом создания многофункциональных РЛС руководителю проекта необходимо на каждом этапе жизненного цикла иметь достоверную информацию о состоянии разработки как отдельных компонентов, так и всей системы в целом. Традиционный подход к процессу создания РЛС строится на централизации управления в руках Главного конструктора с постоянным контролем хода выполнения работ путем общения с руководителями направлений. При такой организации происходят непроизводительные траты времени на согласования, выяснение положения дел в продвижении разработок, принятие мер по эффективному распределению ресурсов для достижения результатов в соответствии с графиком выполнения работ. Применение систем управления проектом позволяет значительно увеличить эффективность процесса проектирования.

Как было показано в главе 1 диссертации существующие автоматизированные системы управления проектированием направлены на информационную поддержку процесса. Для повышения эффективности управления таким сложным процессом, как создание многофункциональных РЛС этого явно не достаточно. Подключение руководителя проекта к PDM-системам создает определенные проблемы в восприятии большого объема информации, которая в них находится. Требуется создать еще один уровень автоматизированного управления, на котором будет выполняться анализ и оценка данных о состоянии процесса проектирования. Это позволит руководителю проекта, не отвлекаясь на детали, находить наиболее напряженные участки разработки РЛС, оперативно корректировать и планировать процесс создания станции.

Возникает необходимость разработки дополнительных средств для оценки состояния процесса проектирования и управления.

Целью раздела является построение математических моделей, которые должны учитывать связи ТТХ компонентов РЛС с выделенными ресурсами и временными интервалами выполнения разработки. Нас будет интересовать методология для оценки влияния достигнутого уровня разработки компонентов на параметры процесса проектирования (сроки разработки и риски выполнения работ). Полученные оценки должны быть использованы как для выбора вариантов реализации компонентов, так и для управления параметрами процесса разработки при проектировании компонента. Будет показано, что зная уровень готовности каждого компонента, и учитывая опыт разработки, можно оценивать вероятность получения результатов его проектирования за планируемый интервал времени. С целью повышения точности оценок риска неполучения результатов, необходимо построить математическую модель управления, которая должна учитывать связи между временными интервалами шагов проектирования и нормировать показатель вероятности нарушения графика работ относительно уровня готовности проекта.

2.1 Параметрическая модель оценки готовности компонентов РЛС

При выборе структуры и компонентного состава комплексов РЭА применяются принципы унификации и агрегирования устройств, блоков и модулей. Такой подход позволяет эффективно снижать трудоемкость разработки, повышать надежность и качество получаемых результатов. [23,24]. Его реализация требует оценки уровня принимаемых решений с учетом соответствия тактико-техническим характеристикам (ТТХ), конструктивной и технологической совместимости выбираемых компонентов РЛС.

В соответствии с принятой в РТИ концепцией построения унифицированных рядов развития РЛС необходимо обеспечить

минимизацию расхода ресурсов и времени проектирования с учетом перечисленных требований. Для реализации такого подхода будем увязывать технические ограничения с параметрами процесса проектирования. При этом необходимо учитывать степень готовности компонентов РЛС и оценивать необходимые ресурсы завершения проектных работ в зависимости от степени готовности.

Таким образом, для построения модели управления процессом проектирования требуется связать оценки готовности изделия (к использованию в составе РЛС) с характеристиками процесса проектирования.

Важнейшим фактором, влияющим на процесс проектирования, является степень готовности изделия на момент оценки характеристик процесса. Для компонентов РЛС показатели готовности можно определять по степени приближения параметров компонентов к параметрам, заданным в ТЗ или определенным в исходных данных на разработку.

Предположим, что КТС комплектуется модулями M_1, M_2, \dots, M_N , выбранными из АПП, с параметрами:

$$M_1: Q_1 = \{q_{11}, q_{12}, \dots, q_{1i}, \dots\}$$

$$M_2: Q_2 = \{q_{21}, q_{22}, \dots, q_{2i}, \dots\}$$

.....

$$M_N: Q_N = \{q_{N1}, q_{N2}, \dots, q_{Ni}, \dots\}$$

Пусть выходные параметры КТС определяются по формулам:

$$\Psi_t = F_t(q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{ti}, \dots) \quad (2.1.1)$$

где $t=1 \dots L$, L - количество контролируемых выходных параметров КТС,

$Q_t = \{q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{ti}, \dots\} \in Q_1 \cup Q_2 \cup \dots \cup Q_N$ – множество параметров модулей, влияющих на выходной параметр Ψ_t .

Используя аналитические выражения теории параметрической надежности, можно рассчитать изменение выходного параметра $\Delta\Psi_t$, от изменения значений параметров модулей $\Delta q_{t1}, \Delta q_{t2}, \dots, \Delta q_{ti}, \dots$

$$\Delta\Psi_{tj} = \frac{\partial\Psi_{t1}}{\partial q_{t1}} \Delta q_{tj1} + \frac{\partial\Psi_{t1}}{\partial q_{t2}} \Delta q_{tj2} + \dots + \frac{\partial\Psi_{t1}}{\partial q_{ti}} \Delta q_{tji} \dots \quad (2.1.2)$$

Относительная погрешность выходного параметра

$$\Delta\Psi_t/\Psi_t = \frac{\partial\Psi_t}{\partial q_{t1}} \Delta q_{t1}/\Psi_t + \frac{\partial\Psi_t}{\partial q_{t2}} \Delta q_{t2}/\Psi_t + \dots + \frac{\partial\Psi_t}{\partial q_{ti}} \Delta q_{ti}/\Psi_t + \dots \quad (2.1.3)$$

Перепишем формулу так, чтобы в правой части стояли относительные погрешности параметров модулей

$$\Delta\Psi_t/\Psi_t = B_{t1} \Delta q_{t1}/q_{t1} + B_{t2} \Delta q_{t2}/q_{t2} + \dots + B_{ti} \Delta q_{ti}/q_{ti} \quad (2.1.4)$$

,где

$B_{ti} = \frac{\partial\Psi_t \cdot q_{ti}}{\partial q_{ti} \cdot \Psi_t}$ – коэффициент влияния параметра q_{ti} i -го модуля на параметр КТС Ψ_t , S - общее количество параметров модулей, влияющих на параметры Ψ_{tj} КТС.

Коэффициент готовности КТС $K_{\Gamma t}$ по параметру Ψ_t определит степень его приближения к номинальному значению по ТТХ.

Можно предположить, $K_{\Gamma t}$ функционально зависит от относительного отклонения параметра от номинала: $K_{\Gamma t} = f(\Delta\Psi_t/\Psi_t)$. Чем больше отклонение, тем меньше готовность. Для упрощения примем

$$K_{\Gamma t} = 1 - \Delta\Psi_t/\Psi_t \quad (2.1.5)$$

Нас интересует влияние готовности модулей на готовность КТС.

Поскольку любая КТС характеризуется совокупностью выходных контролируемых параметров, то для обобщения алгоритма выбора модулей необходимо построить матрицу B коэффициентов влияния размерностью $L \times K$, где K – общее количество параметров модуля, L – количество контролируемых выходных параметров КТС, B_{tk} – коэффициент влияния k -го параметра модуля на параметр Ψ_t :

$$B = \parallel B_{tk} \parallel$$

$$B = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & & & \\ B_{21} & & & & \\ B_{31} & & \dots & \vdots & \\ \vdots & \dots & & & \\ \vdots & & & & \\ B_{L1} & \dots & \dots & & B_{LK} \end{pmatrix} \quad (2.1.6)$$

Сформулируем правила оценки готовности модулей, которые дадут максимальный эффект приближения выходных параметров КТС к заданным в ТТХ. Вектор погрешностей выходных параметров КТС можно представить в следующем виде:

$$\nabla = B \cdot \nabla_M \quad (2.1.7),$$

где ∇_M – вектор относительных погрешностей модулей. Его значения могут быть получены на СГК при натурных испытаниях готовых модулей или сравнением характеристики модулей, выбранных из АПП, с характеристиками теоретической функционально-параметрической модели модуля.

Умножая обе части выражения (2.1.7) на обратную матрицу B^{-1} , получим выражение для расчета суммарной относительной величины отклонения параметров модулей от требуемых характеристик:

$$\nabla_M = B^{-1} \cdot \nabla \quad (2.1.8)$$

, $\nabla_M = (\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_K)^t$ - вектор суммарных отклонений параметров модуля от требуемых значений с учетом ухода контролируемых параметров КТС. Средние отклонения параметров модуля от требуемых значений запишем в виде вектора $\bar{\nabla}_M = 1/L \cdot (|\delta_1|, |\delta_2|, \dots, |\delta_K|)^t$ (2.1.9). В формуле суммарные значения отклонений берутся по модулю для исключения влияния знака.

Для получения значений коэффициентов готовности воспользуемся упрощенным выражением (2.1.5) и выражением для расчета относительной величины изменения параметров модулей (2.1.8):

$\bar{K}_Г = \bar{E} - \bar{\nabla}_M$ (2.1.9), где \bar{E} - единичный вектор, $\bar{K}_Г$ - вектор коэффициентов готовности параметров модуля с учетом отклонений контролируемых параметров КТС.

Предложенная модель оценки отклонения параметров может быть использована как для оценки параметрической готовности компонентов РЛС при проведении проверки модулей РЛС на СГК. Методика проверки с помощью предложенной модели рассматривается в разделе 3.3.

Параметрическая модель оценки готовности является точечной, т.е. она определяет показатель готовности в фиксированный момент времени. Предложенная модель позволяет выполнять оперативный анализ состояния разработки. Главным преимуществом параметрической модели является ее связь с процессами выполнения технических требований к параметрам проектируемых устройств. С другой стороны данная модель имеет ряд ограничений: не позволяет оценивать готовность по состоянию характеристик, которые не связаны с численными значениями; требует аналитического выражения для связывания параметров проектируемого устройства с ТТХ РЛС. Пример расчета параметрических коэффициентов готовности приведен в Приложении 3.

2.2 Оценка готовности по соответствию характеристик требованиям процесса разработки

В процессе создания РЛС и ее компоненты проходят ряд стадий разработки [25]: техническое задание [26], техническое предложение [27], эскизный проект [28], технический проект [29], разработка рабочей документации. Для получения показателя готовности изделия, необходимо контролировать и выявлять характеристики, которые должны быть обеспечены на каждом этапе разработки изделия [30, 31, 32, 33].

Каждый этап разработки изделия характеризуется определенным набором характеристик, которые определяют готовность процесса для успешного выполнения этапа. Поэтому, сформировав перечни характеристик каждого этапа, можно приступить к оценке готовности изделия.

Предположим, что на i -м этапе для полной готовности процесса проектирования необходимо обеспечить соответствие требованиям разработки или производства для χ_i характеристик. Предположим, что характеристика $\chi_{ij} \subset \chi_i$ обеспечена на $v_{ij} \cdot 100$ процентов, $0 \leq v_{ij} \leq 1$. По всем характеристикам этапа получим множество оценок. Сложив полученные оценки, можно получить оценку готовности изделия на i -м этапе:

$$k_{\Gamma i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_{ij}}{n_i} \quad (2.2.1)$$

Для упрощения экспертных оценок готовность характеристик можно считать булевой переменной, принимающей значения:

$$v_{ij} = \begin{cases} 1 & , \text{при соответствии характеристики заданному значению} \\ 0 & , \text{при несоответствии характеристики заданному значению} \end{cases}$$

Формула (2.2.1) не учитывает влияние характеристик процесса на результаты и сложность достижения необходимых значений. Учесть эти требования можно путем включения в формулу (2.2.1) поправочных коэффициентов. Пусть η_{ij} – коэффициент, учитывающий степень влияния характеристик на результаты процесса разработки, а ε_{ij} – коэффициент,

учитывающий сложность обеспечения требуемых значений характеристики, $0 \leq \eta_{ij} \leq 1$. Тогда формула (2.2.1) преобразуется к виду:

$$k_{\Gamma i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_{ij} \eta_{ij} \varepsilon_{ij}}{n_i} \quad (2.2.2)$$

Выражения (2.2.1) и (2.2.2) в качестве исходных данных используют экспертные оценки входящих в них параметров и предъявляют определенные требования к интерфейсу решения задач управления. Для их формирования необходимо организовать вывод на экран монитора характеристик вновь разрабатываемых компонентов и их аналогов.

Предложенная модель дает возможность получать требуемые оценки готовности на всех этапах жизненного цикла создания РЛС и ее компонентов, т.к. каждый этап обладает набором характеристик, определяющих готовность к получению необходимых результатов. Характеристики могут относиться и к технологиям создания РЛС, и к обеспечению параметров компонентов и КТС. В последнем случае для оценки отклонения параметров от требуемых значений *может быть применен подход, представленный в разделе 2.1*. Таким образом, представленная здесь модель универсальна с точки зрения методик для оценки готовности изделия и выполнения требований различных этапов создания РЛС. В дальнейшем будем называть модель оценки готовности по соответствию характеристик *количественной моделью* готовности.

Пример применения количественной модели приведен в приложении 3, в котором рассмотрена задача оптимизации управления процессом разработки РЛС.

2.3 Статистическая модель оценки готовности компонентов

Недостатком представленных выше моделей оценки готовности является отсутствия четких аналитических связей коэффициента параметрической готовности с необходимыми временными затратами для осуществления доведения изделия до полной готовности. Далее попытаемся

извлечь необходимую информацию об этих связях путем анализа аналогов разрабатываемых устройств, взятых из АПП.

При разработке проекта новой РЛС конструктором могут быть использованы как готовые, полностью отработанные конструктивно-технологические системы, блоки, модули и технологии, так и новые, находящиеся в различных стадиях разработки. Можно принять, что использование готовых компонентов практически не приведет к дополнительным затратам при создании РЛС новых поколений. Поэтому основные факторы, влияющие на процесс создания РЛС, будем связывать с использованием новых или находящихся в разработке устройств и систем.

Обозначим $\hat{M} = \{M_1, M_2, \dots, M_N\}$ множество всех компонентов, рассматриваемых для использования в варианте структуры РЛС. Все компоненты из этого множества характеризуются тем, что к их параметрам в проекте предъявляются технические требования, выполнение которых обеспечивает реализацию заданных ТТХ РЛС.

Выделим в этом множестве подмножество $\hat{M}_2 \in \hat{M}$ компонентов, готовых к использованию в результате завершенных предшествующих разработок. Тогда множество $\hat{M}_H = \hat{M} \setminus \hat{M}_2$ определяет вновь разрабатываемые и модернизируемые компоненты. Компоненты $M \in \hat{M}_H$ могут находиться в разработке на разных стадиях жизненного цикла, определяющих их уровень технической готовности. Например, каждому модулю привязаны типовые этапы разработки: выдача технического задания на разработку схемы узла; разработка Э4(ЭЗ); разработка ПЭ; выдача технического задания на разработку программного обеспечения (ПО) узла; разработка ПО; отладка ПО; выдача технического задания на разработку конструкции узла; разработка КД; постановка КД на учет; технологическая подготовка изготовления узла; запуск в производство узла; изготовление узла; регулировка узла. Можно предположить, что готовность модуля определяется этапом разработки, на котором он находится.

Приведенные выше модели позволяют получать «точечные» оценки готовности, которые важны для детальной оценки состояния компонента на определенном этапе разработки. Для получения обобщенных оценок состояния разработки необходимо контролировать процесс в контексте его развития. Необходимо четко представлять на каком уровне готовности находится каждый компонент РЛС относительно всего жизненного цикла. Поскольку в конечном итоге проектировщика интересует возможность выполнения требований технического задания (ТЗ) в срок, то величину k_r целесообразно использовать для количественной оценки целой группы факторов, определяющих эффективность использования компонента M в структуре РЛС. Такую обобщенную оценку можно получить на основе анализа трудозатрат.

Предлагается в качестве дополнительной оценки степени готовности проектируемого компонента использовать функцию распределения относительных трудозатрат (относительной трудоемкости) $\sigma(t) = \frac{\partial \theta(t)}{\theta_{\Pi} \partial t}$, которая показывает плотность распределения трудозатрат по всему жизненному циклу создания компонента ($\theta(t)$ – трудоемкость выполненных работ за время t , θ_{Π} – общая трудоемкость проектирования компонента). В любой момент времени t' коэффициент готовности $k_r(t') = \int_0^{t'} \sigma(t) dt$, а при $t' = t_{\Pi}$, $k_r(t_{\Pi}) = 1$, где t_{Π} – период выполнения полного цикла работ по созданию компонента.

На рисунке 2.3.1 показана иллюстрация графиков плотности распределения относительных трудозатрат по этапам разработки компонента и функции готовности. По оси абсцисс откладывается время. При значении времени $t' = t_{\Pi}$ наступает полная готовность.

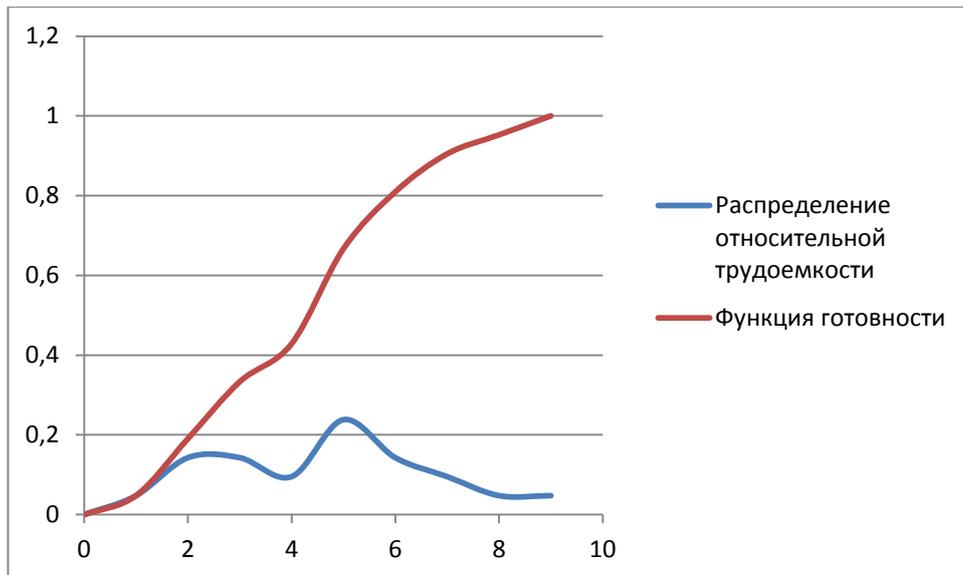


Рис. 2.3.1 Графики плотности распределения трудоемкости по этапам разработки модуля и функции готовности компонента

Очевидно, что функция готовности имеет накопительный характер от этапа к этапу. По мере приближения к завершающим этапам она стремится к 1. Функция распределения относительной трудоемкости является результатом обработки статистических данных о распределении трудоемкости работ для аналогов проектируемого компонента. Согласно положениям теории подобия [34,35].

Можно предположить, что для всех однотипных компонентов это распределение остается стабильно одинаковым.

При изменении сложности изделия относительно аналога график плотности распределения работ сужается или расширяется (соответственно) вдоль оси времени. Функция готовности также изменяется. В случае уменьшения сложности она становится круче. В случае усложнения она становится более полой и временной интервал до наступления полной готовности увеличивается (**Рис.2.3.2**).

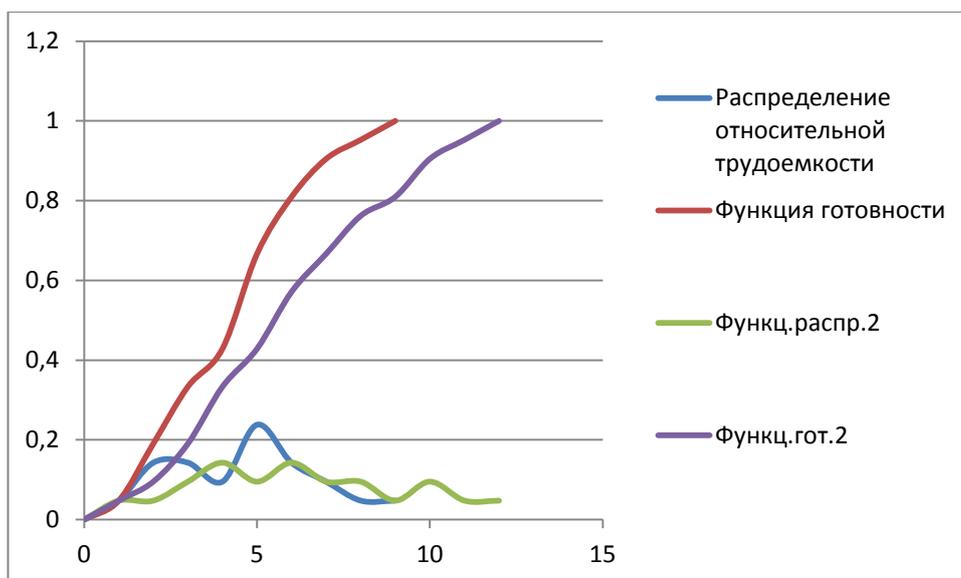


Рис. 2.3.2 Изменение функций распределения трудоемкости и готовности при варьировании сложности компонента

Предложенная модель оценки готовности может быть использована для расчета готовности компонентов РЛС при планировании работ (Рис.2.3.3). Зная распределение трудоемкости для аналогов, можно спрогнозировать распределение трудоемкости по шагам и этапам выполнения работ для проектируемого компонента.

В приложении 2 приведены результаты обработки статистики по распределению трудоемкости по этапам создания КТС РЛС. Анализ распределений показывает, что интенсивность работ изменяется от этапа к этапу. Поэтому в дальнейшем процесс проектирования предлагается *оценивать поэтапно*, считая, что на этапе интенсивность работ остается постоянной.

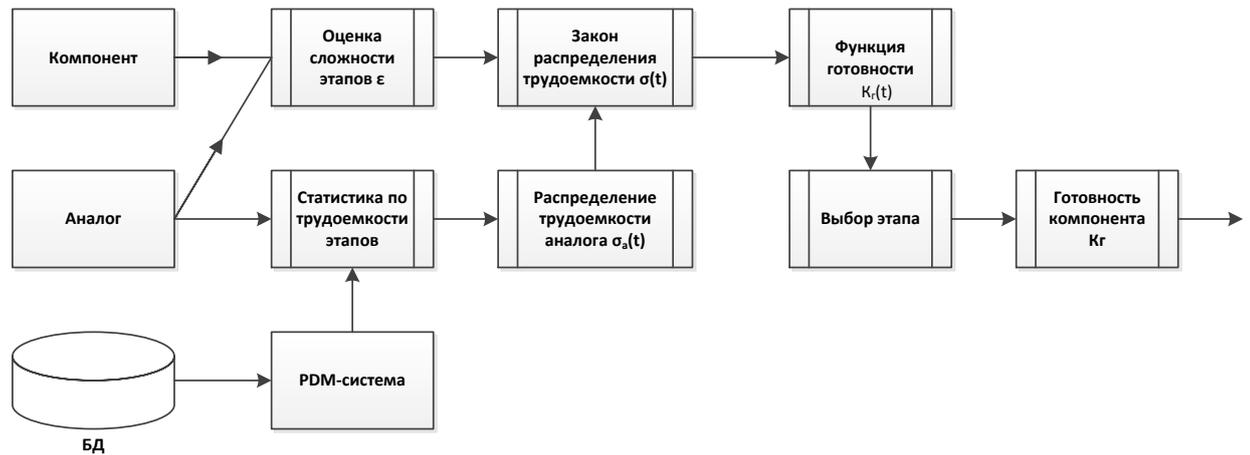


Рис. 2.3.3 Алгоритм определения готовности с помощью статистической модели

2.4 Стохастическая модель оценки вероятности нарушения графика разработки РЛС

Процесс создания РЛС должен обеспечивать решения инженерных задач с жестким контролем сроков завершения разработок. В этих условиях появляется необходимость нормирования процесса проектирования. Такое нормирование невозможно выполнить с помощью известных методов планирования и контроля (например, подобно нормированию технологических процессов), т.к. создание РЛС в целом носит творческий характер с большим количеством эвристических решений.

Одним из возможных подходов к нормированию может быть сбор статистических данных об аналогичных разработках [54]. Однако такая модель не может быть построена из-за невозможности получения необходимой выборки данных для процесса создания РЛС. Поэтому в диссертации предлагается применить идеализированную математическую модель, для построения которой будет достаточно информации, извлекаемой из аналогов в АПП. При этом предполагается, что по теории подобия [35] процессы проектирования однотипных компонентов РЛС развиваются по одинаковым правилам и законам, а коррекцию для новых изделий можно учитывать коэффициентными методами.

Такая идеализация позволяет значительно упростить модели и уменьшить трудоемкость их подготовки, не требуя сбора статистического материала.

Рассматриваемая ниже модель ориентирована на применение при автоматизированном управлении созданием РЛС нового поколения и решения следующих задач:

- Выбор оптимального состава и структуры РЛС по критерию минимизации временных ограничений при выполнении заданных функционально-параметрической матрицей требований к характеристикам комплексов (блоков, модулей).

- Факторный анализ состояния процесса создания РЛС на протяжении всего жизненного цикла.

- Выявление негативных событий, ведущих к нарушению графика разработки.

- Управление перераспределением ресурсов для поддержки наиболее проблемных участков проекта.

- Визуализация процессов управления на рабочем месте генерального конструктора с возможностью изменения уровней детализации (модуль, блок, комплекс), с выводом на экран текущих и прогнозных оценок возможности нарушения графика разработки и факторов, влияющих на такие события.

Решение перечисленных задач возможно только на основе модели, которая позволяет осуществлять контроль и управление процессом проектирования на всех этапах жизненного цикла изделия. При разработке расчетной модели основной акцент делался на установлении связей между накопленным опытом проектирования в виде оценок процесса создания РЛС и факторами, влияющими на процесс.

Обратимся к вычислительным аспектам решаемой научно-технической проблематики. В этой связи необходимо построить адекватную модель,

устанавливающую аналитические связи характеристик процесса создания перспективных РЛС с процессами в ранее выполненных разработках.

В разработке математической модели будем опираться на представление процесса создания РЛС в виде потока событий, отражающих воздействие субъектов этого процесса на промежуточные и окончательные результаты. С точки зрения обозначенных целей поток событий следует рассматривать в смысле выполнения или невыполнения графика работ. В данном контексте события потока можно считать независимыми, наступающими в случайные моменты времени (по крайней мере, внутри одного этапа работ). К ним можно отнести, например, выдачу технического задания, финансирование работ, подготовку технического документа, наладку испытательного оборудования, изготовление опытного образца, и т.д.

Будем считать, что вероятность появления события (завершения работ этапа) зависит только от величины отведенного интервала времени, вероятность одновременного наступления двух или большего числа событий равна нулю, вероятность наступления очередного события не зависит от момента совершения предыдущих событий. Перечисленные допущения позволяют отнести поток событий выполнения работ к простейшему, чтобы они (допущения) в дальнейшем не повлияли на общую картину событийного анализа процесса создания РЛС [36]. Наше предположение вполне объяснимо с позиций теории и практики проектирования. Постараемся построить на основе выдвинутых предположений идеализированную математическую модель.

Представление процесса проектирования в виде простейшего потока событий, согласно статистической теории [37,38], может быть описано экспоненциальным законом распределения, в котором случайная величина X имеет экспоненциальное распределение с параметром $\lambda > 0$, если её плотность имеет вид

$$f(x) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Интегрируя плотность, получаем функцию экспоненциального распределения:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda x}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

Экспоненциальное распределение позволяет моделировать интервалы времени между наступлением событий. Используя это свойство можно моделировать событийные процессы в интересующей нас сфере.

Нас интересует нарушение графика выполнения работ. Предположим, что к этому событию приводит нарушение графика в любой составляющей очереди работ проекта. Тогда вероятность p выполнения графика работ может быть записана, как вероятность наступления события (выполнение графика работ) за временной интервал от 0 до t

$$p(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2.4.1),$$

где t – время разработки изделия, а λ – частота наступления событий, связанных с выполнением работ по графику. С увеличением времени эта вероятность естественно увеличивается.

Вероятность ρ невыполнения работ по графику (риск) будет

$$\rho(t) = \begin{cases} e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2.4.2)$$

С увеличением времени она уменьшается.

Определение частоты событий можно отнести к области статистических исследований, выполнить которые чаще всего сложно или

невозможно из-за ресурсных ограничений проектной организации и отсутствия необходимого статистического материала. Проблему можно обойти, если использовать данные разработки аналогов проектируемого изделия. Зная время завершения работ по созданию аналога t_a , можно предположить, что события в новой разработке будут развиваться по тому же сценарию, т.е. при отсутствии форс-мажорных обстоятельств руководитель проекта вправе рассчитывать на успешное выполнение задания во временной интервал

$$t_p = \varepsilon \cdot t_a \quad ,$$

где ε – коэффициент, определяющий сложность нового изделия относительно аналога. Конечно, временные интервалы здесь имеют стохастическую природу и их назначение – ориентировочная оценка процесса проектирования. Однако полученная временная оценка позволяет перейти к расчету интенсивностей λ наступления событий. Известно, что эта характеристика связана с ожидаемым средним временем наступления события $\lambda = 1/T$, когда вероятность невыполнения работ уменьшится в e раз. В рассматриваемом контексте время $t = t_p$ (Рис.2.4.1) [38] можно выбрать на уровне $p(t_p) = 0,9973$, тогда $\lambda = -\ln 0,0027 / t_p$.

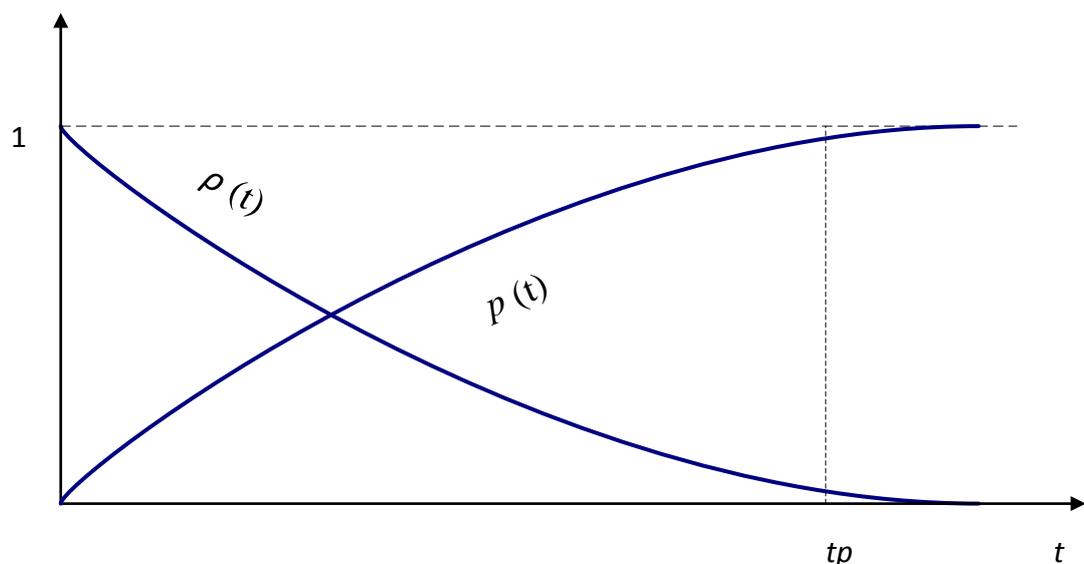


Рис. 2.4.1 Графики вероятностей событий проектирования

Концепция создания РЛС на базе единой информационной платформы, предполагает интенсификацию работ за счет использования существующего опыта проектирования компонентов РЛС. Накопленные в АПП знания в виде готовых решений позволяют начинать проектирование отдельных модулей РЛС не с «нуля», а с некоторого уровня разработки, что должно привести к сокращению сроков исполнения, снизить трудоемкость и ВНГР. В качестве показателя достигнутого уровня разработки изделий используем коэффициент готовности K_r , который пропорционален количеству выполненных работ по сравнению с общим объемом. Иными словами объем выполненных работ может быть представлен, как часть временного интервала Δt , затраченного на разработку компонента РЛС : $\Delta t = K_r \cdot t_p$. Перепишем формулы 2.4.1 и 2.4.2 с учетом задела по разработке компонента:

$$p(t) = \begin{cases} 1 - e^{-\lambda(t+K_r t_p)}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2.4.3),$$

$$\rho(t) = \begin{cases} e^{-\lambda(t+K_r t_p)}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2.4.4)$$

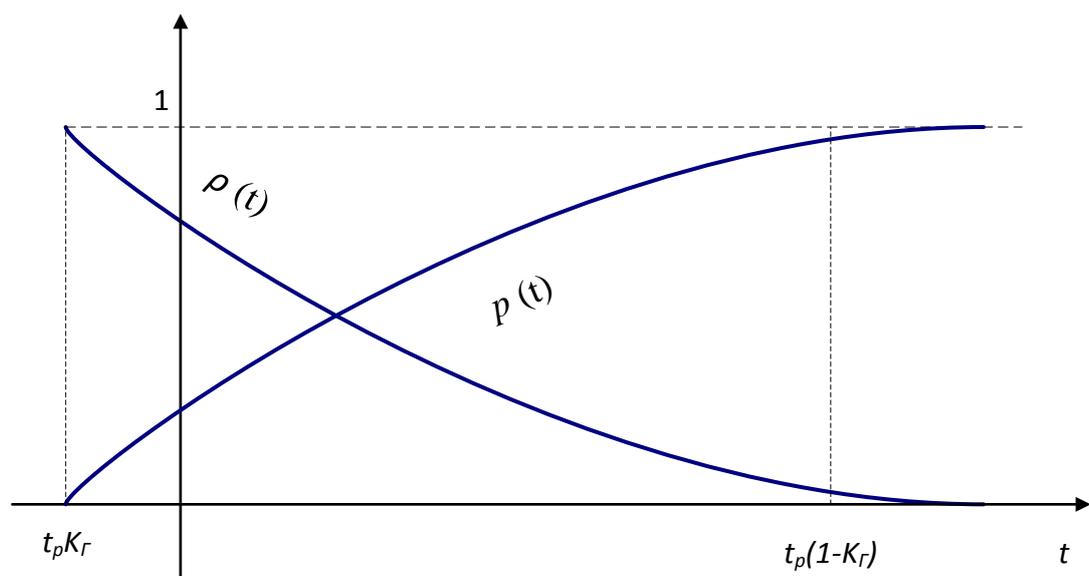


Рис. 2.4.2 Графики вероятностей событий проектирования с учетом задела

На рисунке 2.4.2 показаны графики функций вероятностей выполнения и невыполнения работ с учетом задела по выполненным работам. Смещение графика функций приводит к уменьшению времени выполнения работ при заданных ВНГР или можно говорить о уменьшении ВНГР при фиксированном времени выполнения работ с нуля до момента t_p .

Разработанная событийная модель расчета показателей позволяет получать простую интерпретацию оценок процесса проектирования. Из нее становится ясным формирование оценок вероятности выполнения в срок проектирования, как следствия совокупности выполняемых в процессе создания РЛС работ. Семантика модели показывает изменение сроков выполнения работ на основе представления процесса в виде последовательности событий, каждое из которых может привести как к успешному завершению этапа проекта, так и неудовлетворительным результатам, которые ведут к нарушению графика, к необходимости привлечения дополнительных ресурсов, к повторным переделкам, что влечет увеличение сроков проектирования.

Данные для формирования событийной модели основываются на информации о предшествующих разработках и плановых показателях процесса создания РЛС. Таким образом, в полученной модели учитывается имеющийся опыт проектирования аналогов устройств, что позволяет избегать субъективных оценок при принятии решений. Последнее становится особенно актуально при жестких ограничениях на сроки и ресурсы создания РЛС, т.к. дают объективную оценку процесса проектирования.

Методику применения ВНГР для управления можно иллюстрировать с помощью функциональной поверхности (Рис. 2.4.3) для определения оптимальных значений факторов, влияющих на ВНГР. Поверхность образуется в 3-х мерном пространстве (t, K_g, ρ) функцией (2.4.4). Изменяя

значения факторов K_Γ , λ и t можно находить процесс разработки РЛС с минимальной ВНГР (Приложение 1).

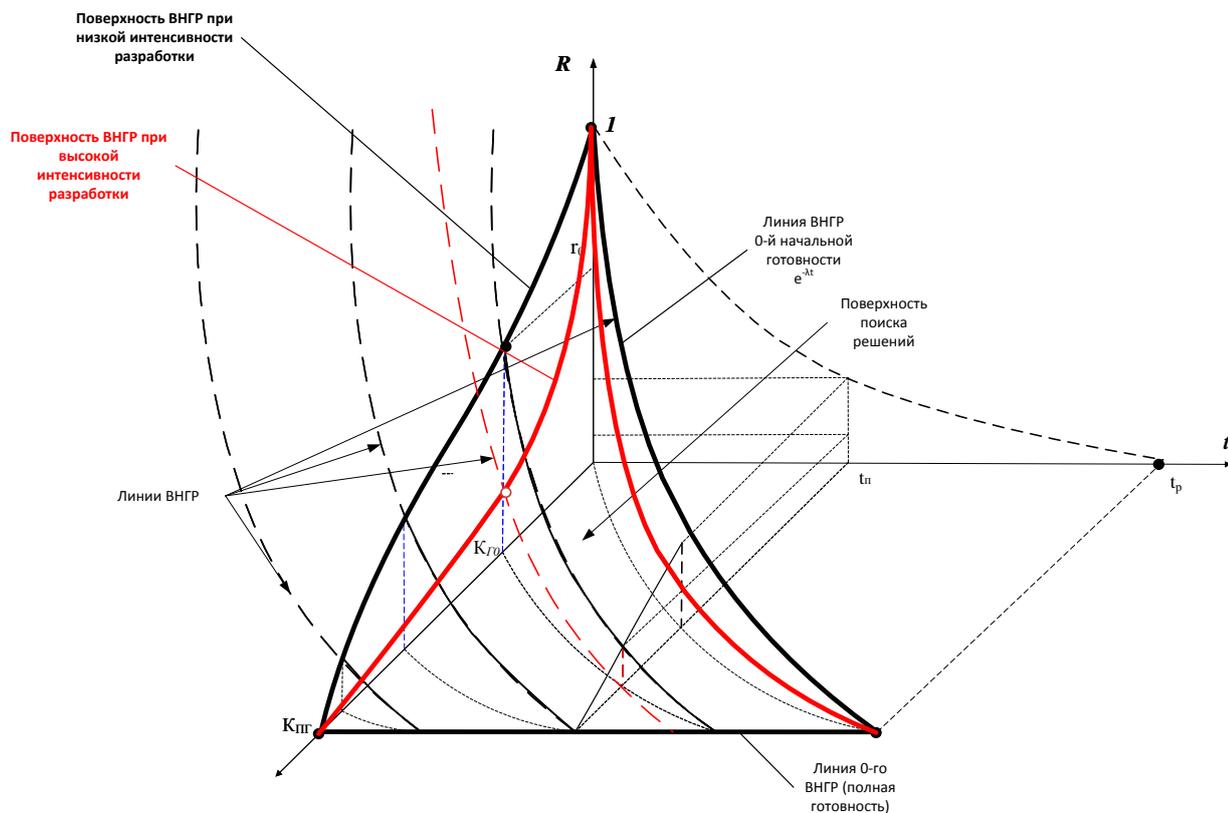


Рис. 2.4.3 3-х мерная графическая модель поверхности ВНГР

Поверхность ограничена 3-мя реперными точками на осях. Реперные точки будут ограничивать область поиска решений. На оси времени отметим точку t_p , которая определяет полное время проектирования компонента РЛС. Будем считать, что за время t_p можно гарантированно спроектировать компонент с нулевого уровня готовности, и положительный результат гарантирован с высокой степенью вероятности (с минимальным риском). На оси готовности отметим точку $K_{ПГ}$, которая соответствует полной готовности компонента для применения в составе комплекса РЭА и в которой $K_\Gamma = 1$. В точке $K_{ПГ}$ риски и трудоемкость принимают 0-е значения, т.к. компонент полностью готов к применению в составе комплекса и не требует доработок. На оси Z отметим точку, в которой ВНГР проектирования равен 1, т.к. компонент необходимо проектировать «с

нуля», и выполнять полный цикл проектных работ всех стадий проектирования.

Границы поверхности задаются тремя линиями: линией исходных ВНГР, линией ВНГР 0-й начальной готовности и линией полной готовности.

Линия исходных ВНГР располагается в положительной полуплоскости, ограниченной осью готовности и осью ВНГР и связывает значения рисков с коэффициентами готовности компонентов на начальном этапе проектирования, при выборе блоков из архива разработок.

Линия ВНГР 0-й начальной готовности связывает риски проектирования с этапами проектирования при выполнении полного нисходящего цикла проектных работ. При 0-вом значении начальных трудозатрат линия исходит из точки $(0, 0, 1)$ и спускается к плоскости «готовность-трудоемкость», приближаясь к точке $(t_p, K_{ПГ}, 0)$. Линия ВНГР 0-й начальной готовности нормирует ВНГР проектирования компонента, начиная с самого верхнего уровня этапов проектирования до завершения разработки.

Линия нулевых ВНГР определяет трудозатраты разработки блока на заключительном этапе его проектирования. Она проходит от точки $K_{ПГ}$ на плоскости «готовность-трудоемкость» в точку с координатой $T_p = (t_p, K_{ПГ}, 0)$.

На рисунке изображены две поверхности. Черными линиями ограничена поверхность, которая получается при низкой интенсивности разработок, красными – при высокой. Вторая поверхность расположена ниже, т.к. определяемые на ней ВНГР меньше. Данный рисунок иллюстрирует метод управления ВНГР, который будет рассмотрен в разделе 3.

2.5 Структурная модель оценки вероятности нарушения графика разработки РЛС

Для централизованного управления процессом проектирования при разработке и выборе компонентов из АПП необходимо привести полученные результаты исчисления значений ВНГР отдельных компонентов

к значениям таких же вероятностей по все РЛС. При этом необходимо учитывать иерархическую структуру построения РЛС.

Расчетные значения ВНГР модулей позволяют построить вектор ВНГР КТС: $\bar{\rho} = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_K)$.

Тогда вероятности выполнения работ в срок можно объединить в вектор

$$\bar{P} = (1 - \rho_1, 1 - \rho_2, \dots, 1 - \rho_K).$$

Предполагая, что процессы проектирования модулей состоят из независимых событий, можно рассчитать общий ВНГР проектирования КТС [11, 12].

$$\rho_{\text{КТС}} = 1 - (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \dots (1 - \rho_K) \quad (2.5.1)$$

Тогда коэффициент готовности КТС при известных ВНГР компонентов можно рассчитать по формуле:

$$K_{\text{гКТС}} = -\ln \rho_{\text{КТС}} - \lambda t_{\text{п}} / t_{\text{р}} \quad (2.5.2)$$

, где $t_{\text{п}}$ – заданное плановое время проектирования КТС, $t_{\text{р}}$ – среднестатистическое время разработки компонентов КТС данного типа.

Соотношение (2.5.1) не позволяет учитывать работы по комплексированию модулей КТС, которые имеют собственные ВНГРи.

Воспользовавшись формулой (2.16), получим значение ВНГРа создания КТС с учетом работ по комплексированию:

$$\rho_{\text{КТС}} = e^{-\lambda(t + K_{\text{гКТС}} T_{\text{КТС}})} \quad (2.5.3),$$

где $T_{\text{КТС}}$ - полное статистическое время проектирования новой КТС с учетом работ по комплексированию. $T_{\text{КТС}} = \varepsilon T_{\text{аКТС}}$ оценивается по

временным интервалам, взятым из АПП (системы управления проектными данными (PDM-система)) для аналога КТС данного типа с учетом коэффициента сложности ε разрабатываемой КТС.

Предполагая, что процессы проектирования КТС состоят из независимых событий, можно рассчитать общий ВНГР проектирования компонентов РДС ДО.

$$\rho_{\text{РЛС}} = 1 - (1 - \rho_{\text{КТС}1})(1 - \rho_{\text{КТС}2}) \dots (1 - \rho_{\text{КТС}m}) \quad (2.5.4)$$

Далее по аналогии уточнения ВНГР КТС с учетом комплексирования модулей рассчитываются ВНГР и для РЛС с учетом комплексирования КТС.

$$K_{\text{РЛС}} = -\ln \rho_{\text{РЛС}} - \lambda t_{\text{п}} / T_{\text{РЛС}} \quad (2.5.5)$$

$$\rho_{\text{РЛС}} = e^{-\lambda(t + K_{\text{РЛС}} T_{\text{РЛС}})} \quad (2.5.6)$$

где $T_{\text{РЛС}}$ - полное статистическое (по опыту разработки) время проектирования новой РЛС с учетом работ по комплексированию. $T_{\text{КТС}} = \varepsilon T_{\text{аКТС}}$ оценивается по временным интервалам, взятым из АПП (системы управления проектными данными (PDM-система)) для аналога РЛС данного типа с учетом коэффициента сложности ε разрабатываемой РЛС.

Приведенные в данном разделе модели позволяют при расчетах ВНГР учитывать структурные свойства РЛС. Переходя от нижних уровней иерархической структуры РЛС (модули) к верхним, с помощью предлагаемых моделей можно выстраивать цепочки расчетов для оценки ВНГР и управления процессом создания РЛС на основе оперативного

контроля за изменением ВНГР при варьировании факторов влияющих на процесс.

Выводы по главе 2

- 1) Задача управления процессом проектирования связана с распределением ресурсов проектной организации для минимизации временных и материальных затрат. *Для построения модели управления процессом проектирования требуется связать оценки состояния процесса с параметрической готовностью компонентов к использованию в составе РЛС и с данными о выполнении аналогичных разработок, которые накапливаются в архивах АПП РЛС.*
- 2) Разработана *параметрическая модель* оценки готовности компонентов проектируемой РЛС, которая позволяет выполнять оперативный анализ состояния разработки компонента по отклонениям контролируемых параметров конструктивно-технологических систем, получаемых при проверке компонента на стенде генерального конструктора.
- 3) Предложена *количественная модель* оценки готовности по соответствию характеристик этапов требованиям процесса разработки, которая дает возможность получать требуемые оценки готовности на всех этапах жизненного цикла создания РЛС и ее компонентов. Характеристики могут относиться и к технологиям создания РЛС и к обеспечению параметров компонентов РЛС. Таким образом, представленная здесь модель универсальна с точки зрения применимости для оценки готовности изделия на различных этапах жизненного цикла создания РЛС.
- 4) Определена статистическая связь между трудозатратами на проектирование и изготовление компонентов РЛС и оценкой готовности проекта в виде функции готовности, которая является интегральной характеристикой трудозатрат на разработку компонентов РЛС. Найденные соотношения параметров процесса проектирования позволили разработать

математическую модель определения свойств процесса создания РЛС в виде функции распределения относительной трудоемкости, которая является результатом обработки данных о распределении трудоемкости работ для аналогов проектируемого компонента РЛС. Функция распределения относительной трудоемкости *позволяет* оценивать готовности проекта с учетом этапов создания РЛС и ее компонентов.

- 5) Разработана *событийная (стохастическая) модель* расчета характеристик процесса создания РЛС, которая основана на представлении процесса проектирования в виде простейшего потока событий и позволяет связывать состояние разработки компонентов по параметрической готовности с характеристиками и факторами, влияющими на процесс разработки.
- 6) Использование событийной модели позволяет оценивать вероятность успешного завершения процессов создания РЛС и ее компонентов на основе данных, аккумулирующих существующий опыт создания РЛС в ряду эволюционного развития.
- 7) Предложены структурные модели оценки ВНГР РЛС, которые позволяют, переходя от нижних уровней иерархической структуры РЛС (модули) к верхним, выстраивать цепочки расчетов для оценки ВНГР и управления процессом создания РЛС на основе оперативного контроля за изменением ВНГР на всех уровнях иерархии при варьировании факторов влияющих на процесс.
- 8) Разработанные в главе 1 математические модели являются базой для построения *автоматизированной системы управления* процессом создания РЛС в ряду эволюционного развития, т.к. позволяют получать обобщенные оценки состояния проекта по критериям вероятности его успешного выполнения в указанные сроки и, связывая этот показатель с факторами управления процессом проектирования, контролировать и оптимизировать процесс создания РЛС.

- 9) Предлагаемые математические модели дают возможность в отличие от существующих подходов, основанных на субъективных экспертных оценках, выполнять оперативный контроль и оптимизацию процесса создания многофункциональных РЛС на основе накопленных в библиотеках аппаратно-программной платформы данных опыта предыдущих разработок.

3. Разработка метода управления рисками проектирования РЛС

В разделе 2 рассмотрена прикладная теория расчета и оценки показателей процесса проектирования, которая устанавливает соответствие между такими характеристиками, как параметрическая готовность, производственно-технологическая готовность, трудоемкость, время выполнения проектных работ и вероятность нарушения графика работ. Как было показано, эти характеристики при автоматизированном управлении проектированием являются факторами, влияющими на эффективность процесса создания РЛС, и могут быть использованы для управления разработкой РЛС и ее компонентов. Часть из них может быть получена путем анализа функций, выполняемых компонентами РЛС и их влияния на параметры ФАС, другая выбрана из системы сбора, обработки и хранения информации о разработках поколений РЛС (PDM-системы) или получена в виде оценок на основе анализа аналогов проектируемых компонентов.

Для эффективного управления созданием РЛС и ее компонентов необходимо разработать метод, систематизирующий расчет параметров процесса проектирования с позиций минимизации ресурсных и временных затрат. Задачами управления являются:

- извлечение из баз данных параметров процесса проектирования,
- оценка вероятности нарушения графиков разработки (ВНГР) компонентов РЛС ,
- оценка ВНГР КТС,
- оценка ВНГР РЛС,
- поиск решений позволяющих минимизировать вероятности нарушения графиков создания РЛС при временных и ресурсных ограничениях,

- поиск решений позволяющих минимизировать время выполнения проектных работ при заданной ВНГР РЛС и ресурсных ограничениях,
- поиск решений позволяющих минимизировать ресурсы проектирования при заданной ВНГР РЛС и временных ограничениях.

Три последних задачи являются основными, и от их решения зависит эффективность управления проектированием РЛС. При разработке методов будем опираться на теорию оценки ВНГР компонентов РЛС, представленную в разделе 2.

3.1. Метод оценки факторов управления процессом разработки РЛС

Общий подход к задаче расчета ВНГР устройств и КТС строится на принципе распределения процесса проектирования по этапам. Согласно предположению (раздел 2.4), интенсивность работ внутри этапа считается постоянной величиной. Накопленный опыт проектирования позволяет заранее оценивать распределение трудоемкости этапов разработки в зависимости от видов и типов устройств и КТС. Например, для программных модулей центр тяжести распределения смещается к этапам алгоритмической и программной разработки. Для устройств с высокой долей технологической составляющей (например, приемно-передающих модулей) изготовление опытных и серийных образцов потребует больших усилий и материальных ресурсов.

Как было показано в разделе 2, ВНГР компонента РЛС вычисляется по формуле: $\rho = e^{-\lambda(t_n + K_T t_p)}$ (3.1.1), где

λ – интенсивность выполнения разработки, t_n – плановые сроки выполнения разработки на выбранном этапе, t_p – временной интервал

выполнения этапа разработки компонента по данным аналога, K_r - коэффициент готовности на начало этапа

Исходя из этого аналитического выражения, структура метода управления ВНР компонента может быть представлена в следующем виде (рисунок 3.1.1).

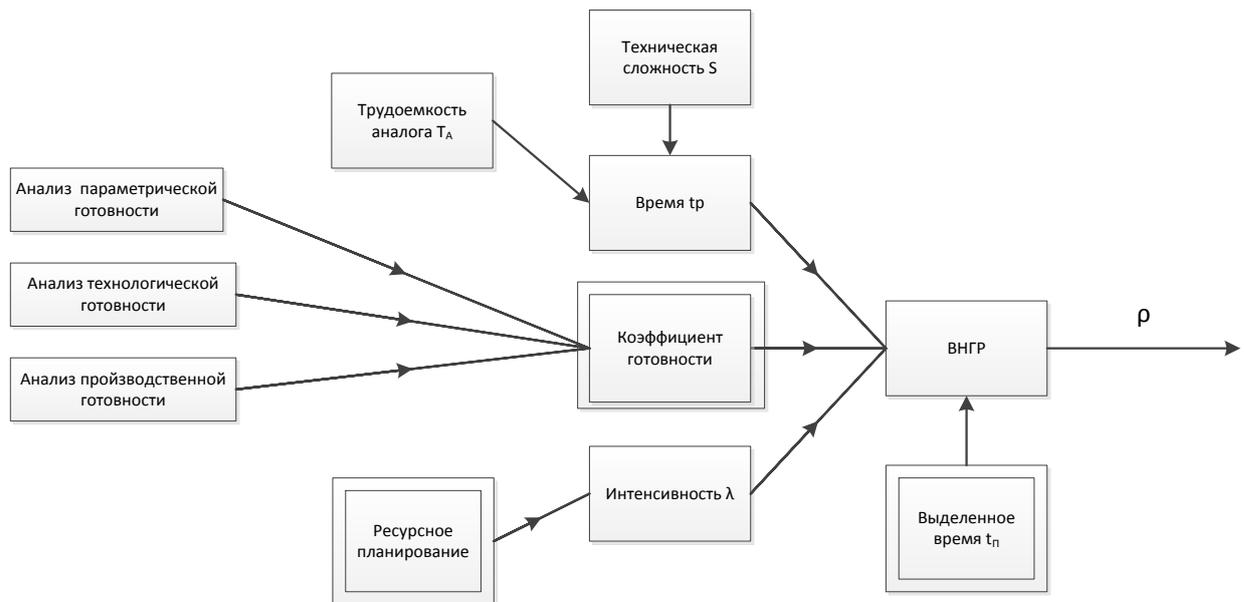


Рис. 3.1.1 Метод расчета ВНР

На рисунке двойной рамкой выделены управляющие факторы. Коэффициент готовности задает состояние разработки изделия на начало этапа и может быть рассчитан по методикам из раздела 2. Время разработки является функцией времени разработки аналога и технической сложности изделия. Интенсивность показывает объем полученных результатов разработки за интервал времени на основе данных аналога. Интенсивность находится в прямой зависимости от выделенных на разработку ресурсов (количество специалистов, уровень автоматизации, аппаратурное и технологическое оснащение и т.д.).

Рассмотрим природу формирования факторов в контексте их получения и использования.

Временной интервал t_p полного цикла разработки компонента по данным аналога определяется сведениями о предшествующих разработках и сравнением аналога с разрабатываемым устройством. Исходными данными расчета являются время разработки аналога и коэффициент сложности компонента относительно аналога. Зная из справочников АПП время разработки аналога t_a и относительный коэффициент сложности ε , можно оценить общее время разработки нового изделия:

$$t_p = t_a \cdot \varepsilon \quad , \quad (3.1.2)$$

Получение данного показателя возможно с применением экспертных систем [41]. В реализуемой автоматизированной системе управления оценка относительной сложности формируется экспертом на основе сравнительного анализа параметров компонентов АПП и ФПМ в интерактивном режиме (см. раздел 4.3).

Методика определения коэффициента готовности зависит от этапа проектирования и от типа решаемой задачи. Для оценки существующих и проектируемых образцов на этапах эскизного и технического проектирования лучше применять параметрическую модель расчета коэффициентов готовности, т.к. в этом случае важнейшим фактором является рассогласование функциональных характеристик аналога или проектируемого устройства с их функционально-параметрической (теоретической) моделью. При оценке уровня готовности аналогов компонентов на этапах подготовки технического задания и технического предложения лучше воспользоваться оценкой готовности по обобщенным поэтапным показателям, которые характеризуют готовность подразделений предприятия на разных этапах создания компонентов (раздел 2.2).

Предположим, что проектируемый модуль имеет аналог в АПП. Трудоемкость создания аналога распределена по этапам: математическая модель – 20%, имитационная модель – 30%, опытный образец – 40%,

серийный образец – 10%. Вновь создаваемый модуль может использовать мат. модель аналога и 50% разработок по имитационной модели аналога (например, испытательное оборудование, часть программного обеспечения), ОО и СО придется изготавливать заново. Тогда можно сделать оценку уровня готовности проектируемого модуля $K_r=20\%+30\% \cdot 0,5=35\%$, где K_r – коэффициент готовности.

Одним из главных факторов, влияющих на темпы создания изделия, является интенсивность разработки λ . Для ее определения обратимся к формуле вычисления ВНГР аналога $\rho_a = e^{-\lambda_a t_a}$, где λ_a – интенсивность процесса разработки аналога компонента, t_a – время разработки аналога. Задав вероятность получения результата для аналога (например, на уровне 6σ), можно рассчитать показатель интенсивности процесса по формуле

$$\lambda_a = -\frac{\ln \rho_a}{t_a}, \quad (3.1.3)$$

Значение интенсивности λ_a является основной отправной точкой управления процессом проектирования. Относительно этого значения можно определять меру воздействия на проектные работы и рассчитывать требуемую интенсивность

$$\lambda = \gamma \lambda_a, \quad (3.1.4)$$

, которая варьируется относительно интенсивности разработки аналога λ_a с помощью коэффициента γ . Коэффициент γ определяет уровень изменения интенсивности работ по проекту для компонентов на этапах работ для обеспечения необходимого уровня ВНГР процесса при разработке компонентов РЛС на различных этапах. *В приложение 3 рассмотрен пример оптимизации процесса проектирования, в котором этот показатель будет играть основную роль.*

Планируемое время разработки t_n является фактором, увеличение которого приводит к уменьшению ВНГР, а уменьшение к росту. Данный

показатель может быть использован для уменьшения напряженности графика работ за счет более равномерного их распределения по этапам. Изменяя интервалы выполнения отдельных этапов разработки можно увеличить эффективность разработки за счет более рационального распределения загрузки персонала в подразделениях организации.

Возможно решение обратной задачи: по заданной ВНГР ρ и выделенному времени t_{Π} определить ресурсы для ускорения процесса проектирования. Для этого по формуле

$$t_p = -t_{\Pi} / (\ln \rho + K_{\Gamma}) \quad , \quad (3.1.5)$$

определяется время проектирования компонента РЛС, а затем находятся дополнительные ресурсы для его уменьшения.

Пример управления факторами эффективности процесса проектирования приведен в приложении 1. Разработанное программное обеспечение и примеры расчетов показали возможности предложенного метода для управления проектом. Удалось за счет перераспределения ресурсов времени, изменения интенсивности работ на отдельных этапах, выбора компонентов с высоким коэффициентом готовности добиться уменьшения ВНГР при ограничении на время выполнения проекта РЛС в 2,5 раза.

Главным преимуществом предложенного метода управления является возможность оперативного контроля параметров всего процесса создания РЛС (на разных уровнях иерархии компонентов РЛС и этапов разработки) и оптимизации обобщенных показателей эффективности (риск нарушения графика работ, время проектирования, интенсивность выполнения работ на каждом участке). Управление не требует ненужной в данном случае излишней детализации процесса, что позволяет применять предлагаемый метод для общего руководства проектированием РЛС.

Далее рассмотрим применение предложенного метода управления проектированием РЛС на этапах жизненного цикла создания РЛС.

3.2. Управление выбором компонентов из библиотек АПП

Формирование в базе данных вариантов подстановки моделей в ФПМ РЛС является основной оптимизационной задачей проектирования РЛС на базе унифицированной аппаратной платформы, которая решается на этапе эскизного проектирования. На этом этапе, выбирая из библиотек АПП блоки и модули и подставляя их в ФПМ, необходимо создать множество вариантов исполнения КТС РЛС. Данная задача в теории автоматизированных систем проектирования относится к классу задач компоновки и называется задачей покрытия [52].

Задача покрытия нашла широкое применение в цифровой технике, где распространены библиотеки типовых элементов пополняемые различными разработчиками. На базе типовых элементов можно строить разнообразные цифровые схемы. В проектировании РЛС данная задача ранее не ставилась, т.к. до настоящего времени не удавалось создавать унифицированные библиотеки типовых компонентов для новых РЛС на базе старых разработок. Введение понятия АПП кардинально меняет положение дел в этой области, т.к. появляется возможность строить ряды развития РЛС на основе введенных принципов унификации компонентов [9].

Для реализации концепции АПП в области автоматизированного проектирования РЛС необходимо развивать методологию, основанную на передаче накопленного опыта от разработки к разработке.

Для систематизации изложения введем следующие обозначения. Предположим, что структура РЛС ДО состоит из множества КТС $\hat{Y} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$. Обозначим Ω множество модулей функционально-параметрической модели КТС. Обозначим M множество всех модулей,

определенных в платформе проектирования или находящихся в состоянии разработки для использования в РЛС .

Модулю $\omega_j \in \Omega$ соответствует множество однотипных модулей $\hat{M}_j \subset M$, каждый из которых может функционально замещать модуль ω_j , т.е. на множестве $\Omega \cup M$ определено отображение $\Gamma: (\Gamma\omega_j = \hat{M}_j) \subset M$. Необходимо определить в множестве M подмножество модулей $\hat{M}_2 \subset M$, которые готовы к использованию в качестве компонентов КТС. Далее необходимо найти такое отображения $H_\xi: \{ \forall \omega_j \in \Omega, \exists m_j \in \hat{M}_2, H_\xi \omega_j = m_j \}$, которое задает вариант покрытия КТС с применением модулей АПП. Т.е. предполагается, что для любого модуля ФПМ в АПП или среди разрабатываемых компонентов найдется эквивалент. Решение поставленной задачи необходимо найти при условиях минимизации вероятностей и выполнении требований ТТХ.

Отображение H_ξ представляет один вариант решения задачи покрытия. Рассматривая все возможные варианты покрытия, получим семейство отображений $H = (H_1, H_2, \dots, H_L)$, на котором решается задача оптимального выбора.

Обобщенная модель покрытия ФПМ разрабатываемыми или выбранными из АПП модулями требует для решения постановки оптимизационной задачи. Необходимо определить методологию получения оценок функции качества и ограничений. В этой связи рассмотрим покрытие в плане получения приемлемых ТТХ РЛС и обеспечения процесса проектирования с позиций обеспечения ресурсных ограничений (финансирование, трудозатраты, время). Задача разбивается на несколько подзадач:

- Синтез новых вариантов подстанции компонентов АПП в ФПМ.
- Систематизация записи вновь образованных вариантов решений.
- Оценка синтезируемых вариантов решения по показателям трудоемкости, готовности и ВНГР.
- Формирование в базе данных проекта библиотеки вариантов подстанции компонентов АПП в ФПМ.

Решение поставленных задач предлагается выполнять в режиме интерактивного взаимодействия разработчика с программами (Рис. 3.2.1).

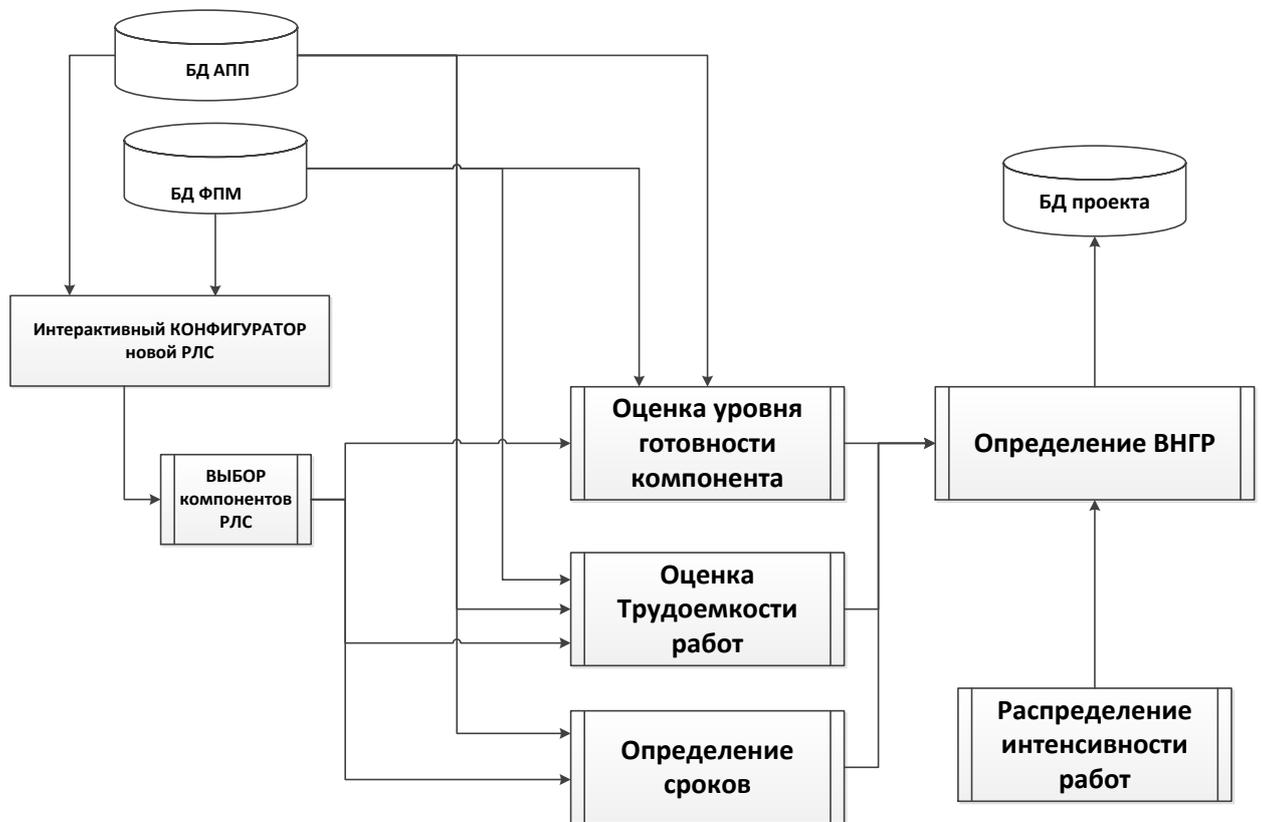


Рис. 3.2.1 Функции управления процессом проектирования в режиме выбора компонентов из АПП

Исходные данные поступают из библиотек АПП и базы данных ФПМ РЛС. В интерактивном режиме разработчики выбирают из сетевой базы данных функционально-параметрические модели (ФПМ) компонентов и соответствующие им аналоги из АПП (интерактивный configurator). Для этого в разработанной автоматизированной системе предусмотрен специальный графический интерфейс (Рис. 3.2.2), с помощью которого

проектировщик может сравнивать параметры ФПМ и компонентов из АПП, перемещать компоненты из библиотек АПП в проект, решая задачу покрытия. В результате в базе данных проекта формируются варианты покрытия схемы деления РЛС компонентами из АПП.

Оценка характеристик компонентов в покрытии

Характеристика ППМФПМ			Оценка ВНР		Характеристики ППМ АПП		
Характеристика	Ед.изм.	Значение	Параметры готовности	Значение	Характеристика	Ед.изм.	Значение
Мах. Импл. мощность	вт	300	Трудоёмкость прототипа (мес.)	19	Мах. Импл. мощность	вт	250
Полоса пропускания	мГц	500	Уровень готовности %	34	Полоса пропускания	мГц	450
Центральная частота	мГц	3000	Относительная сложность	1.3	Центральная частота	мГц	3000
Длит зонд. Импл.	мс	30	Плановое время проектирования (мес.)	14	Длит зонд. Импл.	мс	15
Коефф. шума приемника	дБ	4		0.012	Коефф. шума приемника	дБ	4.5
Шаг установки фазы	град	6	Риск проектир.	Оценка готовности	Шаг установки фазы	град	11
Ошибка установки фазы	град	3		Рассчитать риск	Ошибка установки фазы	град	6
				Рассчитать плановое время			

ВНР КТС $\rho=0,09$

Рис. 3.2.2 Окно оценки рисков выбора компонентов

Решение о включении компонента в проект РЛС принимается на основе оценки изменения ВНР после включения компонента в состав РЛС, которая рассчитывается исходя из параметров готовности, трудоёмкости, сроков и интенсивности работ. Вбираются такие компоненты, для которых ВНР будет минимальным.

Если для компонента не находится вариант подстановки из АПП, то считается, что необходимо выполнить полный цикл разработки. В последнем случае ВНР компонента рассчитывается на основании данных по аналогу в АПП.

Алгоритм решения задачи покрытия показан на рисунке 3.2.3.

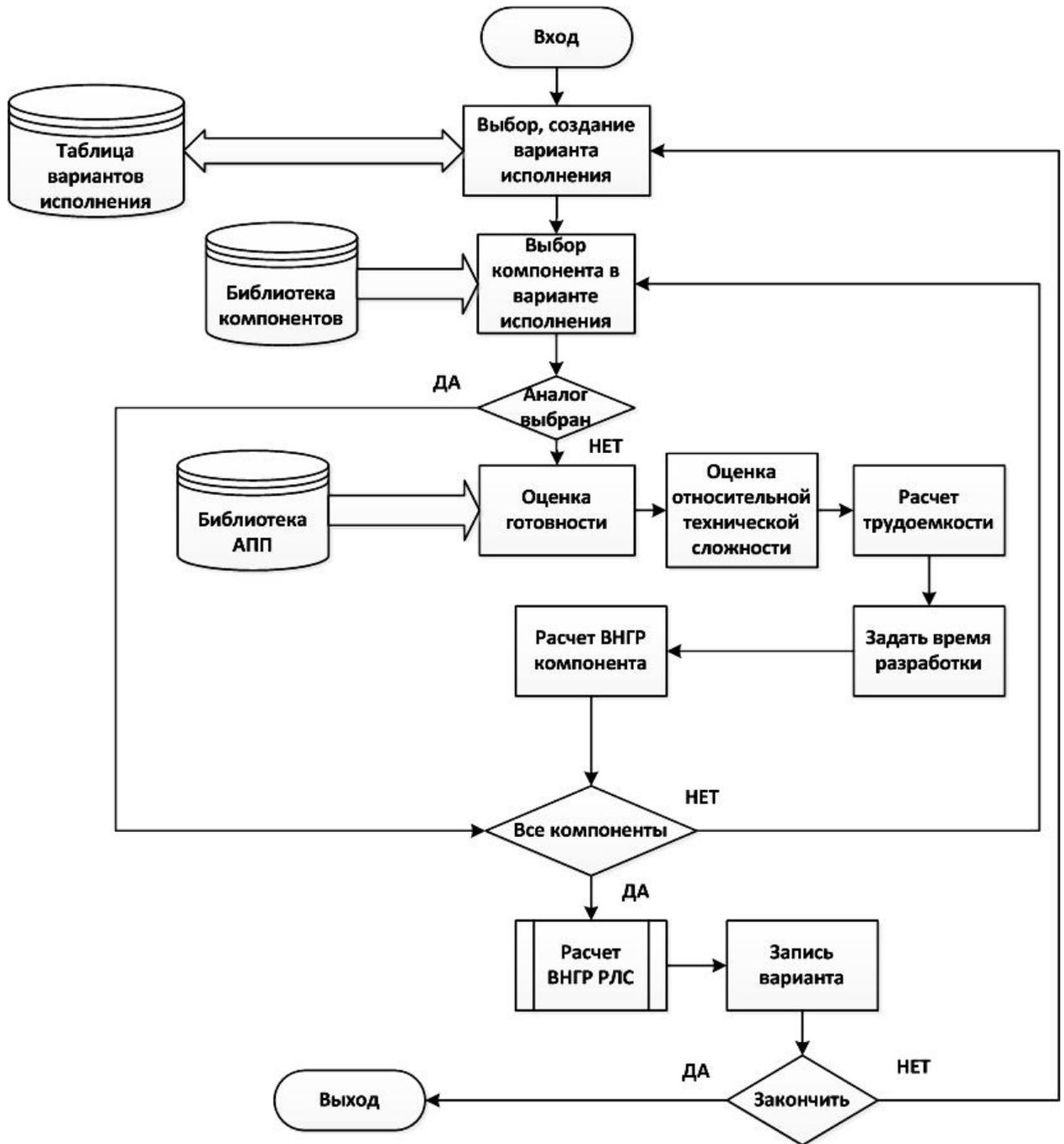


Рис. 3.2.3. Алгоритм задачи покрытия

Варианты покрытия размещаются в таблице вариантов покрытия и библиотеке элементов покрытия. В таблице вариантов хранятся параметры всех синтезированных в интерактивном режиме вариантов покрытия. Для каждого варианта создается библиотека компонентов. Библиотека компонентов включает ФПМ всех компонентов проектируемой РЛС

(структуру и параметры) и соответствующих им компонентам покрытия из АПП.

Для каждого компонента библиотеки выбирается аналог из базы данных АПП, оцениваются готовность, техническая сложность, трудоемкость и задается время разработки. После этого выполняется расчет ВНГР. После обработки всех компонентов варианта по методике (глава 2) рассчитывается ВНГР всей РЛС с учетом ее иерархической структуры. Процесс заканчивается записью варианта покрытия в базу данных проекта.

Все базы данных проекта размещаются на сервере организации и работают по технологии клиент-сервер. Проектирование компонентов находится в ведении исполнителей. Поэтому рассмотренная задача решается в режиме коллективного доступа к данным. Каждый компонент РЛС проектируется с рабочих мест, подключенных к задаче с открытыми правами доступа. Значения ВНГР по цепочке иерархической структуры проекта передается от компонентов к уровню РЛС для анализа и принятия решений руководителем проекта.

3.3. Управление процессом проектирования при разработке компонентов РЛС

В режиме рабочего проектирования компонентов происходит отработка их параметров и характеристик. При этом изменяются показатели всего процесса создания РЛС. В данном параграфе обратимся к методикам и алгоритмам оперативного контроля за выполнением проекта и управлением его параметрами с применением разработанных моделей и метода управления параметрами процесса проектирования.

При проектировании РЛС ДО нового поколения требуется решение следующих задач:

- синтеза, расчета и оптимизации структуры и параметров схемы и конструкции РЛС ДО;

- исследования влияния разбросов параметров на устойчивость функционирования РЛС ДО;
- обеспечения показателей надежности и качества блоков, модулей и РЛС ДО в целом.

На этапе рабочего проектирования в основном сформирован облик РЛС и на СГК выполняются следующие работы:

- отработка конфигурации и параметров КТС на СГК;
- разработка блоков и модулей РЛС;
- стыковка и отладка основных параметров блоков и модулей;
- функциональная наладка взаимодействия компонентов;
- планирование процесса разработки компонентов;
- уточнение ТЗ на разработку компонентов.

В контексте методологии АПП данные виды работ требуются для уточнения оценки готовности модулей выбранных из АПП и для управления процессом разработки при изготовлении и комплексной отладке образцов модулей. Данный этап работы имеет значительно более высокую трудоемкость по сравнению с априорным выбором при формировании покрытия схемы деления РЛС компонентами из АПП. Проведенная в режиме выбора компонентов из АПП оптимизация может значительно сократить время разработки. Тем не менее, дальнейшие этапы создания РЛС требуют больших временных и ресурсных затрат. Поэтому и здесь необходимо продолжить выполнение шагов по минимизации потерь (временных и ресурсных).

Рассмотрим применение предлагаемых выше математических моделей и метода для управления параметрами процесса проектирования с целью уменьшения потери времени за счет более четкого планирования работ по созданию РЛС.

Перед АСУП на данном этапе создания РЛС ставятся следующие задачи:

- оперативный контроль за состоянием процесса создания,
- определение участков разработки, на которых намечается отставание от графика,
- определение влияния состояния проектирования компонентов на сроки и риски завершения разработки РЛС,
- формирование оценок возможностей завершения разработки в указанные сроки при выделенных ресурсах,
- оценка влияния управляющих факторов на процесс разработки компонента,
- управление значениями управляющих факторов для обеспечения гарантированного получения результатов разработки в заданные сроки.

Методика управления была разработана для технологии проектирования многофункциональных РЛС дальнего обнаружения. Рассмотрим функционирование АСУП в цикле создания РЛС АСУП, который включает: уникальный стенд Генерального конструктора (СГК), созданном в ОАО «РТИ», системы автоматизированного проектирования для разработки компонентов РЛС, автоматизированная система управления данными на этапах жизненного цикла.

На рисунке 3.4.1 показана структурная схема работы АСУП в режиме стендовой проверки компонентов. Закрашенные блоки структурной схемы реализуют процедуры обработки АСУП. Не закрашенные относятся к внешним подсистемам системы создания РЛС.

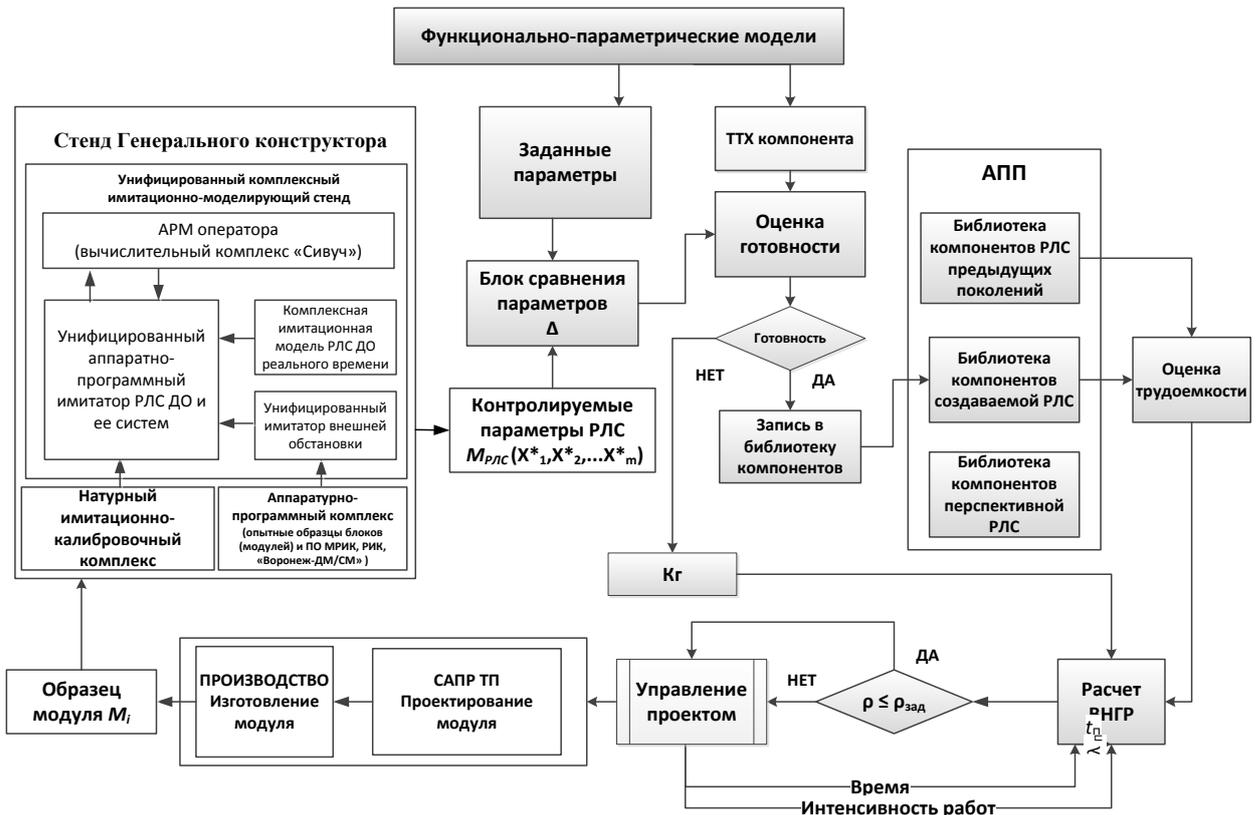


Рис.3.4.1 АСУП в режиме стендовой проверки выбора модулей из АПП СГК представляет собой территориально-разнесенный аппаратно-программный комплекс, основанный на блочно-модульной архитектуре открытого типа и обеспечивающий поэтапную замену каждого аппаратного и программного модуля на всех этапах жизненного цикла создания блока (модуля) РЛС ДО [10]. СГК предназначен для:

- математического, имитационного и полунатурного моделирования функционирования блока (модуля) в составе РЛС ДО нового поколения;
- функциональной обработки характеристик комплексов, блоков и модулей РЛС ДО нового поколения;

предварительной оценки достигаемых тактико-технических характеристик разрабатываемых РЛС.

Из СГК в АСУП поступают значения ТТХ РЛС, которые сравниваются со значениями параметров ФПМ в блоке сравнения характеристик. Невязки значений выходных параметров ТТХ РЛС с требуемыми значениями определяют готовность модулей для применения. В случае полной

готовности модуля описание его структуры и параметров помещаются в библиотеку компонентов создаваемой РЛС. При уходе параметров модуля за пределы ТТХ выполняется расчет коэффициента готовности K_g на текущем этапе проектирования (раздел 2). Далее выполняется цикл управления разработкой.

Цикл управления процессом разработки компонента включает: процедуры расчета ВНГР проверяемого модуля (п.2.4), расчет значений ВНГР для всей станции (п.2.5), определение ресурсов, необходимых для минимизации рисков проекта. ВНГР рассчитывается для текущего этапа проектирования.

Расчет вероятности не завершения разработки в срок $\rho = e^{-\lambda_n(t_n + K_g t_p)}$ начинается с оценки полного времени выполнения работ. Время разработки t_p определяется по трудоемкости разработки аналога на рассматриваемом этапе, взятой из библиотеки модулей АПП, и по относительной сложности разрабатываемого модуля, взятой из библиотеки компонентов создаваемой РЛС.

Для расчета вероятности ρ необходимо задаться параметрами: интенсивностью λ_n и планируемым временем разработки t_n , которые в данной задаче являются основными факторами управления процессом разработки модуля.

Интенсивность разработки i -го модуля определяется по формуле

$$\lambda_{pi} = \mu_i \cdot \lambda_{ai} \quad (3.4.1)$$

, где λ_{ai} – интенсивность разработки аналога, μ_i – коэффициент увеличения интенсивности разработки для проектируемого модуля. Изменения интенсивности работ определяется, например, количеством сотрудников, привлекаемых к процессу, внедрением и применением автоматизированных систем проектирования и производства, применением новых технологий и т.д. Каждая новация в технологию создания РЛС (например, IT-технология), как правило, проходит нормирование ее влияния

на сроки и качество выполнения проекта. Эта информация приводится в документации и обоснованиях внедрения технологии.

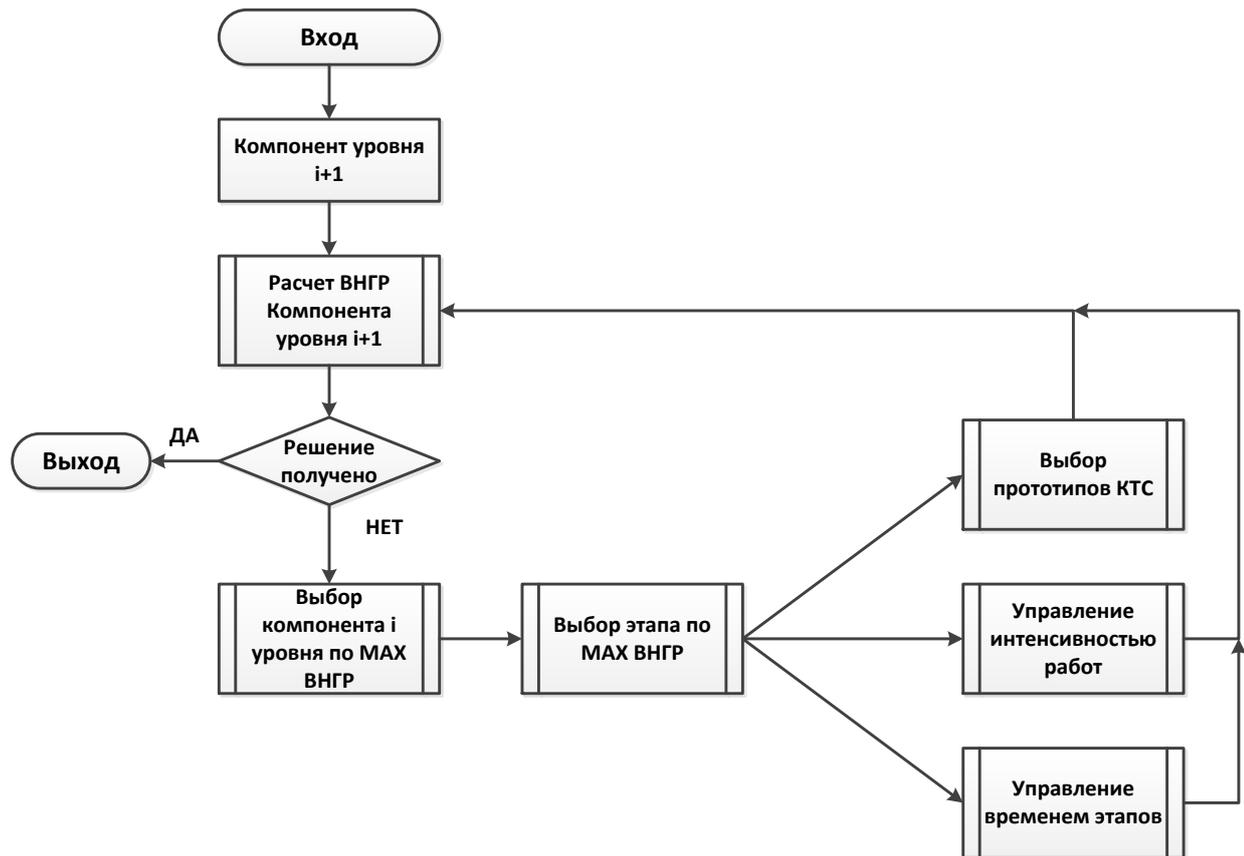
После выявления неготовности проверяемого модуля необходимо проверить возникшие риски срыва графика работ. Если они превышают допустимый порог, то необходимо выполнить коррекцию параметров процесса проектирования. Снижение ВНГР по компоненту можно добиться либо увеличив плановые сроки $t_{п}$ выполнения этапа работ, либо увеличив интенсивность разработки на этапе. Выбор требуемых параметров происходит в цикле решения задачи управления.

Если варьированием параметров $t_{п}$ и $\lambda_{п}$ задача не решается, то необходимо проанализировать распределение ВНГР по другим участкам и произвести коррекцию показателей рисков нарушения графика разработки всего процесса проектирования. В последнем случае задача переходит в область планирования работ по созданию РЛС.

3.4. Управление процессом проектирования при планировании работ по созданию РЛС

Одной из главных задач АСУП является выполнение оперативных расчетов влияния факторов на эффективность процесса создания РЛС и предоставление сведений о них руководителю проекта. Другой, главной задачей является управление проектированием путем планирования необходимых действий по снижению рисков нарушения графика создания РЛС.

На рисунке 3.4.1 показан алгоритм управления при планировании разработки РЛС.



3.4.1 Планирование разработки РЛС

ВНГР вычисляются от нижних уровней иерархии компонентов (модулей) РЛС к верхним (см. п.2.5), в обратном порядке выполняется поиск проблемных участков разработки для изменения параметров процесса проектирования. Полученная на уровне $i+1$ оценка ВНГР сравнивается с пороговым значением, которое задается исходя из требуемой ВНГР. При превышении порогового значения делается вывод о необходимости изменения значений факторов влияющих на эффективность проектирования. Выполняется поиск компонентов на уровне i , вносящий максимальный вклад в ВНГР выбранного компонента на уровне $i+1$.

Для выбранного на уровне i компонента выявляется наиболее напряженный этап разработки с максимальным ВНГР и для него выполняется управление ресурсами.

Принимая решения об управлении процессом разработки изделия, руководитель проекта анализирует получаемые данные о ВНГР по всем компонентам. При этом он должен одновременно контролировать как оценки

по отдельным компонентам РЛС и этапам разработки, так и по всем компонентам и РЛС в целом. Интегральные оценки вероятности по КТС и РСЛ получаются с помощью моделей представленных в разделе 2.5.

Таким образом, для принятия решения необходимо анализировать информацию по всем компонентам, находящимся в разработке. Только после обобщения этой информации по всем компонентам руководитель проекта принимает окончательное решение. Для облегчения поиска участков процесса проектирования, на которых принимаются управляющие решения, процедура поиска организуется от верхних уровней иерархии компонентов системы вниз.

Рассмотрим пример управления процессом проектирования. Результаты примера получены с использованием предложенных на предприятии данных и применения программного обеспечения разработанного для проверки и верификации предлагаемых в диссертации моделей и метода.

На рисунке 3.4.2 представлено окно управления проектом.

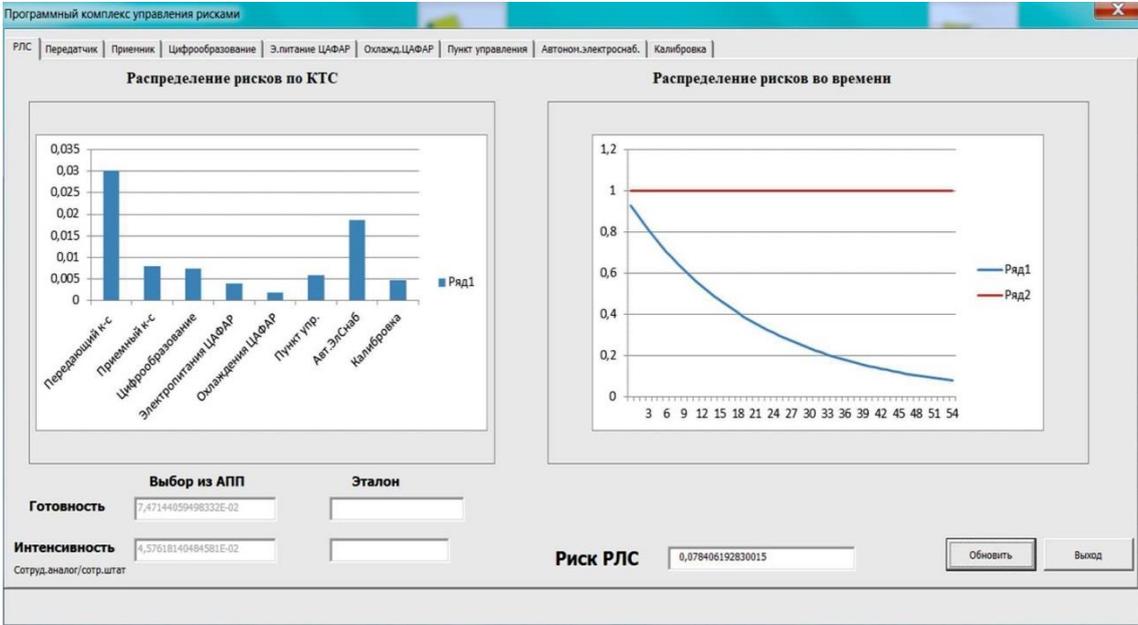


Рис. 3.4.2 Окно выбора КТС для управления проектированием

Окно состоит из 9 закладок, на которые выводится информация для управления проектом. На первой закладке выводится информация о распределении ВНР (Рисков) по 8-ми КТС. Общее значение ВНР РЛС 7,8

%. Наибольший вклад в ВНГР РЛС вносит передающий комплекс. Поэтому выполняется переход к закладке окна «Передатчик».

На рисунке 3.4.3 показано распределение ВНГР по этапам разработки передающего комплекса РЛС.

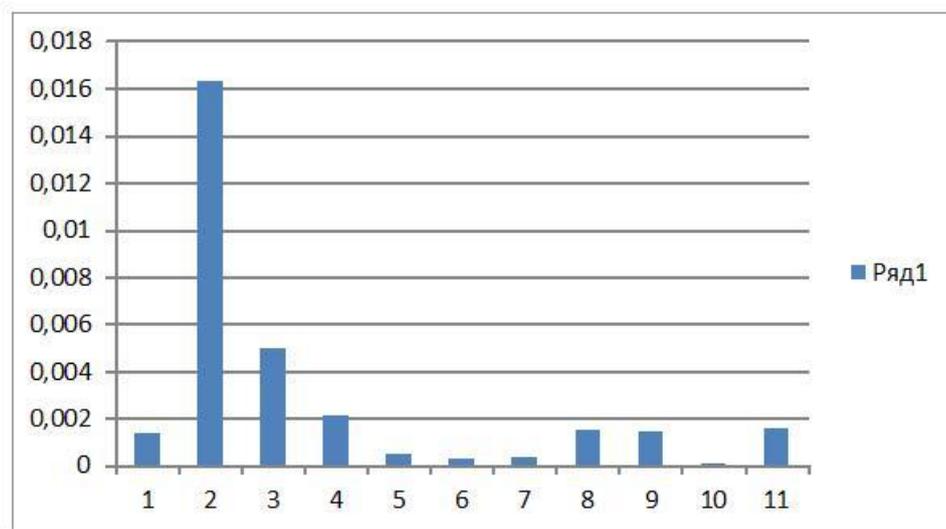


Рис.3.4.3 Гистограмма распределения ВНГР по этапам разработки передающего комплекса

Как видно из диаграммы, наибольший риск невыполнения по этапу 2. На этапах 5-7, 10 риск минимальный. Увеличим интенсивность работ этапа на 30%. Распределение ВНГР по этапам изменится, а общий ВНГР по передатчику уменьшится с $\approx 3\%$ до 2% (рис.3.4.4).

Время разработки $t_{\text{п}}$ является плановым параметром, однако и оно может варьироваться для нивелирования распределения работ между участниками процесса и этапами. Увеличение временного отрезка выполнения этапа проектирования объективно приводит к увеличению качества и количества выполненных работ. Прежде всего это относится к творческому процессу, который не поддается четкому нормированию. Перераспределение времени выполнения этапов может привести к более эффективному использованию научного, технического и технологического потенциала организации.

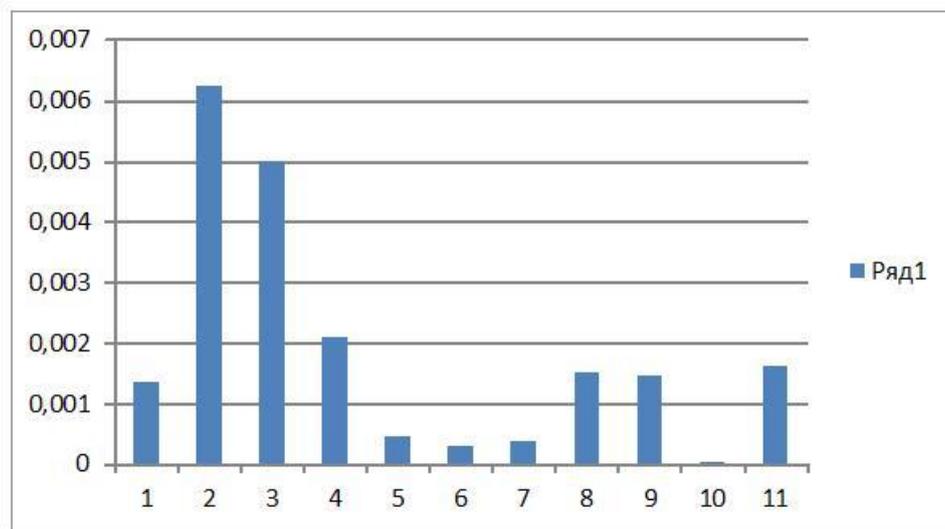


Рис.3.4.4 Гистограмма распределения ВНГР по этапам разработки после изменения интенсивности работ

В таблице 3.1 показано распределение планового времени выполнения. Т.к. этапы перекрываются, то общее время работ по созданию передающего комплекса 57 месяцев.

Таблица 3.1

Этап	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Время Мес.	9	12	9	25	34	24	23	3	3	3	3

Если увеличить время выполнения этапа 2 на 2 месяца и скомпенсировать потери уменьшением времени на этапе 7, то распределение ВНГР по этапам изменится (Рис. 3.4.5). При этом ВНГР по передатчику уменьшится с $\approx 3\%$ до $2,4\%$.

После внесения изменений в параметры процесса проектирования передающего комплекса возобновляется анализ ВНГР РЛС на первой закладке.

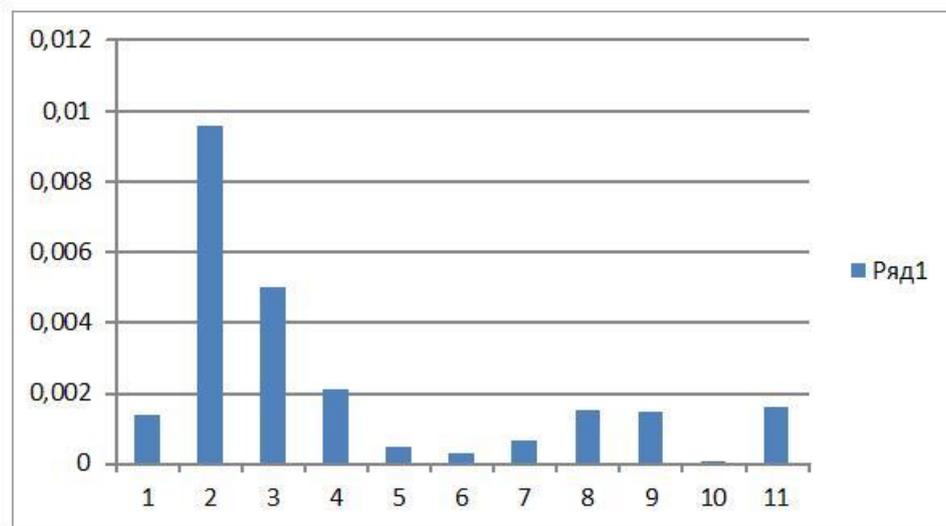


Рис.3.4.5 Гистограмма распределения ВНГР по этапам разработки передающего комплекса после изменения графика работ

Расчетные примеры показали возможности применения метода управления для эффективного выбора параметров процесса проектирования РЛС на различных уровнях иерархии компонентов и по этапам разработки.

Выводы по главе 3

- 1) Разработан метод управления факторами, влияющими на вероятность успешного завершения разработок компонентов РЛС, на основе аналитических зависимостей между характеристиками процесса проектирования (интенсивность выполнения работ по проекту, параметрическая и технологическая готовность устройства, техническая сложность устройства, трудоемкость проектирования аналога устройства, заданное время завершения проекта, время проектирования аналога).
- 2) Главным преимуществом предложенного метода управления является возможность оперативного контроля параметров всего процесса создания РЛС (на разных уровнях иерархии компонентов РЛС и этапов разработки) и оптимизации обобщенных показателей эффективности (риск нарушения графика работ, время проектирования, интенсивность выполнения работ на каждом участке). Метод не

требует ненужной в данном случае излишней детализации процесса, что позволяет применять его для управления процессом проектирования на уровне руководителя разработкой РЛС.

- 3) *Предлагаемый метод управления по сравнению с существующими эвристическими подходами позволяет перейти от субъективных подходов к управлению процессом создания РЛС, к аналитическим оценкам, принимать решения на основе количественного анализа, выполнять оптимизацию показателей качества процесса разработки.*
- 4) Работоспособность предложенного метода управления проверена его применением при оптимизации выбора компонентов РЛС из АПП, в режиме проверки модулей на СГК и при планировании процесса проектирования. Для этого были разработаны алгоритмы и программное обеспечение, которые прошли апробирование на примерах и показали возможность прогнозирования и оптимизации параметров процесса проектирования в режиме интерактивного взаимодействия руководителя проекта с программно-информационным обеспечением.

4. Структура автоматизированной системы управления проектированием РЛС

Целью раздела является структурирование программно-информационного обеспечения управляющего процессом проектирования на всех стадиях жизненного цикла создания РЛС. Решая поставленную задачу, необходимо подчинить ее требованиям существующих в организации программно-аппаратного комплекса и методологии создания РЛС.

4.1. Структура программно-аппаратного комплекса создания РЛС

Существующая и успешно применяемая в ОАО РТИ методология проектирования РЛС базируется на взаимодействии систем автоматизации технического проектирования и аппаратно-программной экспериментальной базы в виде стенда ГК. Этот комплекс аппаратно-программных средств получил название автоматизированная система созданием (АСС) РЛС. При разработке АСС учитывалось, что РЛС является сложнейшим техническим объектом, который должен соответствовать тактическим и техническим требованиям, а также учитывать экономические и временные ограничения для успешного завершения проекта. Нарушение баланса этих требований и условий, невыполнение любого из них, может привести к непоправимым последствиям для разработки РЛС нового поколения.

Как показано в разделах 2 и 3, комплексным показателем качества создания РЛС может служить вероятность успешного завершения проекта, которая позволяет контролировать и управлять процессом ее разработки. Поэтому разработка АСС базируется на представленной выше теории управления процессом создания РЛС. Спроектированные в САПР ТП модули и блоки передаются на стенд ГК, где оценивается степень соответствия текущих характеристик (параметров) модулей требованиям функционально-

параметрической матрицей. Результаты испытаний передаются обратно в САПР ТП для доработки или для выпуска технической документации [42].

В современных условиях традиционный метод проектирования, основанный на разработке высоко-детальной схемы деления и последовательном выполнении совокупности требований формализованных ведомостью исполнения ОКР результатов этапов жизненного цикла, уже отстает от требований времени. Развитие методологии проектирования сложных систем на базе аппаратно-программной платформы позволило разработать инновационные подходы к созданию РЛС, основанные на современных средствах автоматизации, охватывающих весь жизненный цикл создания изделия. Современные методологии проектирования включают:

- Централизацию управлением проектированием на всех этапах жизненного цикла.
- Комплексование аппаратных средств аппаратно-программного унифицированного стенда генерального конструктора с программно-информационными средствами САПР.
- Интеграцию информационного и программного обеспечения САПР всех этапов жизненного цикла создания РЛС.
- Оптимизацию принимаемых решений на этапе концептуального проектирования за счет применения интегральных показателей, учитывающих ТТХ РЛС, технологические, плановые и экономические требования к проекту [39,43].

Решение перечисленных задач возможно при представлении процесса создания РЛС как потока не связанных событий, а так же за счет широкого применения систем информационной поддержки создания РЛС на всех этапах жизненного цикла.

Важнейшим требованием инновационного подхода к созданию РЛС является максимальное использование существующих, успешно отработанных при создании РЛС предыдущих поколений технологий создания как РЛС в целом, так и ее модулей, блоков и комплексов.

Таковыми технологиями являются:

- открытая контейнерно-модульной архитектура радиолокаторов,
- адаптивная цифровая обработка принимаемых сигналов,
- применение спецпроцессоров сверхвысокой производительности,
- применение цифровых интеллектуальных фазированных антенных решеток с цифровым формированием и управлением диаграммами направленности.

Кроме того, важнейшим условием для разработки автоматизированных систем создания РЛС является применение интегральных информационных PDM-систем.

В предыдущих разделах разработаны основные математические модели и методы, применяемые в управлении процессами проектирования РЛС. Далее рассмотрим структуру и основные принципы построения аппаратно-программных средств, реализующих предложенные выше подходы к решению поставленной задачи.

На рисунке 4.1.1 представлены основные компоненты АСС РЛС [44] нового поколения, в которой реализованы модели оценки ВНГР и управления процессом создания РЛС.

АСС объединяет 4 группы аппаратных и информационно-программных средств: стенд генерального конструктора (СГК), PDM-система Windchill, автоматизированная система управления проектированием (АСУП), САПР.



Рис. 4.1.1 Аппаратные и информационно-программные средства АСС

На СГК выполняется основной комплекс работ по комплексированию и наладке аппаратно-программных комплексов, блоков и модулей РЛС. СГК получает результаты разработок САПР ТП. В ходе испытаний вновь разрабатываемых модулей на СГК осуществляются оценки параметров компонентов, верификация и анализ результатов технического проектирования. Полученные оценки параметров модулей, блоков, комплексов анализируются на соответствие заданным в ФТМ требованиям. С выхода СГК передаются параметры модулей, блоков и комплексов, а также отклонение их выходных параметров от значений определенных ФТМ создаваемой РЛС.

PDM-система Windchill является главным информационным звеном (сервером данных АПП), интегрирующим информационные потоки от остальных компонентов АСС и выполняющим сервисные функции по

запросу пользователя, предоставляя ему доступ к информационным ресурсам. По результатам испытаний на СГК инициируется запись в Windchill результатов технического проектирования из САПР. PDM-система играет главную роль в информационных связях между остальными программными комплексами АСС. Кроме текущей информации в Windchill хранятся данные АПП, которые используются АСУП для решения задач анализа ВНГР и принятия решений. На вход PDM-системы передается следующая информация:

- Из САПР поступает техническая документация на проведенные разработки.
- Из АСУП результаты расчетов ВНГР и коэффициентов готовности.

Полученная с СГК информация позволяет определить варианты замены модулей и блоков.

PDM-система является источником информации для АСУП и САПР. В АСУП передаются данные АПП и ФПМ, сведения для расчета трудоемкости и готовности выбираемых модулей.

АСУП является центральным звеном в принятии решений по повышению эффективности процесса разработки. АСУП на основе данных о АПП и ФПМ, хранящихся в Windchill и значений отклонений параметров спроектированных модулей и блоков с ТТХ РЛС (СГК) рассчитывает коэффициенты готовности и ВНГР, выполняет выбор модулей из АПП. Данные на выбор и замену компонентов поступают в PDM-систему для выполнения процедур корректировки КД и в САПР для управления процессами проектирования компонентов РЛС на основе минимизации вероятностей срыва графика работ.

4.2. Структура автоматизированной системы управления проектированием РЛС

Аппаратно-программный комплекс АСУП предназначен для автоматизации анализа факторов, влияющих на эффективность процесса проектирования, объективного контроля за процессом разработки РЛС и ее компонент, а также для информационной поддержки принятия решений Генерального (главного) конструктора на всех этапах жизненного цикла создания РЛС нового поколения, в том числе и при решении задач стратегического планирования предприятия по организации перспективных разработок.

Достоинством АСУП является возможность реализации оперативного управления процессами создания РЛС на основе совместной обработки разнородной информации [40] на всех этапах жизненного цикла:

- со стенда ГК – текущие оценки коэффициентов готовности компонентов РЛС ;
- с комплексов САПР и с PDM-систем предприятия – данные о трудоемкости работ по выполнению операций разработки и создания компонентов РЛС ;
- от перспективной системы управления ресурсами предприятия (ERP-системы) – данные по трудозатратам и готовности модулей на производственных этапах ЖЦ, а также данные о компетенциях и квалификации персонала.

Как было показано в разделе 4.1, АСУП является составной частью АСС РЛС. АСУП информационно связана со стендом генерального конструктора, системой автоматизированного проектирования и взаимодействует с информационной средой управления жизненным циклом создания РЛС (Windchill). На основании методов оценки ВНГР создания РЛС (раздел 3) и разработанного комплекса моделей (раздел 2) АСУП решает задачи объединения процессов обработки данных функционально-технологических матриц (ФТМ) РЛС предыдущих поколений, текущих и

перспективных разработок предприятия АСУП формирует единую информационную платформу проектирования РЛС.

Состав АСУП представлен на рис. 4.2.1:

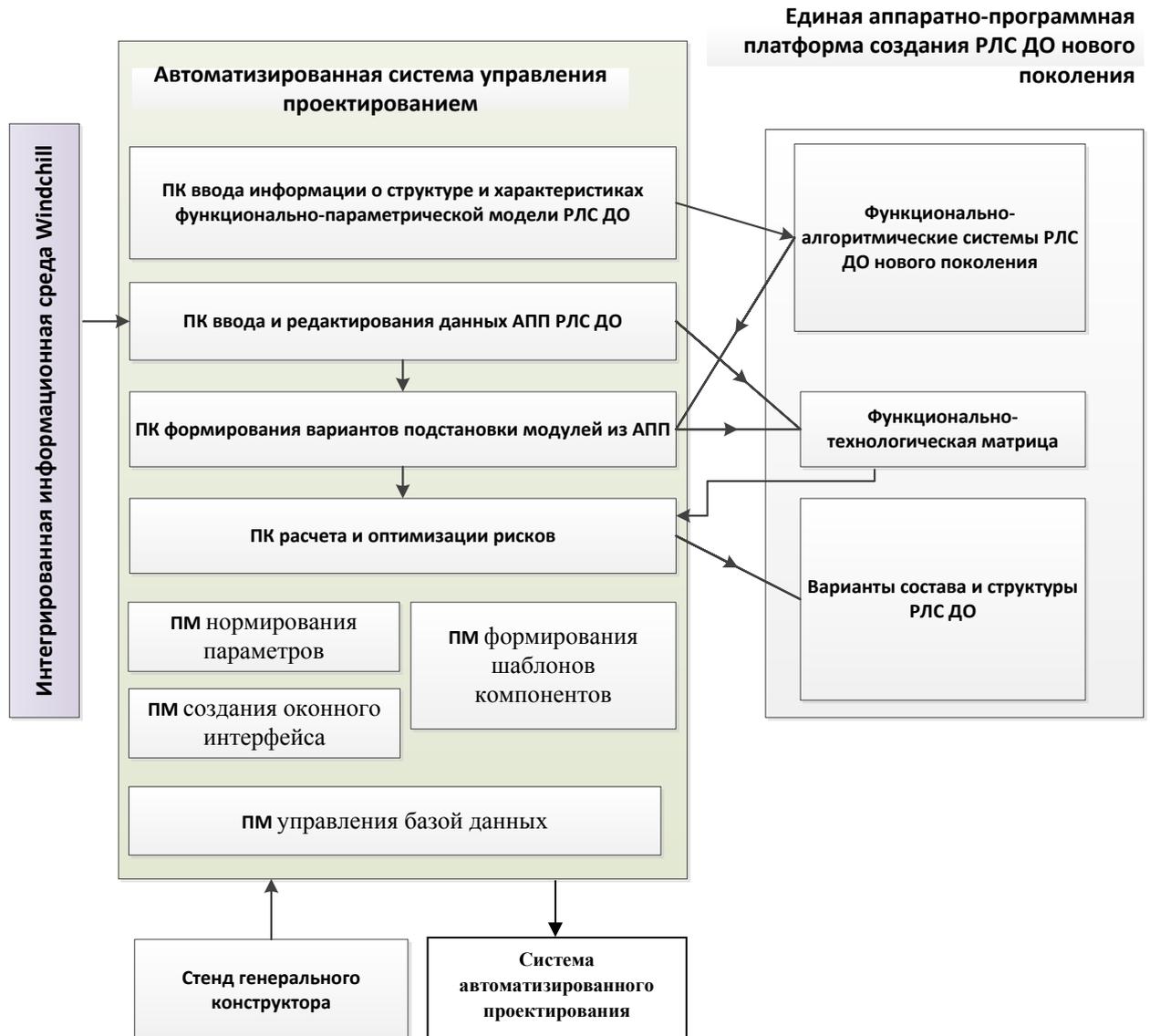


Рис. 4.2.1 Структурная схема автоматизированной системы управления проектированием РЛС

ПК ввода информации о структуре и характеристиках (ПКВИСХ) функционально-параметрической модели (ФПМ) *предназначен* для формирования информационной модели облика РЛС на стадии концептуального и эскизного проектирования. ПКВИСХ получает данные с конфигуратора системы и осуществляет ввод информации о структуре и

параметрах проектируемой РЛС и ее компонентах. ПК обрабатывает данные, которые являются результатом:

- теоретических исследований, анализа научно-технического, производственного и технологического задела предприятия,
- синтеза перспективного облика РЛС в виде сформированных функционально-алгоритмических систем,
- формирования структуры и ТТХ конструкторско-технологических систем (КТС).

Важнейшим *требованием* к данному ПК является обеспечение понятного и функционально полного интерфейса для анализа и ввода информации. Введенная информация о ФПМ размещается и хранится в собственной базе данных АСУП, поскольку в дальнейшем необходимо обеспечивать оперативность доступа к ней в процессе решения задач АСС РЛС.

ПК ввода и редактирования данных (ПКВР) платформы проектирования РЛС предназначен для ввода и формирования в базе данных информации о структуре, параметрах и характеристиках компонентов РЛС, которая представляет собой библиотеку готовых инженерных решений и результаты обобщенного опыта разработки РЛС. Применение библиотек позволяет обеспечить наибольшую преемственность и как следствие решить задачу функционально-алгоритмической и цифро-вычислительной унификации РЛС. Библиотеки аппаратно-программной платформы по существу являются базой знаний, на основе которой обеспечиваются: преемственность разработки, накопление опыта проектирования, эволюционное развитие научной и технической базы, ускорение создания перспективных РЛС.

Сбор, обработка и хранение данных о составе, параметрах компонент РЛС и оценках процессов проектирования обеспечивается информационной средой управления жизненным циклом (ИСУ ЖЦ) создания РЛС, которая

является сервером всей ретроспективной и актуальной информации об опыте и результатах разработок. В этой связи основной задачей ПКВР является обеспечение информационного интерфейса с ИСУ ЖЦ. Поступающие из ИСУ ЖЦ данные отражают структуру и параметры компонентов РЛС.

Основной задачей ПКВР является информационная поддержка принятия решений о готовности выбираемых для применения в новой разработке компонент АПП, а также необходимой для их разработки трудоемкости.

Трудоемкость является параметром, передаваемым из ИСУ ЖЦ. Трудоемкость создания компонент РЛС оценивается по накопленному опыту проектирования и верифицируется данными САПР предприятия. Данный параметр может быть изменен или дополнен в ПКВР в случае, если данные недостоверны или отсутствуют.

Готовность модуля АПП оценивается пользователем в диалоговом режиме путем визуального сравнения его характеристик с данными ФПМ. Формализация данной процедуры не может быть выполнена в общем случае, ввиду большого разнообразия компонент РЛС. Поэтому для выполнения этой функции используется стандартный интерфейс АСУП, в котором пользователю на экран монитора одновременно выводятся параметры и характеристики модуля из ФПМ, а также его аналога из АПП. Визуализация сравнения достигается специально разработанным выводом трех таблиц:

- структуры и параметров модулей АПП;
- структуры и параметров модулей ФПМ;
- характеристик готовности и трудоемкости создания на базе модуля АПП модуля перспективной РЛС.

Результатом работы ПКВР является формирование функционально-параметрической матрицы, в которой содержатся сведения о возможностях применения модулей АПП в инновационном проекте.

ПК формирования вариантов исполнения (ПКФВИ) решает задачу выбора из АПП и подстановки в ФПМ компонентов. При подстановке компонента в образовавшийся вариант исполнения к компоненту ФПМ подключается его прототип из АПП вместе с его характеристиками и структурой.

Программа обеспечивает решение задачи, предоставляя пользователю всю информацию о структуре и характеристиках компонентов АПП и ФПМ. На экране также отображаются сравнительные оценки технической сложности и готовности компонентов. Взаимодействие пользователя с АСУП в ПКФВИ обеспечивается специальными режимами, созданными на основе стандартного интерфейса (Рис.4.2.2).

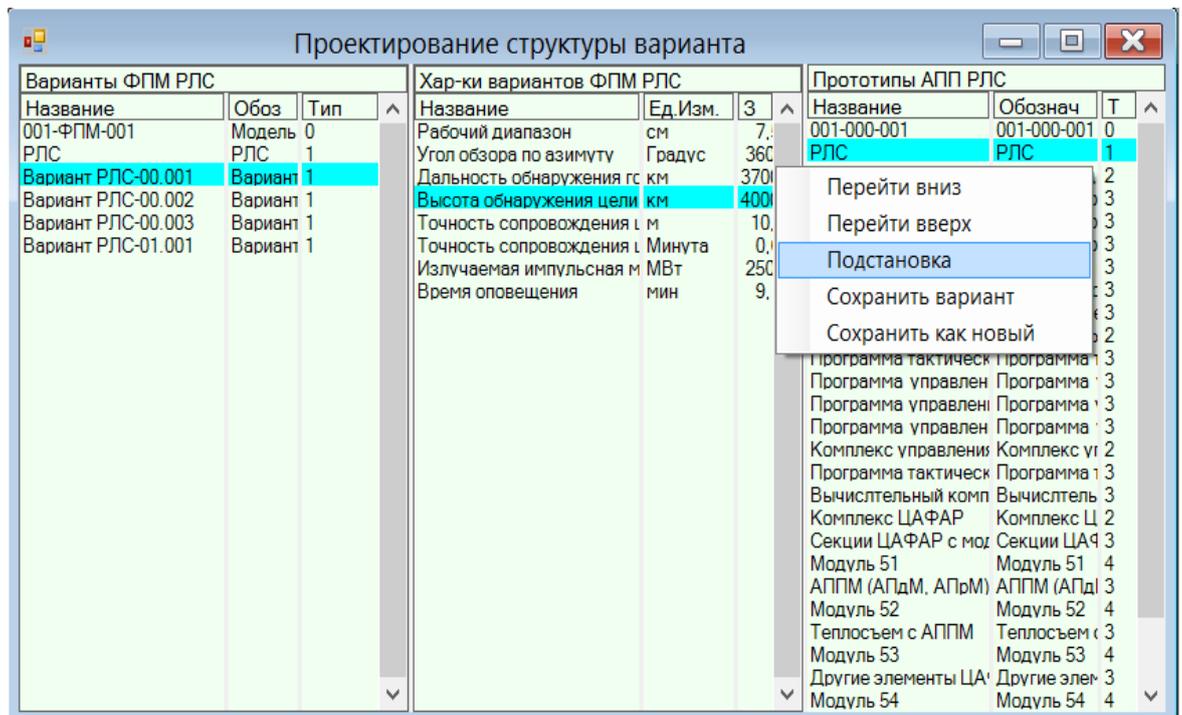


Рис. 4.2.2 Подстановка прототипа из АПП в вариант модели

Пользователю предоставляются возможности:

- детального отображения иерархической структуры КТС и ее компонентов,
- перехода от режима вывода структуры компонента к окнам вывода параметров и характеристик,

- выбор компонентов АПП в вариант исполнения КТС для образования новых вариантов,
- удаления компонентов и его структуры из варианта,
- редактирования параметров компонентов,
- записи в базу данных и удаление из нее варианта реализации КТС,
- сортировки параметров компонентов по степени значимости, считывание варианта реализации из базы данных для его редактирования и формирования на его основе нового варианта,
- записи сформированного варианта реализации в базу данных,
- систематизации и маркировки вариантов реализации,
- передачи вариантов решения в PDM-систему (Windchill).

ПК расчета и оптимизации ВНГР (ПКРОВ) предназначен для оценки сформированных вариантов исполнения ФПМ на базе прототипов из АПП по критерию ВНГР нарушения (срыва) графика проектирования. Каждый компонент КТС оценивается в ПКРОВ по параметрам трудоемкости, производственной и технологической готовности. Полученные оценки размещаются в библиотеке компонентов РЛС. На основании полученных оценок трудоемкости, коэффициентов готовности и с учетом заданного планового времени разработки рассчитываются ВНГР нарушения графика работ по всем компонентам АПП.

ПКРОР реализован в виде библиотеки специализированных классов, разработанных в среде VisualStudio 2010 на платформе .NET Framework 4.5 состоящей из программных модулей, которые подключаются для выполнения расчетов ВНГР при вызове из ПКФВИ.

В состав ПКРОР входят следующие программные модули:

- событийного расчета ВНГР аппаратного модуля,
- расчета ВНГР групп модулей КТС,
- расчета ВНГР иерархических структур компонентов, включая РЛС.

Программные модули АСУП.

Кроме основных ПК в состав АСУП входят вспомогательные программные модули (ПМ), предназначенные для обеспечения эффективной работы ПК: ПМ нормирования параметров, ПМ формирования шаблонов, ПМ создания оконного интерфейса, ПМ управления базой данных.

Все ПК АСУП организованы в виде библиотек, разработанных в среде Visual Studio 2010 на платформе .NET Framework 4.5. Платформа .NET Framework состоит из общеязыковой среды выполнения (среды CLR) и библиотеки классов .NET Framework. Основой платформы .NET Framework является среда CLR [41]. Информационное обеспечение АСУП создано на основе SQL Server 2008 R2 2010 [42].

Логическое объединение независимых программных модулей выполняется под управлением программы диспетчера, которая создает стандартную для данного приложения среду взаимодействия пользователя с системой. Взаимодействие независимых программных модулей обеспечивается общим информационным пространством в базе данных АСУП. Применение независимых программных модулей позволяет осуществлять оперативное управление программным обеспечением, подключая в зависимости от состояния процесса проектирования различные обработчики, динамично меняя логику обработки поступающих данных.

Поскольку алгоритмы и методы управления процессом проектирования, которые являются основой организации ПК расчета и оптимизации ВНР, были рассмотрены в разделе 3.5, далее остановимся на рассмотрении структуры только первых трех программных комплексов: ПК ввода информации о структуре и характеристиках (ПКВИСХ) функционально-параметрической модели, ПК ввода и редактирования данных (ПКВР) платформы проектирования РЛС и ПК формирования вариантов исполнения (ПКФВИ).

Программные модули, вошедшие в структуру АСУП, имеют вспомогательное значение. Их разработка являлась технической стороной воплощения предложенных в диссертации методов, которая не представляет существенного значения для выносимых на защиту положений. Поэтому их структура и сопровождающая документация вынесены в приложения.

4.3. ПК ввода информации о структуре и характеристиках функционально-параметрической модели

Ввод данных о структуре и характеристиках функционально-параметрической модели каждого компонента иерархической структуры РЛС является первым этапом формирования функционально-параметрической матрицы, на котором в базе данных должны быть определены структура, основные параметры и характеристики КТС, модулей и блоков РЛС. Введенная в базу данных информация отражает представление генерального конструктора об облике будущей станции.

Процесс формирования ФПМ состоит из 5 процедур (Рис. 4.3.1):

- Определение параметров и характеристик основных ФАС РЛС.
- Конфигурирование КТС РЛС, определение основных параметров и характеристик.
- Формирование данных о структуре и характеристиках КТС.
- Конфигурирование и формирование данных о структуре и параметрах блоков.
- Конфигурирование и формирование данных о параметрах модулей ФПМ.

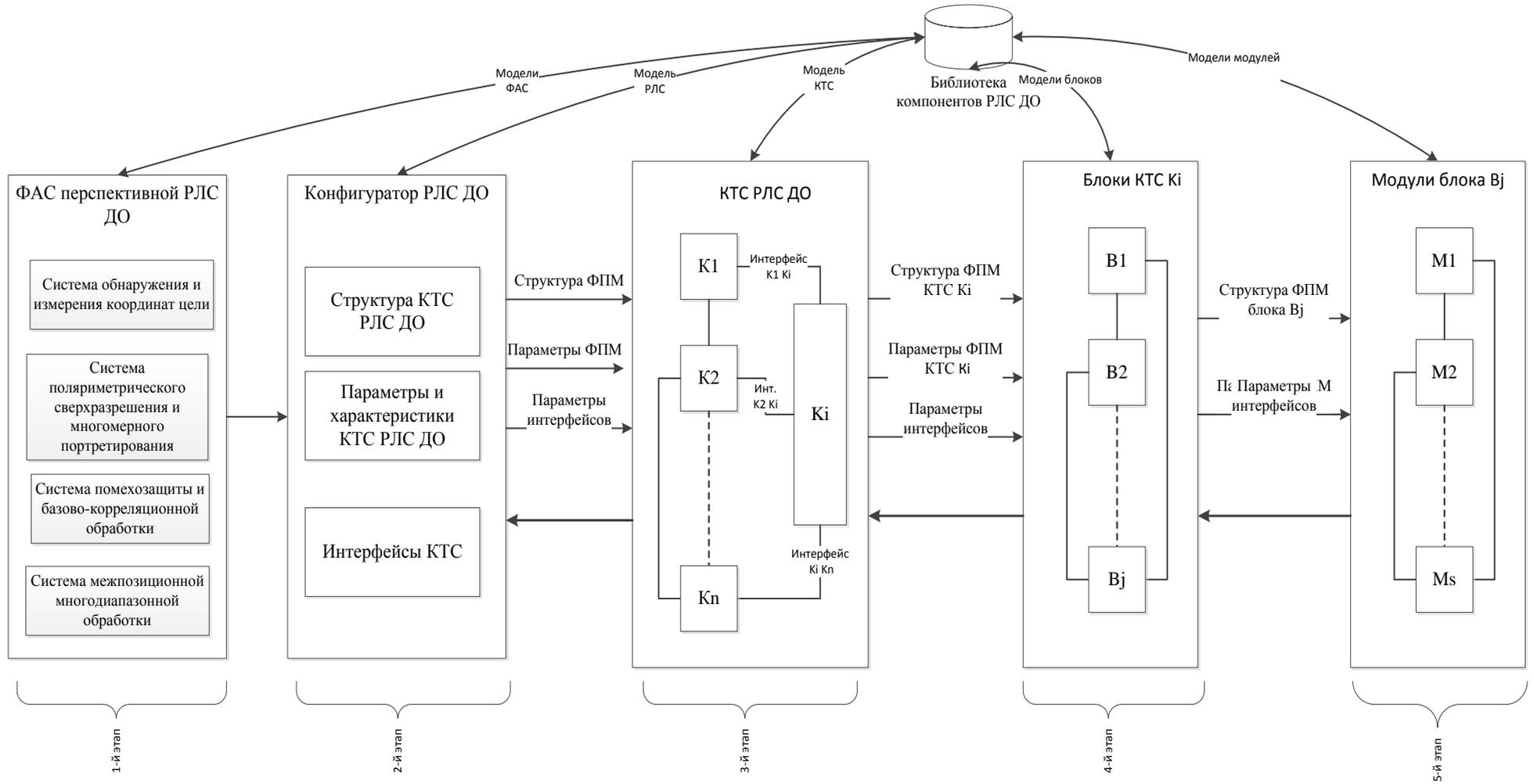


Рис. 4.3.1 Формирование информации о ФПМ перспективной РЛС

Первый этап формирования ФПМ является результатом теоретического анализа и формирования структуры перспективной РЛС в виде объединения четырех основных функционально-алгоритмических систем:

- системы обнаружения и измерения координат цели,
- системы поляриметрического сверхразрешения и многомерного портретирования,
- системы помехозащиты и базово-корреляционной обработки,
- системы межпозиционной многодиапазонной обработки.

В базе данных АСУП создаются информационные модели основных ФАС в виде параметров и характеристик, которые в последствие могут быть использованы для информационной поддержки решения задач следующего шага - конфигурирования КТС.

Второй этап формирования ФПМ является результатом работы конфигуратора, который представляет систему методов проектирования и технические решения получаемые в ходе концептуального проектирования РЛС. Задачей АСУП на данном шаге становится адекватное преобразование полученных от конфигуратора данных о структуре и составе РЛС и технических характеристиках всех КТС в информационную модель. На втором этапе ПК обеспечивает визуализацию информации о структуре и параметрах ФАС и КТС для выполнения анализа, сравнения и для формирования характеристик основных КТС. Результатом второго этапа является представление ФПМ всех КТС и формирование информационных моделей на уровне характеристик КТС.

На третьем этапе формируется блочная структура КТС. Результатом является модель, в которой представлены параметры интерфейсных связей КТС РЛС. На третьем этапе ПК обеспечивает:

- визуализацию моделей КТС в табличной форме для выполнения анализа и сравнения параметров, согласования и ввода параметров интерфейсов,

формирование представления ФПМ КТС в виде информационных таблиц,

ввод информационных модели в базу данных.

На четвертом этапе формируется блочно-модульная иерархическая структура каждой КТС, определяются параметры и характеристики блоков (модулей), заполняется библиотека ФПМ блоков КТС в базе данных. Задачами АСУП на четвертом этапе являются визуализация представления параметров блоков и КТС, формирование информационной структуры представления ФПМ блоков в базе данных.

На пятом этапе формируется блочная иерархическая структура РЛС , определяются параметры и характеристики ее компонентов, заполняется база данных ФПМ модулей. Задачей АСУП на пятом этапе является визуальная поддержка сравнительного анализа и ввода параметров модулей и блоков, формирование информационной структуры представления ФПМ модулей в базе данных.

Алгоритм формирования информационного представления ФПМ.

Представим последовательность выполнения процедур ПК ВИСХ ФПМ, отражающих логическую связь и взаимодействие отдельных этапов. Большинство процедур проектирования ПК ВИСХ выполняются в интерактивном режиме взаимодействия пользователя со средствами ввода и первичной обработки информации, полученной от конфигулятора системы и из ТТХ РЛС . Поэтому перед программным обеспечением поставлена задача создания дружественного интерфейса, максимально приближенного к представлениям пользователя о предметной области.

Логическая последовательность выполнения ПК процедур обработки данных показана на рис. 4.3.2.

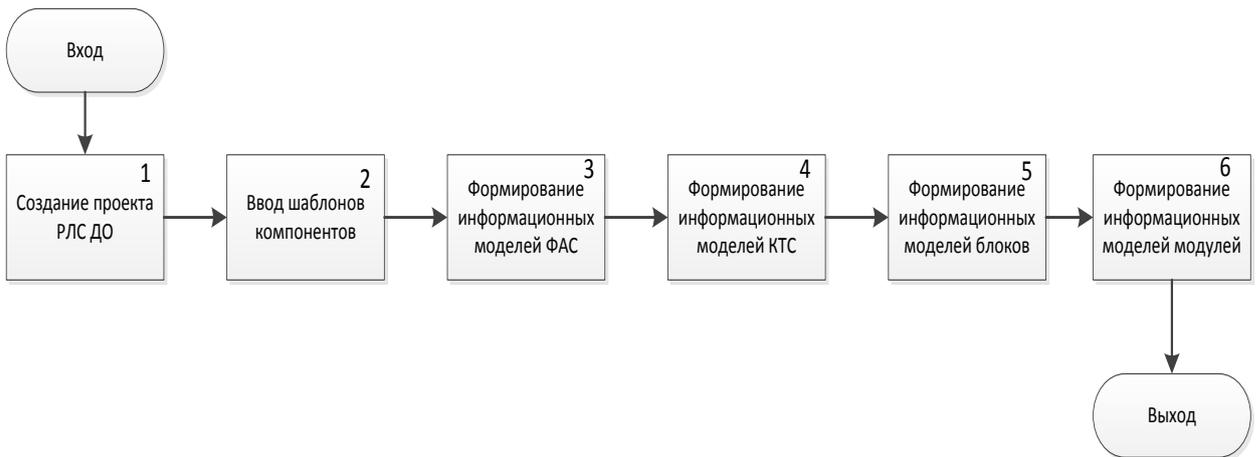


Рис. 4.3.2 Формирование облика ФПМ РЛС

ФПМ представляет облик РЛС, сформированный по результатам системного анализа и проработки концепции перспективной РЛС. Можно считать, что на данном этапе в соответствии с ТЗ формируются информационные инвариантные (базовые) представления о ее структуре и характеристиках. Поэтому информационному представлению ФПМ на уровне РЛС соответствует информационная модель всего проекта, т.е. при вводе ФПМ РЛС должна быть создана база данных проекта. База данных проекта содержит корневой сегмент (заголовок), который состоит из таблиц: формуляр проекта и ТТХ проекта РЛС (Рис. 4.3.3).

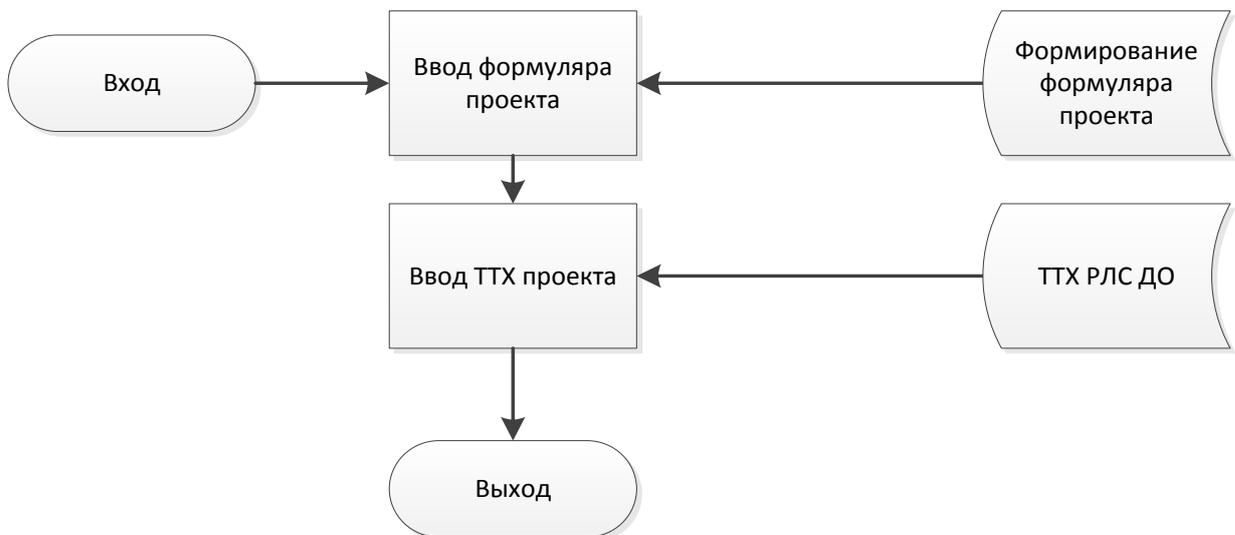


Рис. 4.3.3 Создание базы данных РЛС

В процессе проектирования предстоит постоянно выполнять множество разнообразных действий с записанной в базе данных информацией. Большая часть этих работ связана с выборкой, сравнением и обработкой структуры РЛС, параметров и характеристик компонентов. Для уменьшения возможных ошибок и снижения трудоемкости интерактивной обработки информации необходимо унифицировать форматы представления применяемых моделей.

Шаблон данных является моделью представления информации о компонентах РЛС на всех уровнях иерархии, включающей структуру и перечень параметров. Применение Шаблона позволяет исключать или уменьшать общий объем вводимой информации, систематизировать и упростить подготовку и ввод данных. Также как и модели компонентов РЛС шаблоны компонентов имеют иерархическую структуру. Шаблон содержит таблицу параметров и указатели на шаблоны компонентов нижнего уровня (Рис. 4.3.4).

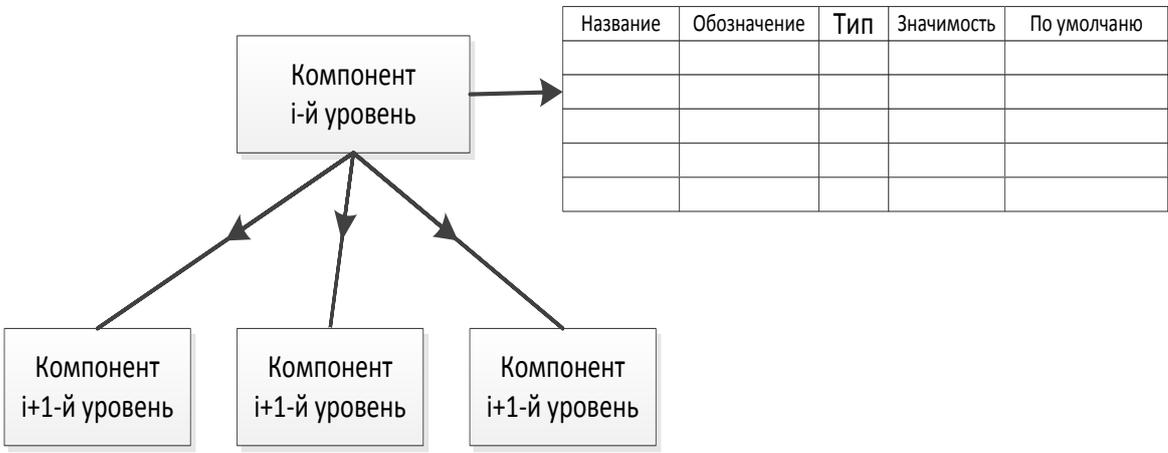


Рис. 4.3.4 Шаблон модели компонента

Таблица параметров состоит из 5 полей: Название, Сокращение, Тип, Значимость и (значение) По умолчанию.

Название - название параметра;

Обозначение – обозначение параметра;

Тип – тип параметра (число, текст, перечисление);

Значимость – коэффициент, учитывающий влияние параметра на выходные характеристики компонента.

Формирование информационных моделей компонентов имеют похожую структуру для ФАС и АПП (КТС, блоков и модулей), поэтому рассмотрим процедуры формирования ФПМ на примере одного уровня. Например, рассмотрим уровень блоков. Структурная схема алгоритма показана на рисунке 4.3.5.

Процедура формирования ФПМ компонента начинается вводом с пульта пользователя паспорта модели компонента, в котором размещается общая информация, необходимая для идентификации модели. Из базы данных по запросу пользователя загружается шаблон модели. Характеристики модели формируются путем выбора из шаблона и вводом новых характеристик с пульта пользователя. Кроме полей Название, Сокращение, Тип, Значимость, которые имеются в шаблоне, в структуру записи ФПМ добавляется поле значение характеристики. Структурные свойства модели формируются при переходе на нижний уровень (модули).

Перечисленные процедуры выполняются на всех уровнях иерархического представления компонентов. В результате образуется полная ФПМ компонента (КТС, блока). В перечисление не попали модули, т.к. структура модуля не предполагает дальнейшего деления. Сформированная ФПМ записывается в базу данных системы. Таким образом, в базе данных создаются структурные образования в виде информационных моделей уровней ФАС, КТС, блок, модуль.

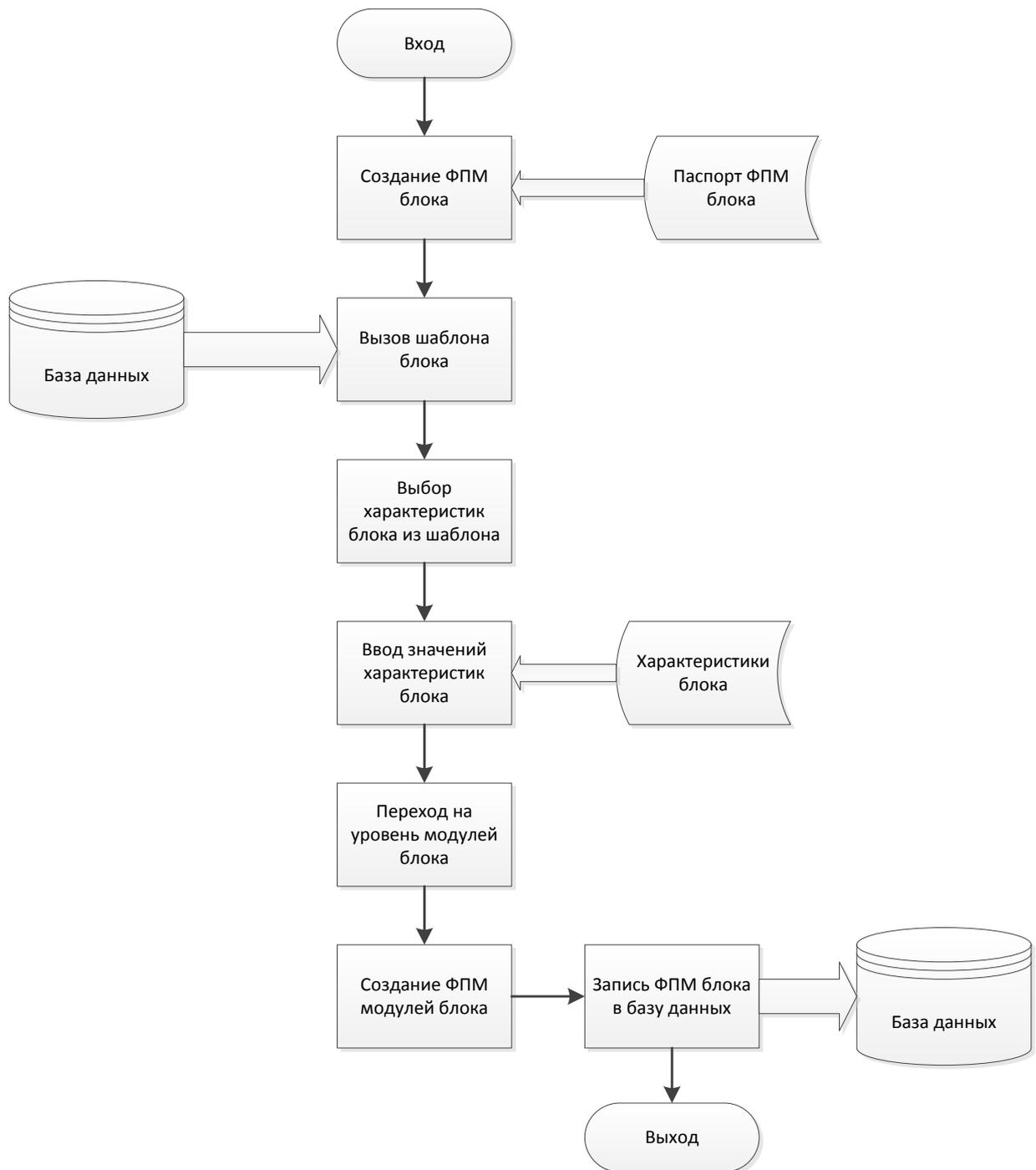


Рис. 4.3.5 Алгоритм формирования информационных моделей компонентов

4.4. Программный комплекс ввода и редактирования данных (ПКРОВ) АПП РЛС

Методика обработки информации ПКРОВ АПП РЛС

Формирование в базе данных библиотеки компонентов АПП является основой для процедур наполнения ФПМ унифицированными аппаратно-программными решениями с целью получения оптимальных с точки зрения минимизации ВНГР вариантов исполнения перспективной РЛС. К данному этапу предъявляются повышенные требования по структурированию и полноте данных, эффективности доступа к формам представления разнородной информации о компонентах АПП.

Структура информации в АПП поддерживает нестрогую иерархию компонентов (гетерархия), т.к. с одной стороны эта информация привязана к иерархическому принципу построения РЛС, с другой стороны можно предположить, что ряд компонентов АПП являются составной частью различных РЛС или других систем (Рис. 4.4.1). Нестрогая иерархия усложняет поиск и систематизацию данных, т.к. в поиске одновременно приходится учитывать как принадлежность компонентов к поколениям разработанных РЛС, так и функциональные признаки принадлежности компонентов к различным категориям систем и устройств.

Вводя новый компонент в базу данных, необходимо найти наиболее подходящее место его размещения в иерархической структуре. Для этого в АСУП предусматривается возможность перемещения по структурам данных АПП как в вертикальных направлениях (от корня к ветвям), так и по горизонтальным уровням. В последнем случае предусматривается просмотр всех компонентов по признакам принадлежности к определенному классу. Например, выбор всех модулей ППМ.

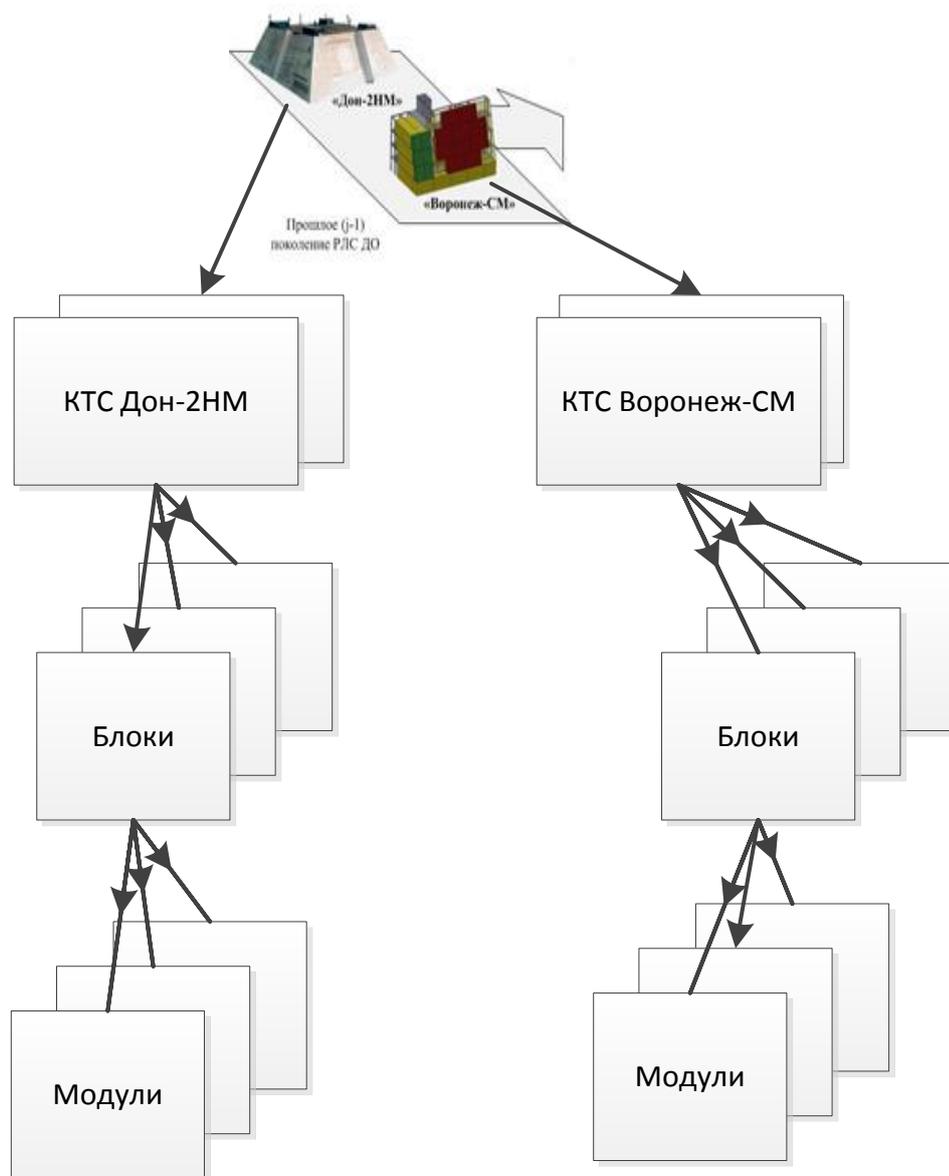


Рис.4.4.1 Структура компонентов АПП

На рисунке 4.4.2 представлена структурная схема алгоритма формирования библиотеки компонентов АПП.

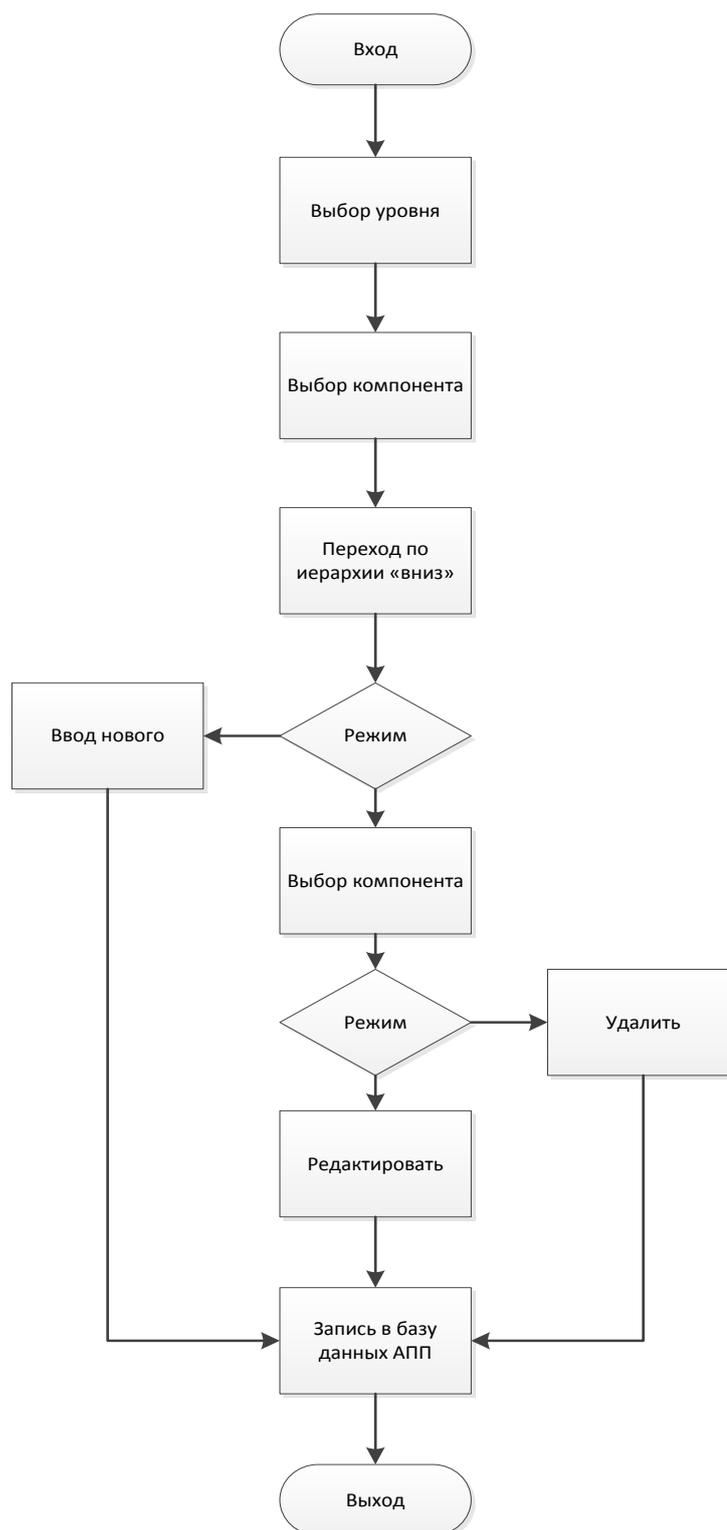


Рис. 4.4.2 Алгоритм формирования информационной модели компонента АПП

Системный поиск местоположения компонентов в базе данных начинается с выбора иерархического уровня, на котором расположен

компонент (КТС, блок, модуль). После завершения выбора иерархического уровня начинается поиск и выбор компонента. От выбранного компонента строится маршрут перехода по его структуре до уровня горизонтального поиска. Например, если вначале выбран уровень КТС, то просматриваются КТС всех РЛС, компоненты которых размещены в базе данных. Выбирается одна из них, а при переходе к уровню блоков будут просматриваться все блоки выбранной КТС. Отметим, что перемещение по уровням возможно и по направлению вверх.

На выбранном в результате иерархическом уровне обработка информации осуществляется в трех режимах: ввод нового компонента, редактирования и удаления компонента. Объектами преобразований во всех режимах являются структура и характеристики компонентов. После завершения процедур формирования выполняется запись компонента в базу данных.

Программный комплекс ввода и редактирования данных АПП РЛС включает в состав:

- Модуль создания библиотеки классов для параметров и характеристик РЛС. Назначение: Ввод описания параметров, характеристик, физических величин, единиц измерения, размерностей физических величин, нормирование параметров и характеристик для выполнения процедур сравнения и получения оценок рассогласования.
- Интерфейс САПР. Назначение: формирование интерактивной среды взаимодействия пользователя с САПР, экранный интерфейс САПР.
- Ввод структуры компонентов РЛС в АПП. Назначение: интерактивный ввод структуры РЛС или компонентов (агрегатов), формирование иерархической структуры компонентов АПП.
- Ввод параметров компонентов АПП. Назначение: интерактивный ввод параметров прототипов компонентов РЛС на всех уровнях иерархии и ввод оценок значимости параметров для принятия решений.

Ввод интерфейсов. Назначение: ввод параметров межкомпонентных интерфейсов РЛС и ввод оценок значимости их для принятия решений.

Алгоритмы формирования информационных моделей компонентов АПП

Процедуры режима ввода новых компонентов показаны на рисунке 4.4.3.

Формирование информационной модели нового компонента АПП состоит из четырех основных процедур: ввод паспорта компонента, загрузка шаблона компонента, ввод и редактирование характеристик компонента, ввода значений характеристик компонента.

Для начала выполнения процедур формирования и ввода компонента необходимо выбрать уровень иерархии РЛС, на котором будет осуществляться процесс. Путем перехода от верхних уровней к нижним выбирается компонент, внутри которого осуществляется изменения (КТС, блок, модуль). При выборе уровня РЛС формируются информационные модели КТС и вводятся их характеристики. При выборе КТС формируются информационные модели включенных в нее блоков. При выборе блока формируются информационные модели включенных в его структуру модулей.

Для образования нового компонента необходимо создать в базе данных его паспорт. Паспорт компонента содержит информацию о процессе создания компонента и параметрах идентификации компонента в АСУП: дата создания, данные исполнителя, название компонента, обозначение компонента. Конечно, информации из паспорта не достаточно для решения поставленных задач расчета ВНГР. Поэтому следующим шагом должны быть вызваны процедуры ввода характеристик и параметров компонента.

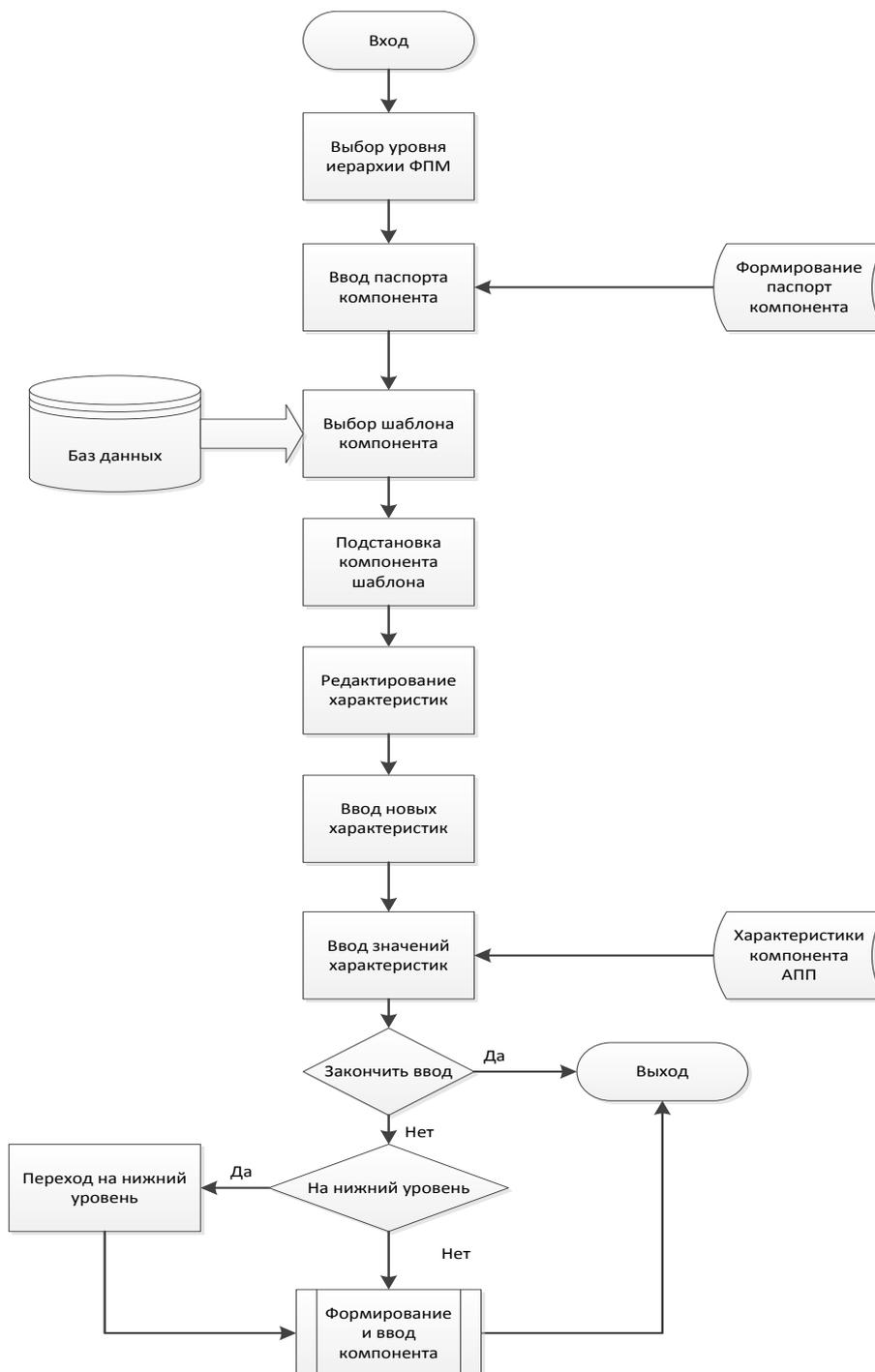


Рис. 4.4.3 Алгоритм формирования и ввода новых компонентов

Характеристики компонента размещаются в таблице характеристик базы данных. Характеристики делятся на стандартные и индивидуальные. К стандартным характеристикам относятся параметры, используемые АСУП для расчетов (коэффициенты готовности, трудоемкость создания, ВНГР).

Индивидуальные характеристики содержат информацию для выполнения экспертной оценки и сравнения компонентов в процедурах их выбора из АПП для подстановки в проект перспективной РЛС.

Ввод характеристик является наиболее трудоемкой задачей создания информационной модели компонента. Учитывая, что данная задача многократно повторяется при создании однотипных компонентов АПП, в АСУП предложено применять шаблоны компонентов, которые позволяют облегчить ее выполнение, снизить вероятность ошибок. Шаблон представляет информационную модель компонента, в которой отсутствуют значения параметров и характеристик. Шаблон может отличаться от модели компонента, созданной на его основе. Поэтому после загрузки из базы данных шаблона выполняется редактирование таблицы характеристик компонента путем удаления лишних характеристик и добавления новых. Процесс формирования характеристик завершается вводом их значений.

После формирования и записи паспорта и характеристик можно считать, что информационная модель компонента сформирована. На этом процедуры формирования можно закончить, если для компонента АПП не требуется ввода структуры (например, на уровне модулей). Для компонентов верхнего уровня иерархической структуры необходимо заполнить нижние уровни иерархии. Это можно сделать сразу при формировании модели компонента или отложить на более поздние этапы. Структура компонента формируется в цикле путем записи в базу данных паспортов подчиненных компонентов, входящих в его состав. Для повторного формирования информационной модели компонентов в структуру алгоритма введена рекурсивная процедура.

4.5. Программный комплекс формирования вариантов подстановки модели (ПКФВМ)

Формирование в базе данных вариантов подстановки моделей в ФПМ РЛС является основной оптимизационной задачей проектирования РЛС на

базе унифицированной аппаратной платформы. На этом этапе, выбирая из библиотек АПП блоки и модули и подставляя их в ФПМ, необходимо создать множество вариантов исполнения КТС. Задачами ПКФВПМ являются:

- Синтез новых вариантов подстановки компонентов АПП в ФПМ.
- Систематизация записи вновь образованных вариантов решений.
- Оценка синтезируемых вариантов решения по показателям трудоемкости, готовности и ВНГРам.
- Формирование в базе данных информационной структуры записи вариантов подстановки компонентов АПП в ФПМ.

Решение поставленных задач в ПКФВПМ выполняется в режиме интерактивного взаимодействия разработчика с программами АСУП. Исходные данные поступают из библиотек АПП и базы данных ФПМ РЛС. В процессе решения задачи необходимо найти для компонентов ФПМ аналоги в АПП такие, чтобы их применение минимизировало ВНГРи разработки РЛС.

Процесс оптимизации выполняется в двух режимах: создание варианта исполнения РЛС на базе ФПМ и создание нового варианта на базе существующей подстановки компонентов АПП в ФПМ РЛС. В первом режиме работы АСУП исходными данными является ФПМ РЛС и компоненты из библиотеки АПП. Во втором существующий, созданный ранее вариант исполнения и компоненты из библиотеки АПП.

Алгоритмы формирования информационных моделей компонентов АПП.

Алгоритм проектирования в первом режиме представлена на рисунке 4.5.1.

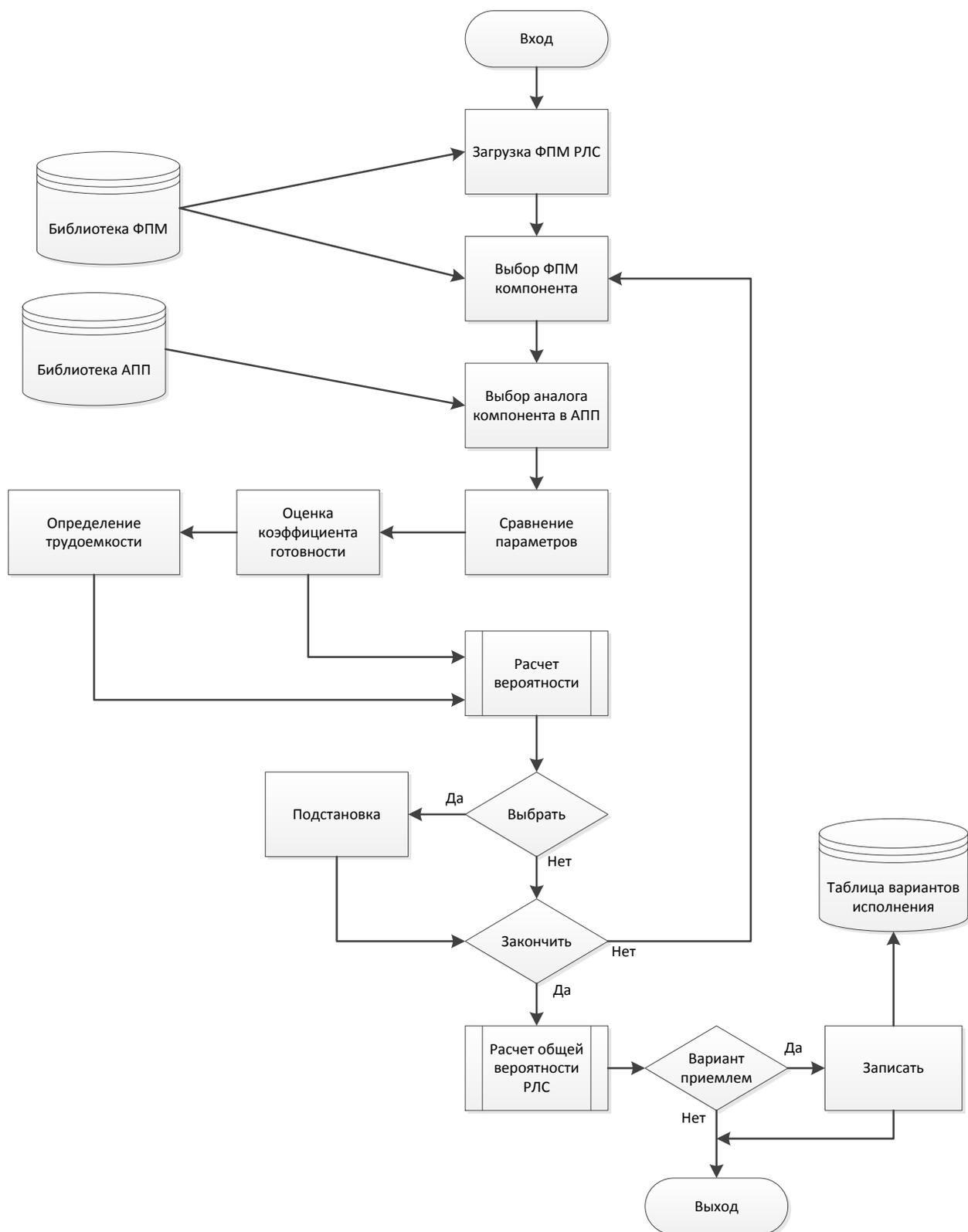


Рис.4.5.1 Подстановка компонентов в ФПМ

Работа АСУП в режиме подстановок в ФПМ начинается с загрузки ФПМ РЛС из базы данных. Перемещаясь по иерархической структуре ФПМ, пользователь находит принимающий компонент для подстановки. Далее загружается иерархическая структура моделей компонентов из библиотеки ФПМ и выполняется поиск и выбор подставляемого компонента. Характеристики обоих выбранных компонентов выводятся на экран монитора для сравнения. В результате сравнения характеристик пользователем выполняется оценка коэффициента готовности выбранного компонента АПП для подстановки и с помощью процедур ПК расчета ВНГР находится значение ВНГР его применения. Если расчетные параметры удовлетворяют требованиям, то выполняется окончательная подстановка.

Последовательно выбирая компоненты для решения задачи в цикле, формируется вариант исполнения КТС. После завершения цикла рассчитывается общий ВНГР всех подстановок и по нему делается вывод о записи полученного варианта в базу данных.

Все расчеты и выбор вариантов выполняется в интерактивном режиме взаимодействия пользователя с АСУП.

Выводы по главе 4

- 1) Рассмотренные в диссертации математические модели, метод и алгоритмы реализованы в виде автоматизированной системы управления проектированием РЛС, которая вошла в состав автоматизированной системы создания перспективных РЛС, дополняя ее функции возможностями планирования и управления разработкой РЛС, что позволяет выполнять централизованный контроль и оказывать воздействие на процесс проектирования.
- 2) Разработана структура автоматизированной системы управления проектированием перспективных РЛС, которая выполняют функции:

- формирования библиотеки компонентов РЛС, включающих структурные и параметрические свойства компонентов,
 - записи, хранения и получения информации об функционально-алгоритмических системах, конструктивно-технологических системах и компонентах РЛС,
 - обеспечения интерфейсов для решения задач экспертной оценки готовности компонентов для применения в составе создаваемых перспективных РЛС
 - выполнения расчетов вероятности нарушения графика разработки, и управления факторами, влияющими на характеристики процесса разработки, с целью успешного завершения создания РЛС в заданные сроки.
- 3) Автоматизированная система управления проектированием реализована в виде программных комплексов в среде программирования Visual Studio 2010 на платформе .NET Framework 4.5. Информационное обеспечение АСУП создано на основе SQL Server 2008 R2 2010, что дает АСУП сетевые возможности для установки на вычислительных средства заказчика (ОАО РТИ).

5. Апробация и внедрение разработанного математического обеспечения

5.1. Пример оптимального управления процессом создания перспективной РЛС дальнего обнаружения

Важным достоинством разработанной системы моделей оценки ВНГР является возможность ее применения для создания *ряда* РЛС. В этом ряду каждая следующая РЛС является развитием предыдущей, обладает

существенно возросшими характеристиками и находится на определенном этапе жизненного цикла (рис. 5.1.1).



Рис. 5.1.1 Унификация функционально-технологических систем ряда РЛС в интересах СРП-ВКО и полигонных испытаний

При решении задач по оценке ВНГР $(j+1)$ -го поколения РЛС в составе сформированного ряда развития, возникает два уровня оптимизации:

- 1) минимизация ВНГР создания РЛС (j) -го и $(j+1)$ -го поколений при заданных ресурсах и сроках, заключающаяся в выборе состава и структуры этих РЛС, обеспечивающих требуемые ТТХ с учетом временных и финансовых ограничений (см. задачу покрытия в разделе 3.3);
- 2) оптимизация ресурсов предприятия при заданных значениях ВНГР и сроков создания, при которой обеспечивается:
 - текущий контроль процесса создания РЛС j -поколения (раздел 3.4),
 - вырабатываются рекомендации по перераспределению ресурсов на разработку «ключевых» или критических модулей (блоков, комплексов) определяющих успешность создания j -го поколения РЛС (раздел 3.2);
 - выбор состава и структуры РЛС $(j+1)$ -го поколения с максимальным использованием отработанных модулей (блоков, комплексов) $(j-1)$ -й и j -й РЛС (раздел 3.3).

Конкретный пример применения разработанного метода приведен в приложении 1. В примере основой создания перспективной РЛС являются

КТС 2-х мобильных радиолокационных измерительных комплекса (МРИК). Необходимо выполнить выбор базовых КТС для разработки новой РЛС, определить параметры процесса проектирования распределив время и интенсивности выполнения работ по этапам. Выбор аналогов КТС осуществляется путем определения уровня их готовности для использования в проекте. Выбор компонентов и параметров процесса проектирования контролируется путем вычисления ВНГР для каждой КТС и для каждого этапа разработки.

РЛС состоит из 8 КТС (Табл. 5.1.1). Каждая КТС проходит 11 этапов разработки (Табл. 5.1.2):

Таблица 5.1.1

№ п.п.	КТС
1	Передвижной пункт управления
2	Комплекс автономного электроснабжения
3	Комплекс информационного взаимодействия и калибровки
4	Передающий комплекс
5	Приемный комплекс
6	Комплекс цифрового образования сигналов, обработки и управления
7	Комплекс электропитания ЦАФАР
8	Комплекс охлаждения ЦАФАР

Таблица 5.1.2

Этап	Содержание работ
1	Разработка технического проекта
2	Разработка РКД на устройства, комплексы и изделие в целом
3	Изготовление опытных образцов устройств и комплексов (БФКОМ)
4	Изготовление МРИК
5	Разработка ФПО МРИК
6	Отладка ФПО МРИК на АПУКИМС
7	Комплексная отладка МРИК на БФКОМ. Подготовка к ПИ
8	Предварительные испытания изделия
9	Доработка изделия по результатам ПИ
10	Государственные испытания изделия
11	Доработка изделия по результатам ПИ. Присвоение КД литеры О

Оптимизация выполняется путем регулирования интенсивности и сроков выполнения работ по этапам проектирования и конструктивно-технологическим системам. Дружественный интерфейс организован с помощью вывода информации в виде диаграмм.

Исходная диаграмма примера распределения ВНР по КТС показана на рисунке 5.2.

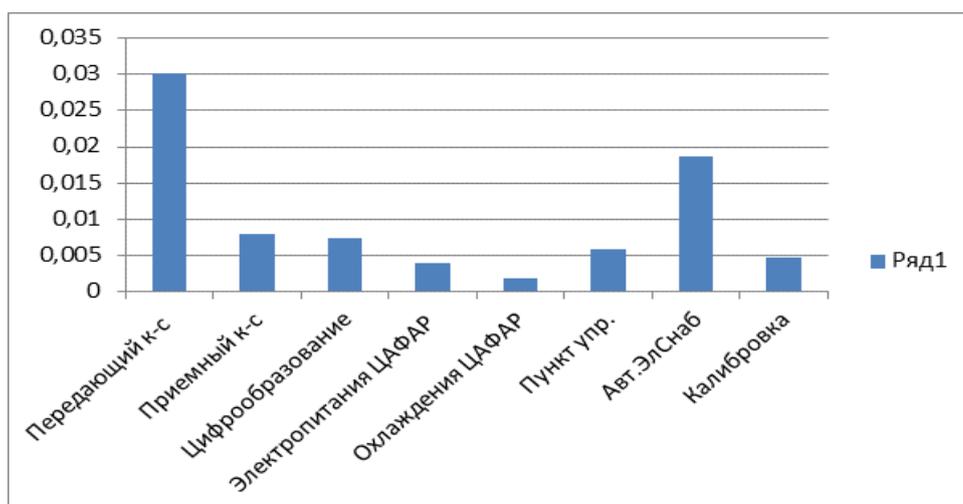


Рис.5.2. Исходная диаграмма распределения ВНР по КТС

На диаграмме показаны значения ВНР для всех 8 КТС. В соответствии с методикой расчета (раздел 2.5) рассчитана ВНР РЛС. Она будет равна 7,8%.

Для уменьшения ВНР РЛС можно либо варьировать протяженность интервалов выполнения этапов по каждой КТС, либо увеличивать интенсивность работ.

Оптимизация выполняется в цикле до тех пор пока не будет достигнуто приемлемое значение ВНР РЛС. На каждом цикле выбирается КТС с максимальной ВНР. (На первой итерации выбирается передающий комплекс (Рис.5.2).

Для выбранной КТС рассматривается ВНР всех этапов. Выбирается этап с максимальной КТС. Для первой итерации примера выбирается второй этап (Рис. 5.3), у которого максимальное значение ВНР 1,6%.

Увеличивая интенсивность разработки этапа 2, или увеличивая временной интервал, уменьшаем ВНР этапа.

Продолжая итерации уменьшения ВНР путем изменения интенсивностей работ по этапам проектирования КТС можно достичь

минимальных значений ВНГР по всей РЛС. Процедуры повторяются до тех пор, пока не будут получены приемлемые значения ВНГР РЛС.

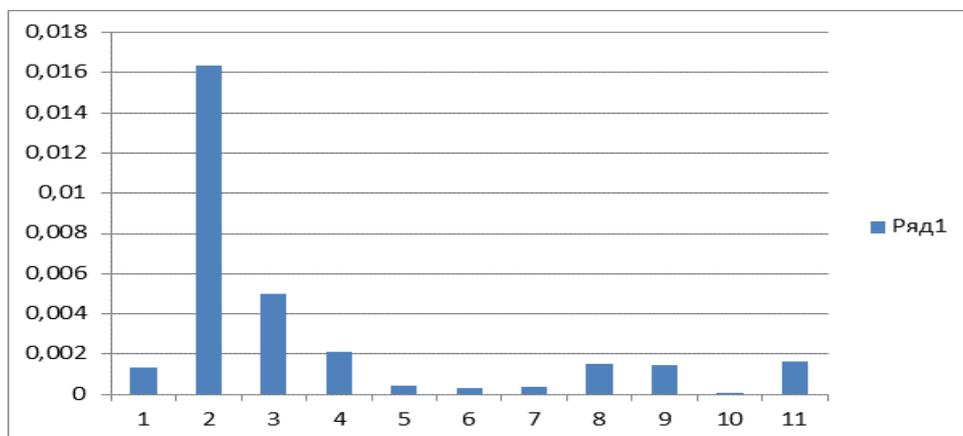


Рис. 5.3. Распределение ВНГР по этапам разработки передающего комплекса

В результате итераций получаем значение ВНГР РЛС 4,3 % (см. приложение 1). На рисунке 5.4 показана гистограмма результирующего распределения ВНГР по КТС.

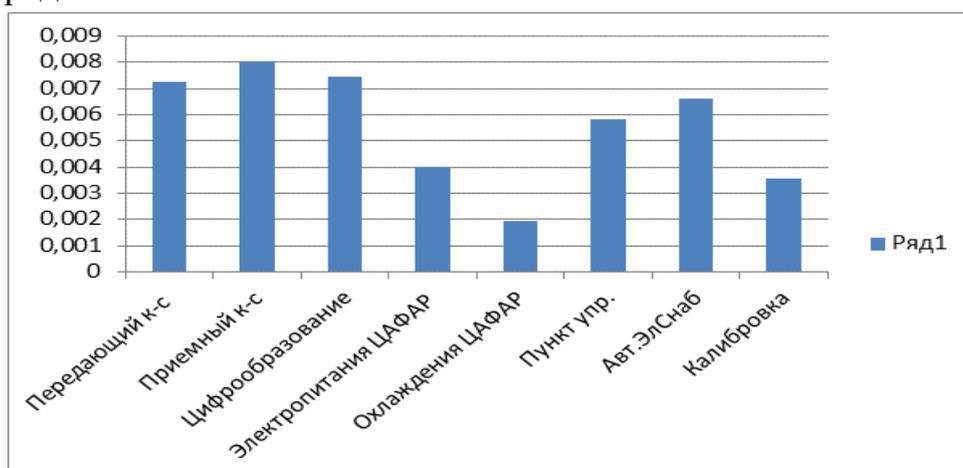


Рис. 5.4 Распределение ВНГР по РЛС

В результате оптимизации распределение ВНГР стало более равномерным.

5.2. Апробация и внедрение разработанных методов и алгоритмов

Результаты диссертации:

- прошли апробацию на примерах решения задач управления на различных этапах жизненного цикла создания РЛС, предоставленных заказчиком,

- представлены в 4 докладах на научно-технических конференциях, в 7 публикациях в научно-технических сборниках и научных журналах,
- включены в отчеты по темам НИР [53] и [54]
- переданы в опытную эксплуатацию в ОАО «РТИ» в виде программных комплексов автоматизированной системы управления проектированием и сопровождающей программной документацией.
- получен акт реализации разработанного в диссертации математического и программного обеспечения в ОАО РТИ.

Выводы по главе 5

- 1) Проведена проверка предложенных в диссертации подходов к управлению процессом проектирования РЛС на этапах формирования технического задания и выбора компонентов из АПП, которая показала, что предлагаемые математические модели, методы и алгоритмы позволяют находить оптимальные значения факторов, влияющих на процесс проектирования, при жестких ограничениях на сроки завершения проекта.
- 2) Разработанное на базе предложенных математических моделей, методов и алгоритмов программно-информационное обеспечение показало свою работоспособность и принято заказчиком работы для опытной эксплуатации.
- 3) Результаты диссертации прошли апробацию на примерах заказчика, представлены в 4 докладах на научно-технических конференциях, в 7 публикациях в научно-технических сборниках и научных журналах, включены в отчеты по темам [53] и [54].

Заключение

- 1) Предложенная в РТИ концепция проектирования, ставит перед САПР задачи поддержки разработки РЛС (на основе методологии единой аппаратно-программной платформы) с целью сокращения сроков разработки до 3-5 лет и ресурсного обеспечения проектов на 30-50%. Это потребовало проведения исследований и разработок в области математического обеспечения и методов автоматизации управления проектом на всех этапах жизненного цикла создания РЛС, которые должны обеспечивать оценку состояния процесса разработки РЛС и ее компонентов по критериям минимизации вероятности нарушения графика выполнения работ, связывая этот показатель с факторами управления эффективностью процесса проектирования [45, 46, 50].
- 2) Показано, что для построения математической модели управления процессом проектирования при жестких ограничениях на время требуется связать оценки состояния процесса с параметрической готовностью компонентов к использованию в составе РЛС. Для решения поставленной задачи были предложены три модели [50]:
 - *параметрическая модель оценки готовности компонентов проектируемой РЛС, которая* позволяет выполнять оперативный анализ состояния разработки компонента по отклонениям контролируемых параметров конструктивно-технологических систем, получаемых при проверке компонента на стенде Генерального конструктора,
 - *количественная модель* оценки готовности по соответствию характеристик этапов требованиям процесса разработки, которая дает возможность получать требуемые оценки готовности на всех этапах жизненного цикла создания РЛС и ее компонентов,

- статистическая модель готовности на основе накопленных данных процессах создания РЛС и ее компонентов, получаемых из архива аппаратно-программной платформы, позволяющая выполнять поэтапный расчет готовности изделий.

3) Предложены математические модели оценки вероятности нарушения графика работ над проектом [50, 51], отличающиеся тем, что позволяют:

- оценивать и прогнозировать вероятности нарушения графика работ над проектом на основе данных аналогичных разработок,
- моделировать и нормировать графики выполнения творческих процессов создания РЛС на базе накопленного опыта,
- на основе стохастических законов устанавливают аналитическую зависимость характеристик процесса проектирования времени, интенсивности выполнения работ и характеристик готовности компонентов РЛС, формализуя процедуры управления созданием РЛС,
- связывают вероятности нарушения графика работ над проектом по всей иерархической структуре компонентов РЛС.

4) На основе предложенных математических моделей разработан метод управления процессом проектирования [49], позволяющий:

- перейти от субъективных подходов к управлению факторами, влияющими на эффективность процесса создания РЛС, к аналитическим оценкам вероятности нарушения графика работ,
- принимать решения на основе анализа данных накопленных в результате ранее выполненных разработок, выполнять оптимизацию показателей качества процесса разработки при выборе компонентов из аппаратно-программной платформы,

- прогнозировать и управлять распределением ресурсов проекта, дополняя существующие методы создания РЛС возможностями численной оценки эффективности принимаемых решений на основе накопленного опыта эволюционного развития РЛС,
- оперативно управлять параметрами процесса разработки путем контроля вероятностей создания в заданные сроки отдельных компонентов РЛС, КТС и РЛС в целом.

5) Рассмотренные в диссертации математические модели и метод реализованы в виде автоматизированной системы управления проектированием РЛС, которая вошла в состав автоматизированной системы создания перспективных РЛС (в ОАО РТИ), дополняя ее функции возможностями планирования и управления разработкой РЛС [45, 46, 49]. Это позволяет выполнять централизованный контроль и оказывать воздействие на процесс проектирования с целью минимизации рисков проектирования при жестких временных и ресурсных ограничениях.

б) Результаты диссертации:

- прошли апробацию на примерах решения задач управления на различных этапах жизненного цикла создания РЛС, предоставленных заказчиком,
- представлены в 4 докладах на научно-технических конференциях, в 7 публикациях в научно-технических сборниках и научных журналах,
- включены в отчеты по темам ОАО РТИ по ОКР «Сайрус» 2014 г. и МАИ (НИУ) по НИР «Прожектор» 2014 г с ОАО РТИ [44, 53],
- переданы в опытную эксплуатацию в ОАО «РТИ» в виде программных комплексов автоматизированной системы

управления проектированием и сопровождающей программной документацией.

Список использованных источников

1. Ю. К. Машунин. Разработка управленческого решения, 1999
<http://economic-info.biz/menedjmenta-osnovyi/razrabotkaupravlencheskogo-resheniya.html>
2. С.Ф. Боев Обоснование концептуального проектирования ряда развития РЛС на основе платформенного подхода», Сборник научных трудов «Вестник Ярославского зенитного ракетного училища противовоздушной обороны», 2014
3. Корячко В.П., Норенков И.П., Курейчик В.М., Теоретические основы САПР. М., «Энргоатомиздат», 2007г. – 400 с.
4. Вязгин В.А., Федоров В.В. Математические методы автоматизированного проектирования. - М.: Высшая школа, 1989, 8-я Международная научно-практическая конференция «Теория, методы проектирования, программно-техническая платформа корпоративных информационных систем»
5. Данилкин Ф.А., Новиков А.В. Единая платформа разработки программного обеспечения промышленных автоматизированных систем управления/ Известия Тульского государственного университета. Технические науки. - Выпуск 9. Часть 2, 2013. – с. 79-84
6. Дубова Н. Платформы разработки/Открытые системы, № 1, 2006
7. В.М.Буренок «Технологические и технические основы развития вооружения и военной техники», М: Граница,2010
8. В.М.Буренок, А.А. Ивлев и др. «Программно-целевое планирование и управление созданием научно-технического задела для перспективного и нетрадиционного вооружения», М.: ИД «Граница», 2007

9. С.Ф. Боев «Обоснование концептуального проектирования ряда развития РЛС на основе платформенного подхода», Сборник научных трудов «Вестник Ярославского зенитного ракетного училища противовоздушной обороны», 2014
10. С.Ф. Боев, А.А. Рахманов, В.К. Слока «Унифицированная платформа создания ряда радиолокационных станций дальнего обнаружения нового поколения», Материалы II всероссийской научно-технической конференции «РТИ Системы ВКО-2014»
11. Отчет по МАИ (ГИУ) по НИР «Прожектор» с ОАО РТИ. 2014 г.
12. В.М. Пашин «Методы и инструменты оценки и управления уровнем готовности конструкторских и производственных технологий в программах разработки В и ВТ», ООО «Авиакосмические технологии», М., 2012
13. Шубин Р.А. «Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.//
14. Соложенцев Е.Д. «Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике» - СПб.; Издательский дом «Бизнес-пресса», 2004 – 432 стр
15. ГОСТ Р 51897-2002 "Менеджмент риска. Термины и определения" определяет риск, как сочетание вероятности события и его последствий.
16. ГОСТ Р ИСО 31000-2010 «Менеджмент риска. Принципы и руководство» определяет риск как довольно общую категорию: риск - влияние неопределенности на цели
17. Гапоненко Н.В., «Форсайт. Теория. Методология. Опыт: монография», Юнити-Дана, 2012 г., 238 с.
18. В.М. Буренок, В.М. Ляпунов, В.И. Мудров. Теория и практика планирования и управления развитием вооружения. М., изд. «Вооружение. Политика. Конверсия», 2004, 419 с.

- 19.Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с
- 20.Смирнов С.С. Методический подход к оценке достаточности научно-технического задела для разработки перспективного вооружения // Вооружение и экономика. - 2013, № 2 (23). - с. 44-51
- 21.Боев С.Ф. Метод создания высокоинформативных РЛС ВКО на базе событийной модели оценки рисков. - научно-методический сборник статей ЦНИИ Войск ВКО, 2014
- 22.Норенков И.П. *Основы автоматизированного проектирования. Учебник для вузов.* М.: Изд-во МГУ им. Н.Э. Баумана. 2000. 360 с.
- 23.Пашин В.М. Рост стоимости и проблемы управления созданием военной техники. *Доклад на 6-й международной конференции NSN-2013.* Санкт-Петербург: Военно-морской салон.
- 24.Боев С.Ф. Метод оценки риска создания РЛС нового поколения на основе моделей уровней готовности // *Вестник ТГТУ.* 2014. № 8.
- 25.ГОСТ 2.103-68 ЕСКД Стадии разработки
- 26.ГОСТ 19.201-78 Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению
- 27.ГОСТ 2.106-96 ЕСКД. Текстовые документы
- 28.ГОСТ 2.119-73 ЕСКД ЭСКИЗНЫЙ ПРОЕКТ
- 29.ГОСТ 2.120-73 ЕСКД ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОЕКТ
- 30.Васильев В.И., Романов Л.Г., Червонный А.А. Основы теории систем: Конспект лекций. — М.: МГТУ ГА, 1994. — 104 с.
- 31.Мистров Л.Е. Метод проектирования организационно-технических систем.- Центр. фил-л ФГБОУ ВПО «Росс.акад. правосудия», г. Воронеж

32. П.П. Сыпчук, А.М.Талалай Методы статистического анализа при управлении качеством изготовления элементов РЭА. –М., Сов.радио, 1079, 168 с
33. Федюкин В.К. Управление качеством процессов. –Спб,: Питер, 2004.- 208 с.: ил
34. Веников В.А. Теория подобия и моделирования
35. Киртичев М. В. Теория подобия — М., 1953
36. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. – М.: Горячая линия –Телеком, 2007
37. Справочник по вероятностным расчетам. М., Воениздат, 1970
38. Б.В.Гнеденко, Ю.К.Беляев, А.Д.Соловьев Математические методы теории надежности. – М.: «Наука», 1965.- 390с.
39. Бородачев Н.А. Основные вопросы теории точности производства, Академиздат, 1950. – 270 с.
40. Бруевич Н.Г. Вопросы надежности и точности электронных устройств в машиностроении и приборостроении // Известия АН СССР, ОТН «Энергетика и автоматика», 1961
41. Дембицкий Н.Л., Назаров А.В. Применение методов искусственного интеллекта в проектировании и производстве РТУ. –М.: МАИ – 2009 г.
42. Боев С.Ф. Методология проектирования и создания РЛС дальнего обнаружения нового поколения, Матералы XXII военно-научной конференции «Проблемы теории и практики развития войск ПВО Сухопутных войск в современных условиях». ВА войсковой ПВО им.А.М. Василевского. Смоленск. 2014
43. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Университетская книга, Логос, 2006
44. Отчет ОАО РТИ по ОКР «Сайрус» 2014 г.
45. Дембицкий Д.Н., Ушкар М.Н. Система информационной поддержки проектирования устройств бортовых РЭС. // «Актуальные проблемы

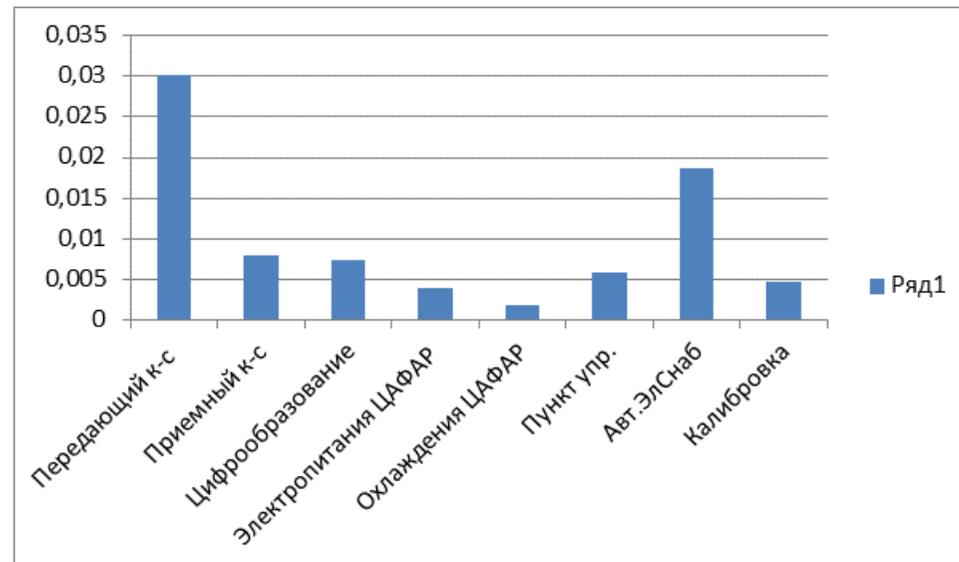
- радиоэлектроники», Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Самара, 2003, с. 8-9
46. Гуськов Ю.Н., Дембицкий Д.Н., и др. Разработка структуры модулей электронных баз знаний и данных концептуального этапа проектирования многофункциональных РЛС. // Радиосистемы. Выпуск 72. «Радиоэлектронные комплексы» № 3, 2003, с. 35-37
47. Ушкар М.Н., Дембицкий Д.Н. Генетический алгоритм задачи оптимального синтеза структуры РЭС. «Информационно-телекоммуникационные технологии», Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции, Сочи, 2004, с. 85-86
48. Васильева Т.Ю., Дембицкий Д.Н., Дембицкий Н.Л. Оболочка экспертных систем проектирования радиоэлектронных средств. // «СНIP news – инженерная микроэлектроника», 2006, № 8, с. 60-62
49. Дембицкий Н.Л., Дембицкий Д.Н., Фам Вьет Ань Расчет рисков в автоматизированной системе покрытия комплексов радиоаппаратуры унифицированными блоками. // «Авиакосмическое приборостроение», 2014, № 8, с. 3-9
50. Боев С.Ф., Дембицкий Д.Н., Петраков А.М., Казанцев А.М., Панкратов В.А. Событийная модель оценки рисков создания радиолокационных станций дальнего обнаружения. // Вестник МАИ, Том 22, № 1, 2015, с. 60-68
51. Дембицкий Д.Н., Фам Вьет Ань Оптимизация управления рисками в проектировании радиоэлектронной аппаратуры. // «Молодежь и будущее авиации и космонавтики», Сборник аннотаций., М., МАИ, 2014 г., с. 157-158
52. Методы разбиения схем РЭА на конструктивно законченные части. // Под ред. К.К. Морозова. – М.: Сов. Радио, 1978.-136 с., ил
53. Отчет МАИ (НИУ) по НИР «Прожектор» 2014 г

54. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям. // М.: Статистика, 1978 г.
55. О.Ю. Мартынов – Научное изделие и его особенности. Журнал «Научные технологии» №11 за 2011 г., с. 107-109
56. О.Ю. Мартынов – Информационная поддержка изделия. Журнал «Научные технологии» №11 за 2011 г., с. 110-112
57. Беспалов В., Клишин В., Краюшкин В. Развитие систем PDM: вчера, сегодня, завтра... «САПР и графика», № 2, 2002 г.
58. Красковский И. Обзор состояния рынка систем PLM/TDM/PDM/Workflow «САПР и графика», № 12, 2004 г.
59. Ширяев Н. Тенденции развития PLM-технологий 2014 «САПР и графика», № 12, 2013 г.
60. Буренок В.М. Проблемы создания системы управления полным жизненным циклом вооружений, военной и специальной техники. Вооружения и экономика №2(27) /2014 электронный журнал

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример оптимизации управления ВНГР перспективной РЛС ДО в унифицированном ряду на этапе формирования технического задания

1	Передающий комплекс
2	Приемный комплекс
3	Комплекс цифрового образования сигналов, обработки и управления
4	Комплекс электропитания ЦАФАР
5	Комплекс охлаждения ЦАФАР
6	Передвижной пункт управления
7	Комплекс автономного электропитания
8	Комплекс информационного взаимодействия и калибровки



ВНГР РЛС 7,8 %

Диаграмма 1 распределения ВНГР по КТС

Наибольший вклад в рост ВНГР вносит Передающий комплекс.

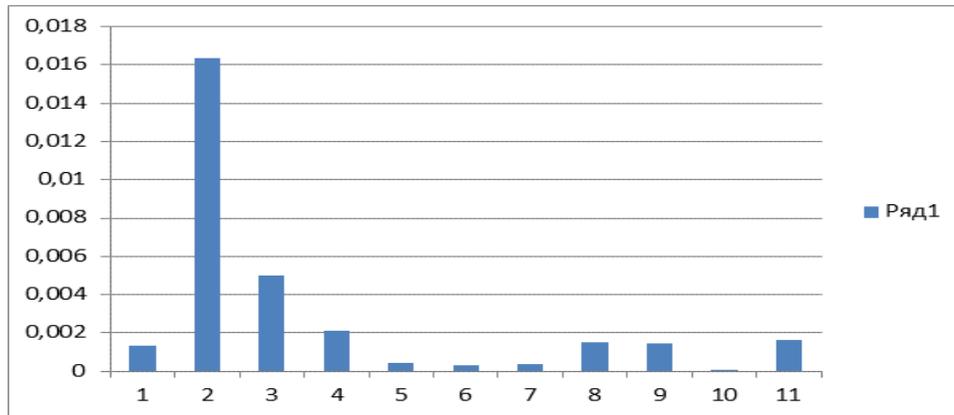


Диаграмма 2 распределения ВНГР по этапам разработки Передающего комплекса.

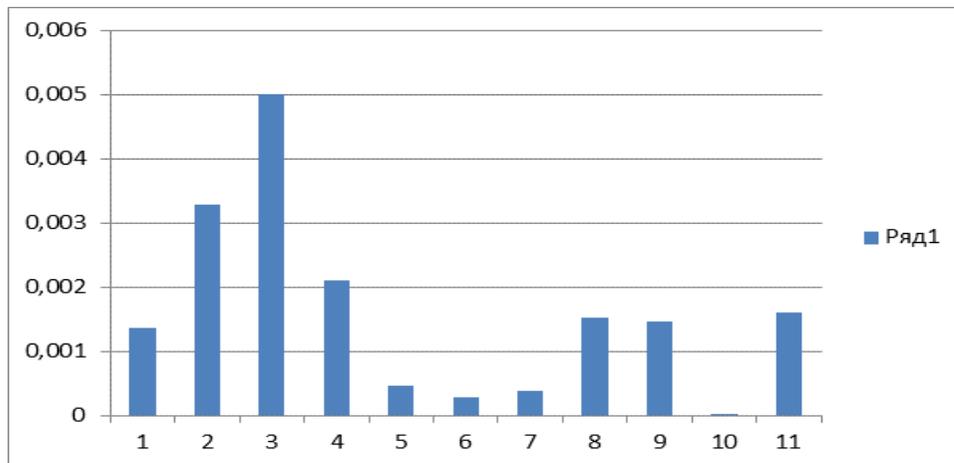


Диаграмма 3 распределения ВНГР по этапам разработки Передающего комплекса после увеличения интенсивности разработки на этапе 2

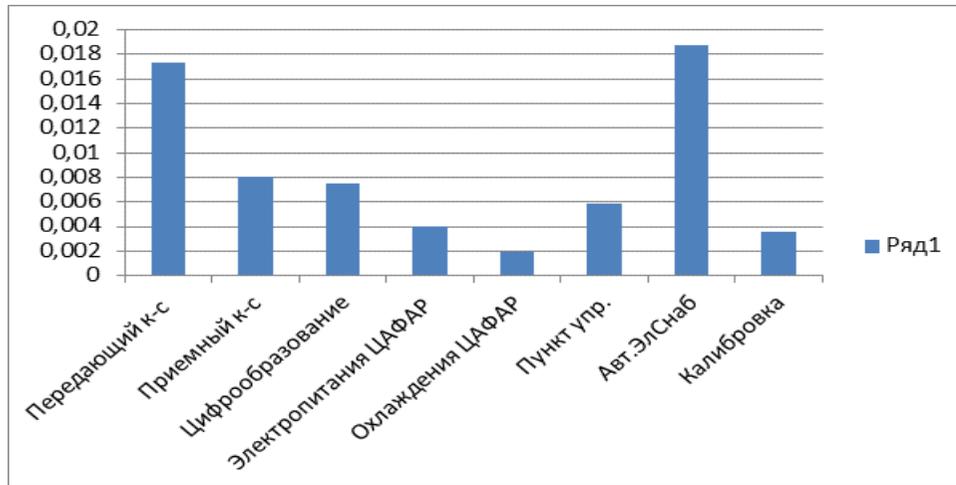


Диаграмма 4 распределения ВНГР по КТС после 1-го шага оптимизации. ВНГР РЛС = 6,5 %. Наибольший вклад в рост ВНГР вносит комплекс автономного электро-снабжения.

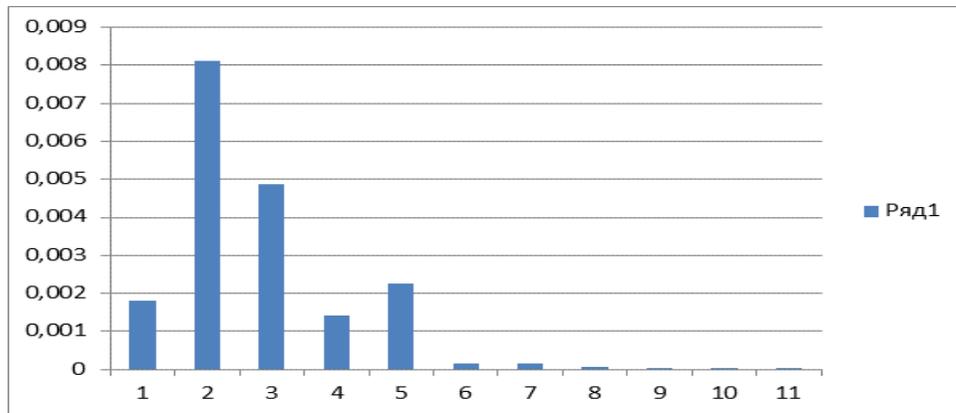


Диаграмма 5 распределения ВНГР по этапам разработки комплекса автономного эл. Снабжения.

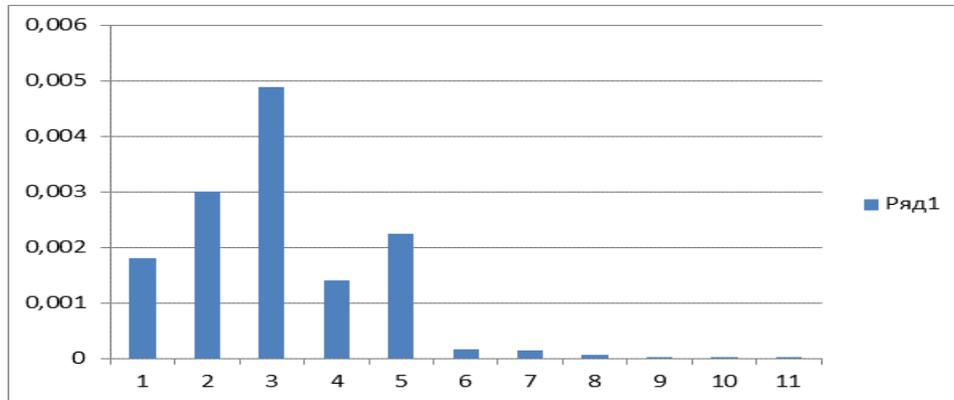


Диаграмма 6 распределения ВНГР по этапам разработки комплекса автономного эл. Снабжения после увеличения интенсивности разработки на этапе 2

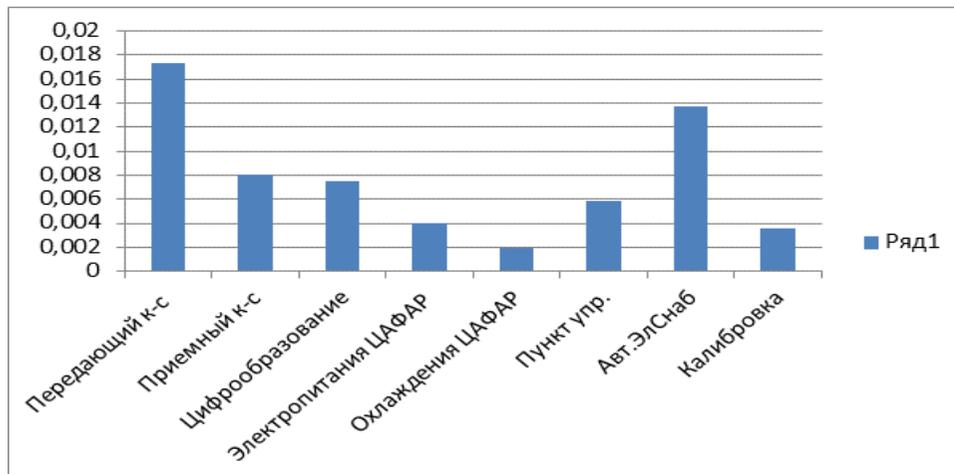


Диаграмма 7 распределения ВНГР по КТС после 2-го шага оптимизации. ВНГР РЛС = 6 %. Наибольший вклад в рост ВНГР вносит Передающий комплекс (Диаграмма 3).

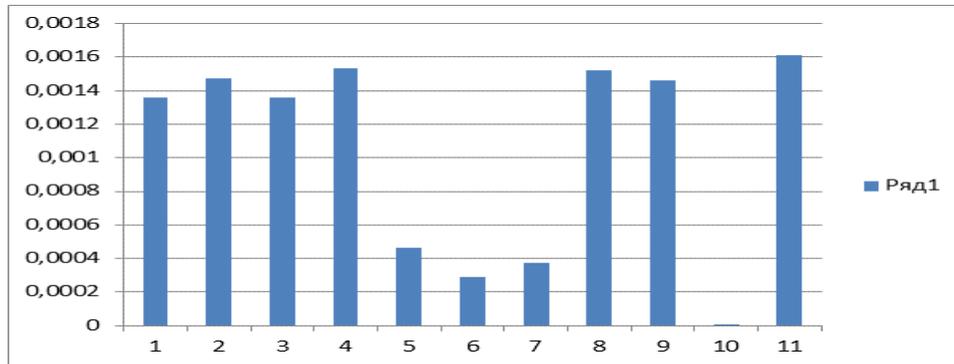


Диаграмма 8 распределения ВНГР по этапам разработки Передающего комплекса после увеличения интенсивности разработки на этапе 2

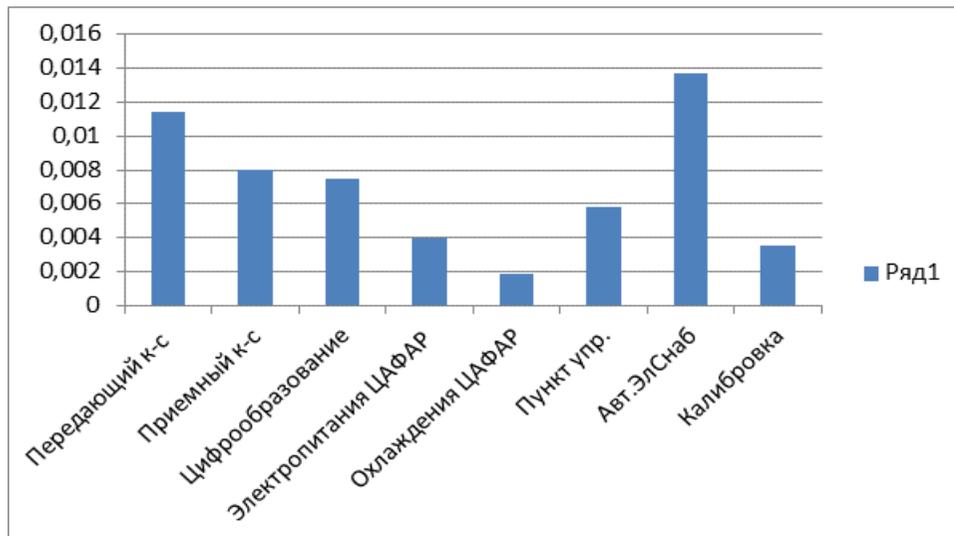


Диаграмма 9 распределения ВНГР по КТС после 3-го шага оптимизации. ВНГР РЛС = 5,5 %. Наибольший вклад в рост ВНГР вносит комплекса автономного эл. снабжения (Диаграмма 6).

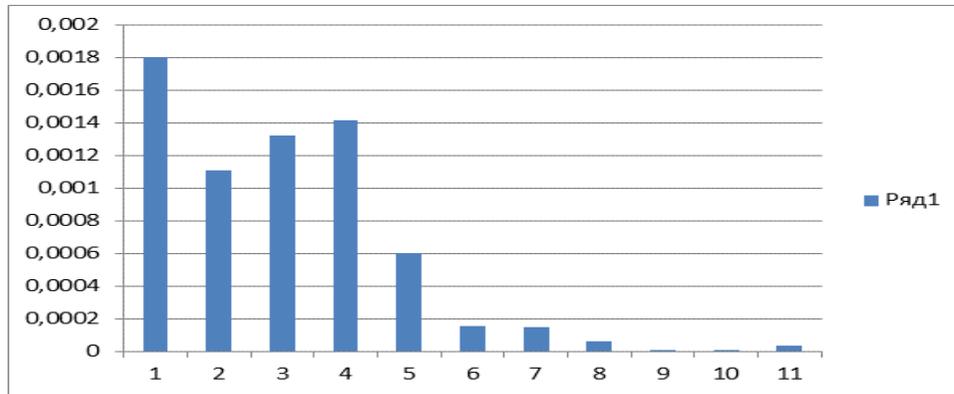


Диаграмма 10 распределения ВНГР по этапам разработки комплекса автономного эл. Снабжения после увеличения интенсивности разработки на этапах 2, 3, 5

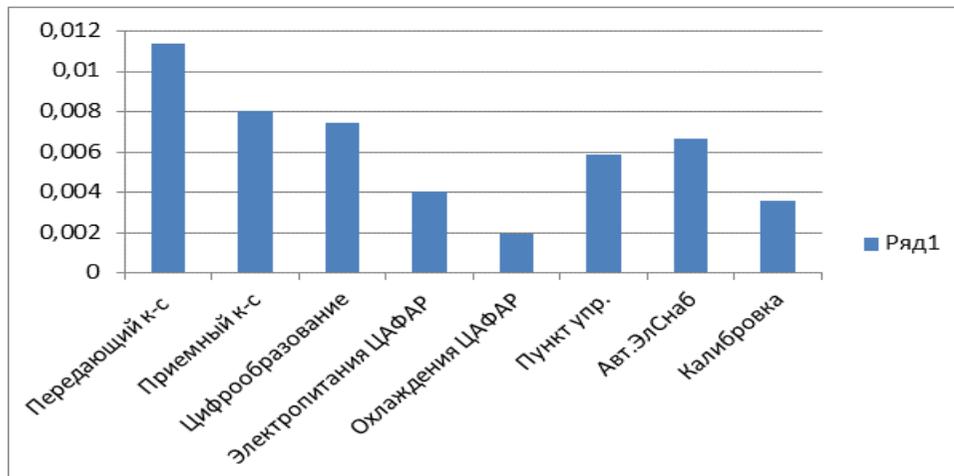


Диаграмма 11 распределения ВНГР по КТС после 4-го шага оптимизации. ВНГР РЛС = 4,8 %. Наибольший вклад в рост ВНГР вносит Передающий комплекс (Диаграмма 8).

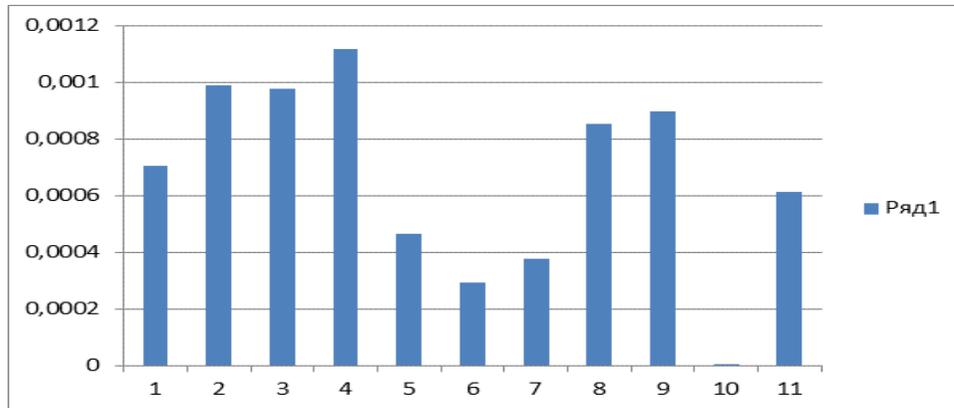


Диаграмма 12 распределения ВНГР по этапам разработки Передающего комплекса после увеличения интенсивности разработки на этапах 1,2,3,4,8,9,11

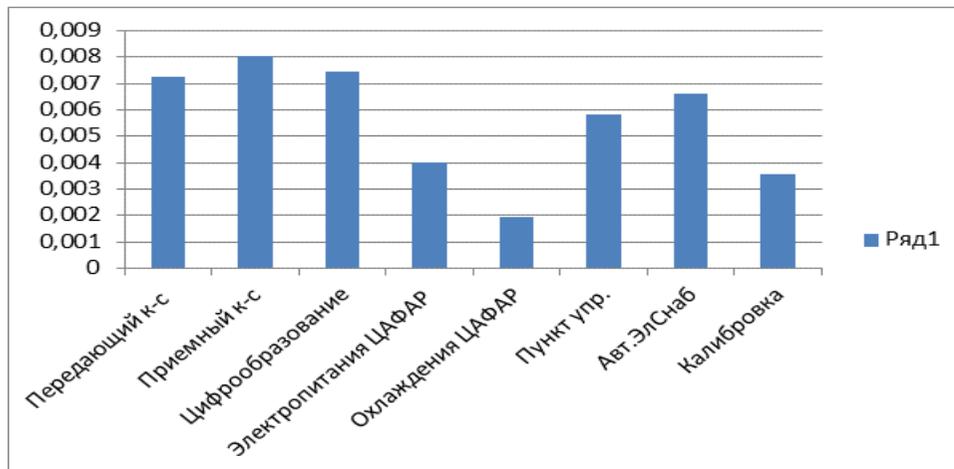


Диаграмма 12 распределения ВНГР по КТС после 5-го шага оптимизации. ВНГР РЛС = 4,3 %. Наибольший вклад в рост ВНГР вносит Приемный комплекс (Диаграмма 8).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица1 Исходные данные по этапам создания перспективной РЛС с плановым сроком 57 месяцев и базовыми показателями трудоемкости работ по этапам

Этап	Содержание работ	Срок, мес (план)	Стоимость этапа, тыс. руб.	ФОТ (40% от стоимости этапа)	Трудоемкость, чел/мес (ФОТ/50 тыс. руб.)
1	Разработка технического проекта	9	50000	20000	400
2	Разработка РКД на устройства, комплексы и изделие в целом	18	560000	224000	4480
3	Изготовление опытных образцов устройств и комплексов (БФКОМ)	12	500000	200000	4000
4	Изготовление МРИК	27	3900000	1560000	31200
5	Разработка ФПО МРИК	36	250000	100000	2000
6	Отладка ФПО МРИК на АПУКИМС	24	50000	20000	400
7	Комплексная отладка МРИК на БФКОМ. Подготовка к ПИ	21	150000	60000	1200
8	Предварительные испытания изделия	3	150000	60000	1200
9	Доработка изделия по результатам ПИ	3	120000	48000	960
10	Государственные испытания изделия	3	150000	60000	1200
11	Доработка изделия по результатам ПИ. Присвоение КД литеры О	3	120000	48000	960

Исходные данные по трудоемкости разработки КТС перспективной РЛС

Таблица 2

	Этапы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№ п.п	КТС	Трудоемкость (чел/мес)										
1	Передвижной пункт управления	20	250	300	1600	100	20	50	50	60	50	60
2	Комплекс автономного электроснабжения	20	350	320	1700	150	20	50	50	60	50	60
3	Комплекс информационного взаимодействия и калибровки	80	870	750	6500	350	80	300	300	200	300	200
4	Передающий комплекс	80	870	800	4600	450	80	300	300	180	300	180
5	Приемный комплекс	70	660	660	3700	200	70	150	150	120	150	120
6	Комплекс цифрового образования сигналов, обработки и управления	50	750	500	4600	250	50	150	150	160	150	160
7	Комплекс электропитания ЦАФАР	20	230	300	3900	150	20	100	100	90	100	90
8	Комплекс охлаждения ЦАФАР	60	500	370	4600	350	60	100	100	90	100	90

Таблица 3

	Этапы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№	КТС	Относительная трудоемкость по этапам										
1	Передвижной пункт управления	0,0078125	0,09765625	0,1171875	0,625	0,039063	0,0078	0,01953	0,01953	0,02343	0,01953	0,02344
2	Комплекс автономного электроснабжения	0,00706714	0,1236749	0,11307420	0,60070671	0,053004	0,0071	0,01767	0,0177	0,02120	0,01767	0,02120
3	Комплекс информационного взаимодействия и калибровки	0,0080564	0,08761329	0,07552870	0,65458207	0,035247	0,0081	0,03021	0,03021	0,02014	0,03021	0,02014
4	Передающий комплекс	0,00982801	0,10687960	0,09828009	0,56511056	0,055283	0,0098	0,03685	0,03685	0,02211	0,03685	0,02211
5	Приемный комплекс	0,01157024	0,10909090	0,10909090	0,61157024	0,033058	0,0115	0,02479	0,02479	0,01983	0,02479	0,01983
6	Комплекс цифрового образования сигналов, обработки и управления	0,00717360	0,10760401	0,07173601	0,65997131	0,035868	0,0072	0,02152	0,02152	0,02295	0,02152	0,02295
7	Комплекс электропитания ЦАФАР	0,00392156	0,04509803	0,05882352	0,76470588	0,029412	0,0039	0,01960	0,01960	0,01764	0,01960	0,01764
8	Комплекс охлаждения ЦАФАР	0,00934579	0,07788162	0,05763239	0,71651090	0,054517	0,00934	0,01557	0,01557	0,01401	0,01557	0,01401

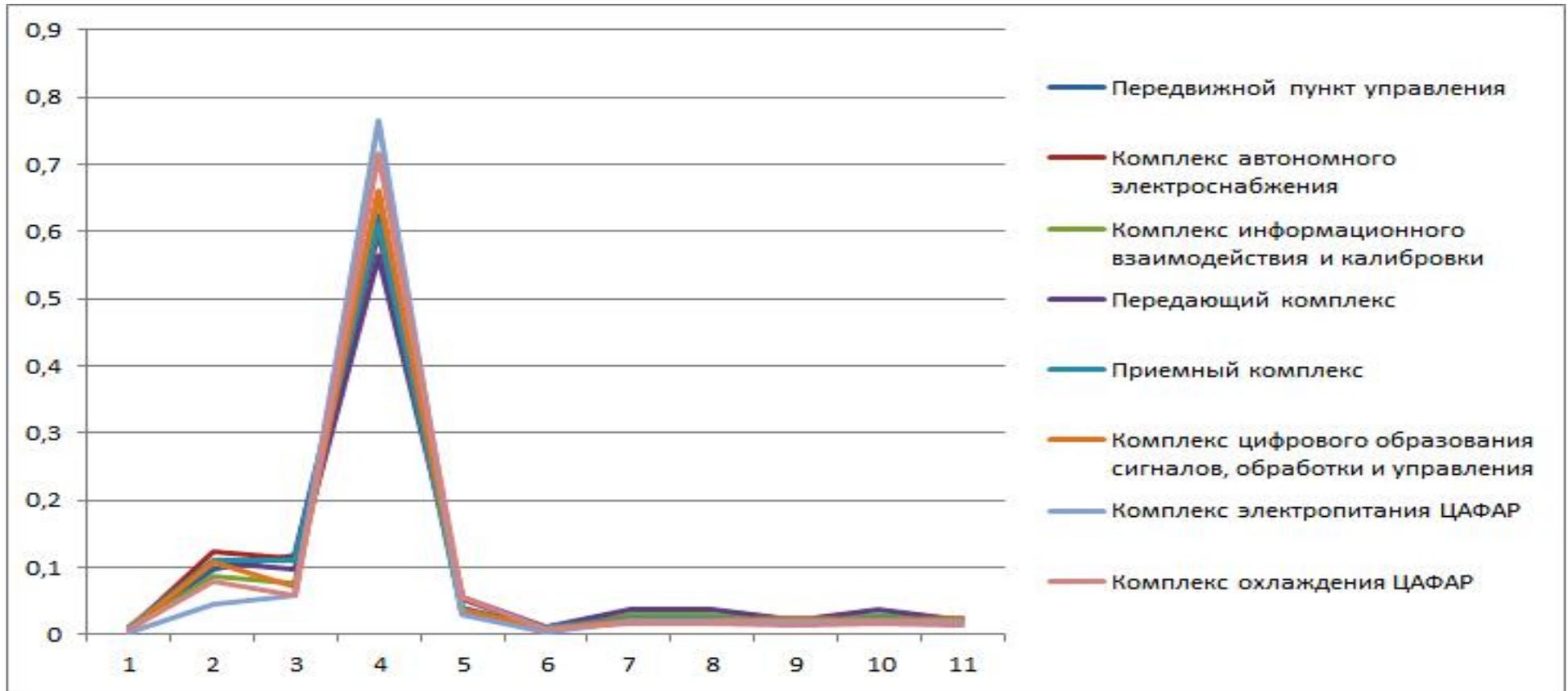


Рис.1 Распределение функций относительной трудоемкости по этапам

Таблица 5 Распределение коэффициентов готовности по этапам

	Этапы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№	КТС	Трудоёмкость										
1	Передвижной пункт управления	0,0078	0,1055	0,2227	0,8477	0,8867	0,8945	0,9141	0,9336	0,957	0,9766	1
2	Комплекс автономного электроснабжения	0,0071	0,1307	0,2438	0,8445	0,8975	0,9046	0,9223	0,9399	0,9611	0,9788	1
3	Комплекс информационного взаимодействия и калибровки	0,0081	0,0957	0,1712	0,8258	0,861	0,8691	0,8993	0,9295	0,9496	0,9799	1
4	Передающий комплекс	0,0098	0,1167	0,215	0,7801	0,8354	0,8452	0,8821	0,9189	0,941	0,9779	1
5	Приемный комплекс	0,0116	0,1207	0,2298	0,8413	0,8744	0,886	0,9107	0,9355	0,9554	0,9802	1
6	Комплекс цифрового образования сигналов, обработки и управления	0,0072	0,1148	0,1865	0,8465	0,8824	0,8895	0,911	0,9326	0,9555	0,977	1
7	Комплекс электропитания ЦДФАР	0,0039	0,049	0,1078	0,8725	0,902	0,9059	0,9255	0,9451	0,9627	0,9824	1
8	Комплекс охлаждения ЦДФАР	0,0093	0,0872	0,1449	0,8614	0,9159	0,9252	0,9408	0,9564	0,9704	0,986	1

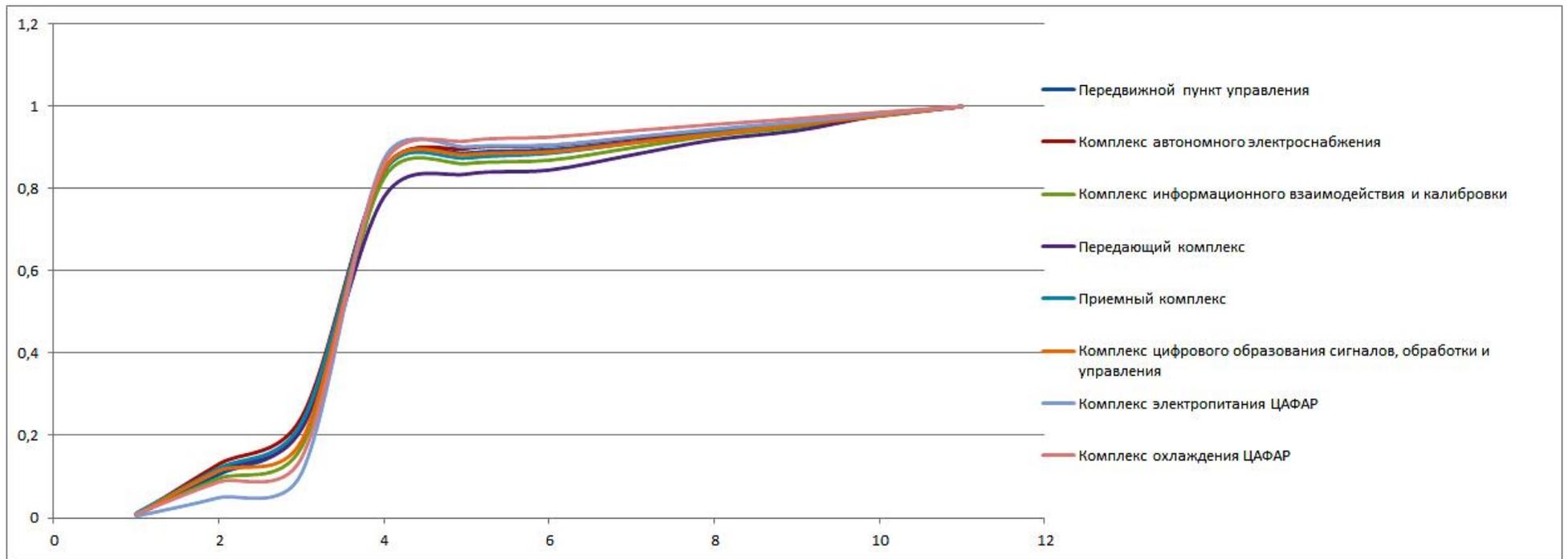


Рис. 2 График функции коэффициентов готовности по этапам разработки

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Расчет коэффициентов параметрической готовности приемо-передающего модуля

Таблица 1. Характеристики РЛС ДО

Наименование характеристики	Единица измерения	Обозначение	Требуемые хар-ки РЛС	РЛС на основе «готового» ППМ	Относительное отклонение от ТТХ
Дальность обнаружения	км	R	4000	3100	0,225
Ошибка измерения дальности	м	S_R	5	9	-0,1
Ошибка измерения углов	угл. мин.	S_{UG}	1	1.7	-0,8
Ошибка измерения скорости	м/с	S_V	0.5	0.83	-0,7
Разрешение по дальности	м	δR	0.5	0.55	-0,66

Таблица 2. Характеристики ППМ

Наименование характеристики	Единица измерения	Обозначение	Базовый ППМ	«Готовый» ППМ
Максимальная импульсная мощность	Вт	P_{IMP}	300	250
Длительность зондирующего импульса	мс	T_{IMP}	0.1..30	0.1..15
Скважность импульсной последовательности		Q	2..10	2..10
Полоса пропускания	МГц	Δf	500	450
Центральная частота	МГц	f_0	3000	3000
Коэффициент шума приемника	дБ	NF	4	4.5
Шаг установки фазы	градус	dFi	6	11
Ошибка установки фазы	градус	sFi	3	6

Матрица коэффициентов влияния $\|B_{ij}\|$

	dFi	Pimp	NF	Timp	Δf
R1	-0,27	1,35	-1,8	0,45	0
$\delta R1$	0,12	-0,6	0,8	-0,2	-1
SR1	0,96	-4,8	6,4	-1,6	0
Sug	0,84	-4,2	5,6	-1,4	0
Sv	0,792	-3,96	5,28	-1,32	0

Матрица $\|B_{ij}\|^{-1}$

	R1	$\delta R1$	SR1	Sug	Sv
dFi	-3,7037037	8,3333333	1,041667	1,19047619	1,262626
Pimp	0,740740741	-1,66667	-0,20833	-0,23809524	-0,25253
NF	-0,555555556	1,25	0,15625	0,17857143	0,189394
Timp	2,222222222	-5	-0,625	-0,71428571	-0,75758
Δf	0	-1	0	0	0

Коэффициенты готовности ППМ по контролируемым параметрам

	K_r
dFi	0,166666667
Pimp	0,833333333
NF	0,875
Timp	0,5
Δf	1

Коэффициент готовности ППМ по количественной модели

$$K_r = \frac{K_r(dFi) + K_r(Pimp) + K_r(NF) + K_r(Timp) + K_r(\Delta f)}{5} = 0,675$$