
УДК 621.3, 004.9, 519.24

Событийная модель оценки рисков создания радиолокационных станций дальнего обнаружения

Боев С.Ф.^{1*}, Петраков А.М.^{2}, Дембицкий Д.Н.²,**

Казанцев А.М.¹, Панкратов В.А.¹

¹Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца,

РТИ, ул. 8-го Марта, 10, стр. 1, Москва, 127083, Россия

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия

**e-mail: kantseariya@oaorti.ru*

***e-mail: nio4@mai.ru*

Аннотация

В статье изложены основные положения разработанной в ОАО «РТИ» методологии оценки рисков создания радиолокационных станций дальнего обнаружения нового поколения. Данная методология подразумевает декомпозицию тактико-технических требований, предъявляемых к станции Заказчиком, на крупные функциональные задачи с формированием на их основе функционально-алгоритмических систем. Создание РЛС ДО нового поколения рассматривается как оптимизационная задача, в которой дополнительным критерием по отношению к традиционным (эффективность-стоимость) выступает риск ее создания.

Для формализации процесса создания РЛС ДО предлагается использовать методический аппарат математической статистики, который позволяет оперировать обобщенными понятиями и выделять наиболее существенные факторы риска, влияющие на характеристики моделируемого процесса. С этой целью рассмотрена событийная модель оценки рисков, которая предназначена для оперативного управления процессом создания РЛС ДО на основе совместной аналитической обработки теоретических и экспериментальных результатов на всех этапах жизненного цикла изделия.

Ключевые слова: радиолокационные станции дальнего обнаружения, методология проектирования, риски, математическая модель процесса проектирования, готовность проекта.

Введение

История развития средств дальнего обнаружения берёт своё начало с 50-х годов прошлого столетия, когда перед нашей страной встала задача создания систем противоракетной обороны (ПРО) и системы предупреждения о ракетном нападении (СПРН). Впервые перед разработчиками была поставлена задача создания супер радиолокационных станций (РЛС), которые смогли бы на расстояниях несколько тысяч километров надёжно обнаруживать высокоскоростные и малоразмерные боевые блоки баллистических ракет. За прошедший более чем полувековой период были достаточно хорошо отработаны и проверены на практике методы и методики создания РЛС дальнего обнаружения для систем ПРО и СПРН [1, 2]. Современные политические и экономические условия требуют ускорения разработки и ввода в эксплуатацию РЛС дальнего обнаружения (РЛС ДО) при минимизации финансовых и материальных затрат. Возникают новые задачи, связанные не только с выполнением тактико-технических характеристик (ТТХ), но и оптимизацией процесса создания станций.

Выдвинутая в работе [3] концепция проектирования базируется на эволюционном подходе к созданию РЛС ДО, максимальном использовании накопленного опыта и на применении унифицированных решений. Для реализации такой концепции была предложена методология сквозного контроля за состоянием

процесса разработки станции и интеграции проектных данных на всех этапах жизненного цикла создания РЛС ДО.

Новая методология строится на представлении создания РЛС ДО, как процесса обеспечивающего безусловное выполнение тактико-технических требований с учетом реальных возможностей ресурсного и финансового обеспечения, а также временных ограничений. В данной статье рассматриваются вопросы теоретического обоснования и разработки математического обеспечения для сопровождения и оптимизации процессов создания РЛС ДО.

Методология создания РЛС ДО нового поколения

Разработанная в ОАО «РТИ» методология создания РЛС ДО нового поколения предусматривает изначальную декомпозицию тактико-технических требований, предъявляемых к станции Заказчиком, на крупные функциональные задачи. Функциональные задачи представляют собой более стабильную и повторяемую от поколения к поколению основу, которая позволяет при переходе от поколения к поколению обеспечивать наибольшую преемственность изделий и выполняемых работ и как следствие повысить уровень унификации ряда РЛС ДО.

Методология предусматривает формирование на основе функциональных задач РЛС ДО функционально-алгоритмических систем. Такие системы представляют совокупность аппаратных и программных комплексов РЛС ДО, обеспечивающих решение конкретных функциональных задач и обладают свойством перестроения своей структуры при изменении требований к характеристикам РЛС или условий ее эксплуатации, с возможностью сохранения

конструкторско-технических решений по основным комплексам, блокам и модулям (рис. 1).



Рис. 1 Методология создания РЛС ДО нового поколения

Функционально-алгоритмические системы разрабатываются в виде параметрических рядов для всего спектра требований и сложности локаторов. В итоге формируется матрица функционально-параметрических и технологических компонентов (конструкторско-технических систем РЛС ДО (КТС)), из которых можно сформировать множество вариантов конструктивного исполнения нового локатора.

Особенность данной методологии состоит в том, что вводится новый подход к созданию РЛС ДО, который ориентирован на использование единой аппаратно-программной платформы проектирования (ЕАПП) для разработки РЛС ДО ряда развития [4].

Понятие ЕАПП используется для унификации процесса производства ряда РЛС ДО и комплектующих элементов, позволяя снизить стоимость изготовления новых изделий, повысить серийность основных радиоэлектронных устройств и уровень автоматизации производственных процессов. Использование общей платформы в рамках производственной корпорации приводит к сокращению издержек и времени на разработку новых моделей.

Под понятием единой аппаратно-программной платформы понимается совокупность аппаратно-программных решений, составляющих основу базовой структуры РЛС ДО, и библиотек конструкторско-технологических решений, отражающих единство архитектурных, структурных, технологических и иных решений, используемых при создании ряда РЛС ДО.

Для отработки функционально-алгоритмических систем РЛС ДО и ее функционального программного обеспечения, проведения испытаний аппаратно-программных функциональных компонентов (блоков, модулей), а также оценки степени отклонения текущих значений характеристик блоков, модулей от заданных в ОАО «РТИ» разработан стенд Генерального конструктора (СГК). СГК является основным и главным связующим звеном между теоретической разработкой и практической реализацией станции. Передача и проверка результатов проектирования на СГК является важнейшим и необходимым этапом всего процесса проектирования технической системы (РЛС ДО). В то же время цикличность процесса связана со значительными материальными и временными потерями, т.к. задача оптимизации решается полным перебором всевозможных комбинаций

конструктивных и технологических вариантов исполнения изделия и выбором наилучшего из них по заданному критерию эффективности. Очевидно, что снижение потерь возможно только путем уменьшения числа циклов натурных испытаний компонентов РЛС ДО. Следовательно, возникает необходимость прямого воздействия на временные и ресурсные показатели процессов создания РЛС ДО. Это объективно приводит к оптимизационной задаче, в которой к традиционным критериям эффективности и стоимости добавляется риск создания РЛС ДО нового поколения.

В статье под риском создания РЛС ДО нового поколения будем понимать вероятностную меру отклонения характеристик создаваемой РЛС ДО от заданных Заказчиком значений. Риск должен учитывать как текущие показатели технической, технологической и производственной готовности компонентов (комплексов, блоков и модулей) РЛС ДО, так и финансовые и временные ограничения на ее создание на всех этапах жизненного цикла.

Основными источниками (факторами) риска при проектировании и создании РЛС ДО являются ошибки при обосновании и принятии новых технических решений в проекте, которые характеризуются высоким уровнем неопределенности (недооценка сложности и объемов работ, готовности приборной базы, кадрового потенциала и т.д.). Все это может привести к увеличению первоначально запланированных затрат и сроков создания РЛС ДО, а также к снижению достигаемых тактико-технических характеристик РЛС ДО.

Таким образом, при проектировании и создании РЛС ДО нужны такие модели, которые были бы чувствительны к динамике изменения факторов риска и адекватно интерпретировали механизмы воздействия на них.

Математическая модель процесса создания РЛС ДО.

В данной статье рассмотрена событийная модель оценки рисков, которая предназначена для оперативного управления созданием РЛС ДО на основе совместной аналитической обработки теоретических и экспериментальных результатов на всех этапах жизненного цикла изделия.

Представим создание РЛС ДО, как сложный многовариантный процесс, подверженный разнообразным и часто непредсказуемым влияниям различных событий, полное описание и формализация которых крайне затруднительна. Тогда формализация процесса создания РЛС ДО возможна с использованием методического аппарата математической статистики, который позволит выделить наиболее существенные факторы, влияющие на характеристики моделируемого процесса.

При разработке статистической математической модели используем представление процесса создания РЛС ДО в виде потока событий, отражающего воздействие субъектов этого процесса на промежуточные и окончательные результаты, такие как создание модуля с требуемыми характеристиками в соответствии с заданным генеральным конструктором план-графиком. При этом события жизненного цикла модуля можно считать независимыми, наступающими в случайные моменты времени. К ним можно отнести, например, выдачу

технического задания, финансирование работ, подготовку технического документа, наладку испытательного оборудования, изготовление опытного образца, и т.д.

Предположим, что вероятность появления события (завершения работ) зависит только от величины 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 ДО. Указанные допущения соответствуют методологии конструирования сложных технических систем [5].

Зная интенсивность λ появления случайной величины x в простейшем потоке, можно записать формулу для ее плотности распределения [6]

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

Интегрируя плотность, получаем функцию вероятности 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 создании РЛС ДО.

Рассмотрим выполнение план-графика работ по созданию РЛС ДО. На любом временном отрезке t , начиная от начала работ, возникает цепь событий, приводящих

к выполнению план-графика. Если предположить, что интенсивность наступления этих событий - λ , то вероятность p выполнения графика работ может быть записана, как вероятность наступления события (выполнение графика работ) за временной интервал от 0 до t

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

где t – время разработки изделия, а λ – интенсивность (частота) наступления событий, связанных с выполнением графика работ.

Соответственно риск невыполнения план-графика создания РЛС ДО равен:

$$\rho(t) = \begin{cases} e^{-\lambda t}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Определение частоты событий проекта можно отнести к области статистических исследований, выполнение которых является сложной (невыполнимой) задачей из-за отсутствия в настоящее время необходимой статистической информации о ходе создания РЛС ДО предыдущих поколений, эффективного методического и программного обеспечения ее сбора, хранению и обработке. Недоступность точных статистических данных может быть скомпенсирована применением обобщенных характеристик процессов на этапах жизненного цикла изделия.

Зная время завершения работ по созданию аналога T_a , можно предположить, что события в новой разработке будут развиваться по тому же сценарию, то есть при отсутствии форс-мажорных обстоятельств руководитель проекта вправе

рассчитывать на успешное выполнение задания за временной интервал $T_{\text{п}} = k_c T_a$, где k_c – коэффициент, определяющий сложность нового аппаратного комплекса, блока, модуля относительно аналога. Конечно, временные интервалы здесь имеют статистическую 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 временем наступления события T [7, 8]. В рассматриваемом контексте время $T = T_{\text{п}}$. В момент времени $T_{\text{п}}$ значение вероятности $p(T_{\text{п}})$ выполнения работ приближается к 1. Задаваясь значением вероятности $p(T_{\text{п}})$, можно рассчитать интенсивность $\lambda = -\frac{\ln(1-p(T_{\text{п}}))}{T_{\text{п}}}$.

Выбрав математическую событийную модель в качестве базовой, перейдем к параметрическому анализу готовности комплексов, модулей и блоков РЛС ДО на ее основе.

Предположим, что конструкторско-технические системы (КТС) комплектуются модулями M_1, M_2, \dots, M_N , выбранными из аппаратно-программной платформы (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:

$$\Psi_t = F_t(q_{t1}, q_{t2}, \dots, q_{ti}, \dots) \quad (3)$$

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 точности [9, 10] можно рассчитать изменение выходного параметра $\Delta\Psi_t$, от изменения значений параметров модулей $\Delta q_{t1}, \Delta q_{t2}, \dots, \Delta q_{ti}, \dots$, оцениваемых на СГК

$$\Delta\Psi_{tj} = \frac{\partial\Psi_{t1}}{\partial q_{t1}} \Delta q_{tj1} + \frac{\partial\Psi_{t1}}{\partial q_{t2}} \Delta q_{tj2} + \dots + \frac{\partial\Psi_{t1}}{\partial q_{ti}} \Delta q_{tji} \dots \quad (4)$$

Относительная погрешность выходного параметра

$$\Delta\Psi_t/\Psi_t = \frac{\partial\Psi_t}{\partial q_{t1}} \Delta q_{t1}/\Psi_t + \frac{\partial\Psi_t}{\partial q_{t2}} \Delta q_{t2}/\Psi_t + \dots + \frac{\partial\Psi_t}{\partial q_{ti}} \Delta q_{ti}/\Psi_t + \dots \quad (5)$$

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

$$\Delta\Psi_t/\Psi_t = A_{t1} \Delta q_{t1}/q_{t1} + A_{t2} \Delta q_{t2}/q_{t2} + \dots + A_{ti} \Delta q_{ts}/q_{ts} \quad (6)$$

где $A_{ti} = \frac{\partial\Psi_t \cdot q_{ti}}{\partial q_{ti} \cdot \Psi_t}$ – 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 требуемому значению ТТХ.

Можно предположить, что $K_{\Gamma t}$ функционально зависит от относительного отклонения параметра от заданного в функционально-технологической матрице (ФТМ) значения: $K_{\Gamma t} = f(\Delta\Psi_t/\Psi_t)$. Понятно, что чем больше отклонение, тем меньше готовность.

Для упрощения примем:

$$K_{\Gamma t} = 1 - \Delta\Psi_t/\Psi_t \quad (7)$$

Нас интересует влияние готовности модулей на готовность КТС. Обозначим через B_{tk} усредненное (среднеквадратичное) значение коэффициента влияния k -го модуля из АПП на выходной параметр Ψ_t КТС. $B_{tk} =$

$$\frac{1}{s} \sqrt{A_{tk1}^2 + A_{tk2}^2 + \dots + A_{tkS}^2}, \quad \text{где } \{A_{tk1}, A_{tk2}, \dots, A_{tkS}\} \text{ — множество}$$

коэффициентов влияния параметров k -го модуля на выходной параметр Ψ_t КТС.

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

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

$$B = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & & & \\ B_{21} & & & & \\ B_{31} & & \dots & \vdots & \\ \vdots & & & & \\ \vdots & & & & \\ B_{L1} & \dots & \dots & & B_{LK} \end{pmatrix} \quad (8)$$

Сформулируем правило оценки готовности модуля, который даст максимальный эффект приближения выходных параметров КТС к требованиям, заданным функционально-параметрической матрицей РЛС ДО.

Вектор столбец погрешностей выходных параметров КТС можно представить в следующем виде:

$$\nabla^T = B \cdot \nabla_M \quad (9)$$

, где ∇_M -вектор столбец относительных погрешностей модулей. Его значения оцениваются в ходе экспериментальных работ на СГК.

Умножая обе части выражения (9) на обратную матрицу B^{-1} , получим выражение для расчета относительной величины изменения параметров модулей для достижения требуемых характеристик КТС:

$$\nabla_M = B^{-1} \cdot \nabla^T \quad (10)$$

Для получения значений коэффициентов готовности воспользуемся упрощенным выражением (7) и выражением для расчета относительной величины изменения параметров модулей (10):

$$\bar{K}_\Gamma = \bar{E} - \nabla_M = \bar{E} - B^{-1} \cdot \nabla^T \quad (11)$$

, где \bar{E} – единичный вектор, \bar{K}_Γ – вектор коэффициентов готовности модулей выбранной группы.

Таким образом, используя данные СГК, производится оценка готовности всех модулей КТС.

Перейдем к расчету рисков проектирования модулей.

Предположим, что трудоемкость $T_{ВН}$ разработки всех модулей известна (она определяется сроками разработки аналогов с учетом технической и технологической сложности). При проектировании модуля задаются плановые сроки выполнения работы $t_{п}$. Тогда для вычисления риска проектирования воспользуемся формулой:

$$\rho = e^{-\lambda(t+K_\Gamma T_{ВН})} \quad (12)$$

Расчетные значения рисков модулей позволяют построить вектор рисков 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 риск проектирования КТС [11, 12].

$$\rho_{\text{КТС}} = 1 - (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \dots (1 - \rho_K) \quad (13)$$

Коэффициент готовности КТС можно рассчитать по формуле:

$$K_{\text{гКТС}} = -\ln \rho_{\text{КТС}} - \lambda t_{\text{п}} / T_{\text{вн}} \quad (14)$$

, где $t_{\text{п}}$ – заданное время проектирования КТС.

Соотношение (13) не позволяет учитывать работы по комплексированию модулей КТС, которые имеют собственные риски.

Воспользовавшись формулой (12), получим значение риска создания КТС

$$\rho_{\text{КТС}} = e^{-\lambda(t + K_{\text{гКТС}} T_{\text{внКТС}})} \quad (15),$$

где $T_{\text{внКТС}}$ – полное статистическое время проектирования новой КТС с учетом работ по комплексированию. $T_{\text{внКТС}}$ оценивается по временным интервалам, взятым из системы управления проектными данными (PDM-система) для КТС данного типа с учетом коэффициента сложности разрабатываемой КТС.

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

$$\rho_{\text{РДС}} = 1 - (1 - \rho_{\text{КТС}1})(1 - \rho_{\text{КТС}2}) \dots (1 - \rho_{\text{КТС}m}) \quad (16)$$

Далее по аналогии уточнения рисков КТС с учетом комплексирования модулей рассчитываются риски для РЛС с учетом комплексирования КТС.

На рисунке 2 представлена структурная схема, иллюстрирующая методику расчета с применением рассмотренных математических моделей, которая включает следующие блоки:

1. Вычисление коэффициентов влияния A_{ti} параметров модулей на ТТХ.
2. Определение относительного отклонения $\Delta\psi_t/\psi_t$ выходного параметра ψ_t от значений, определенных ТТХ (6).
3. Вычисление коэффициента готовности КТС $K_{Гt}$ по параметру ψ_t .
4. Расчет усредненных значений коэффициентов влияния модулей из АПП на выходной параметр ψ_t КТС и заполнение матрицы коэффициентов влияния (8).
5. Формирование вектора коэффициентов готовности $\bar{K}_Г$ группы модулей для включения КТС (11).
6. Вычисление рисков ρ_i проектирования выбранных для включения в КТС модулей (12).
7. Расчет рисков $\rho_{\text{КТС}}$ проектирования КТС (13).
8. Расчет общего коэффициента готовности модулей КТС $K_{Г\text{КТС}}$ (14).
9. Расчет значений рисков создания КТС с учетом комплексирования модулей (16).
10. Расчет риска $\rho_{\text{РЛС}}$ создания РЛС ДО (15).
11. Расчет коэффициента готовности проектируемой РЛС ДО $K_{Г\text{РЛС}}$.

12. Окончательная оценка риска $\rho_{\text{РЛС}}$ создания РДС ДО с учетом комплексирования КТС.

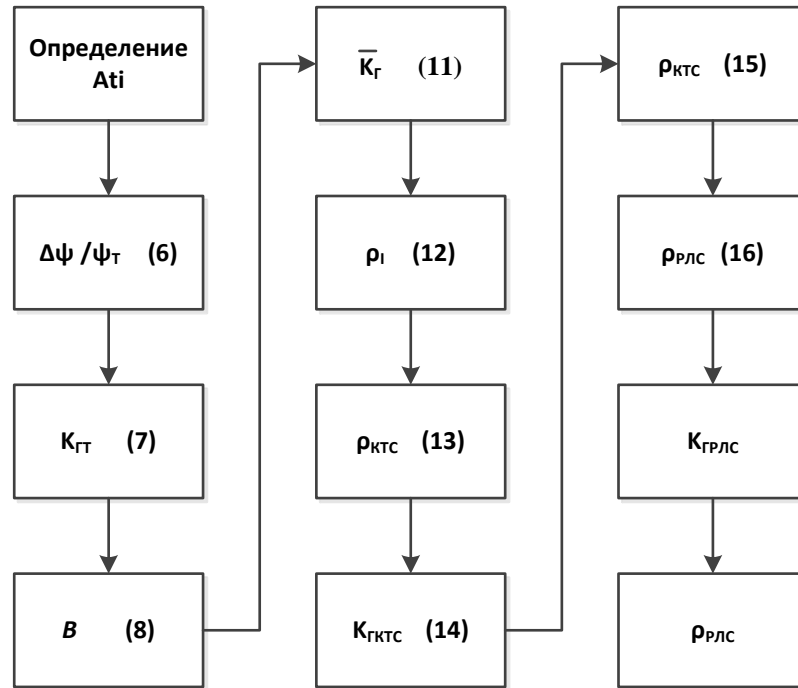


Рис. 2 Структурная схема методики расчета рисков

Применение методики.

Представленная методика легла в основу разработки математического и программного обеспечения автоматизированной системы создания (АСС) РЛС ДО, перед которым ставились задачи реализации выдвинутой в работе [3] концепции эволюционного развития новых высокоинформативных РЛС. Одним из главных требований, предъявляемых к АСС, было наращивание существующего в ОАО «РТИ» методологического задела организации проектных работ, главной составляющей которого является СГК. Повышение эффективности работ с применением СГК должно привести к радикальным улучшениям (в 3-4 раза) временных показателей проектирования и наладки систем станции.

Достижение поставленной цели обеспечивается включением в процесс проектирования и наладки РЛС дополнительных информационных и программных ресурсов: PDM-системы для управления проектными данными на основе информационной среды управления жизненным циклом продукции (Windchill) и автоматизированного рабочего места Генерального конструктора на основе автоматизированной системы управления рисками.

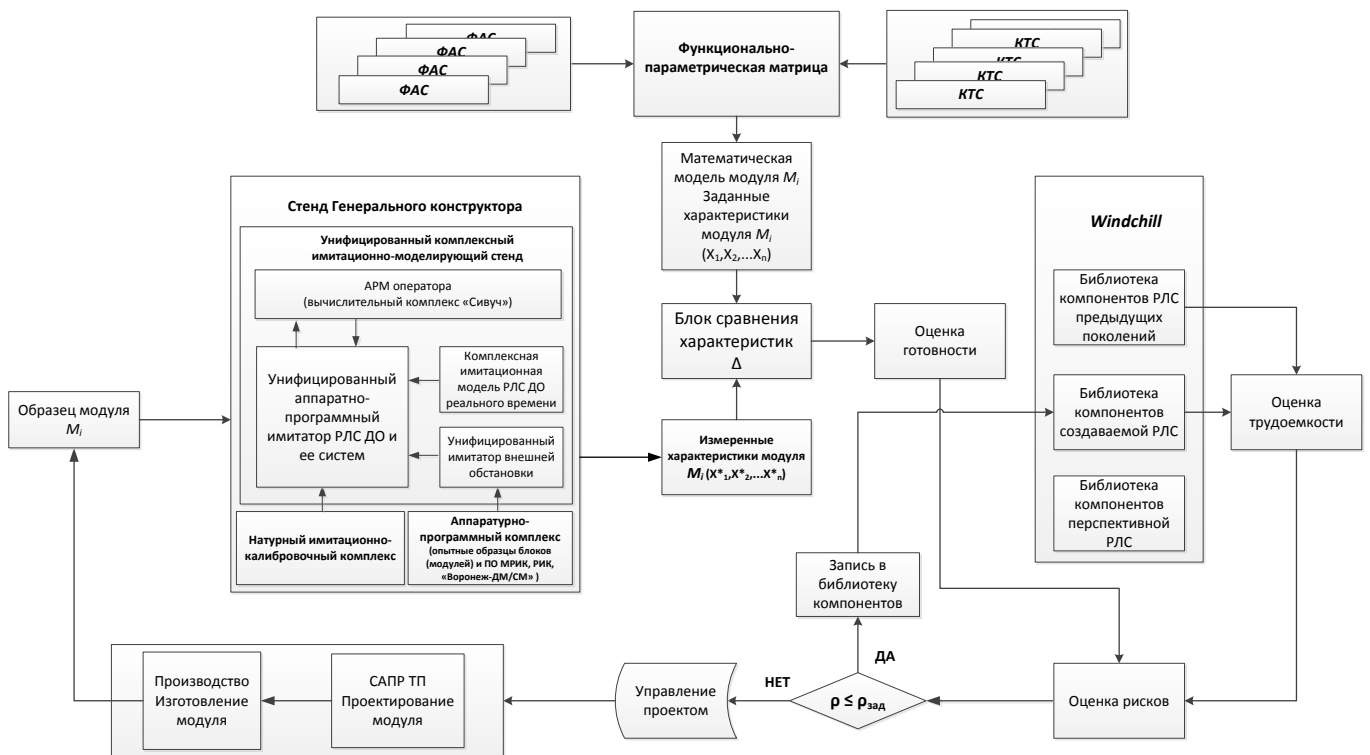


Рис. 3 Автоматизированная система создания РЛС ДО

На рисунке 3 дана иллюстрация режима работы АСС при отладке и комплексировании КТС РЛС. Устанавливаемые на СГК модели и образцы модулей проверяются на соответствие заданным ТТХ. Результаты испытаний анализируются, затем выполняется оценка отклонений выходных параметров КТС. По результатам

испытаний принимается решение о готовности модулей для включения в состав КТС и анализируются риски. Эти риски определяются трудоемкостью работ, уровнем готовности модуля и плановыми сроками завершения разработки. При рисках ниже заданного порогового значения в САПР технического проектирования (САПР ТП) формирует пакет конструкторской документации, который передается в PDM-систему Windchill.

При несоответствии рисков заданным значениям принимается решение о неготовности разработки и планируются мероприятия по привлечению ресурсов для проектирования испытываемого модуля. Если риск значительно превышает допустимый, то может быть принято решение о замене модуля.

Контроль рисков осуществляется на пульте автоматизированного рабочего места Генерального конструктора. Для этого создан специальный интерфейс, позволяющий оперативно отслеживать состояние процессов разработки РЛС ДО и осуществлять управление.

Выводы.

- 1) Автоматизация проектирования новых РЛС ДО на основе единой платформы упорядочивает применение таких успешно зарекомендовавших себя системных принципов построения сложных технических комплексов, как унификация, модульность, иерархичность, открытость, интеграция, развиваемость (эволюционирование), способствует сокращению сроков проектирования изделий и повышению качества и успешности проектов. Дальнейшим развитием этой методологии является автоматизированная система управления созданием РЛС ДО нового поколения, которая потребовала проведения исследований и разработок в области теории и

практики САПР, математического моделирования процессов проектирования.

- 2) Проведенные исследования и разработки показали необходимость установления связей между характеристиками КТС РЛС ДО и параметрами процессов проектирования, которые могут быть определены на основе накопленного опыта. Наличие этих связей объективно присутствует в разработке любого сложного технического объекта, что было учтено в предлагаемых математических моделях и методиках.
- 3) В статье представлены материалы по разработке на базе аппарата математической статистики стохастических моделей расчета показателей процессов создания РЛС ДО, которые позволяют устанавливать аналитические зависимости и связи между значениями характеристик КТС, трудоемкостью их проектирования, интенсивностью работ, технической и технологической готовностью, плановыми временными ограничениями выполнения проекта, рисками нарушения графиков работ и превышения выделенных финансовых и материальных ресурсов.
- 4) Разработанные стохастические модели легли в основу представленных в статье методов для управления рисками на всех этапах жизненного цикла создания РЛС ДО. Их работоспособность подтверждается примерами расчета и оптимизации рисков создания РЛС ДО нового поколения на основе данных накопленного опыта, полученного при создании предшествующих поколений РЛС ДО.
- 5) Результатом выполнения работы является автоматизированная система управления рисками создания РЛС ДО, которая может применяться в качестве ключевого звена автоматизированной системы управления созданием РЛС ДО, обеспечивая информационную и аналитическую поддержку принятия решений на всех этапах жизненного цикла создания РЛС ДО.
- 6) В ходе выполнения работ предложены методики и варианты подключения автоматизированной системы управления рисками к аппаратно-

программному комплексу средств создания РЛС ДО, включающего стенд Генерального конструктора, PDM-систему Windchill и САПР, применяемые в ОАО РТИ, что позволяет приступить к практической реализации автоматизированной системы управления созданием РЛС ДО.

Литература

1. Боев С.Ф., Слока В.К. Развитие информационных систем РКО в новых условиях стратегического сдерживания. – М.: Оборонная мощь России, 2009.
2. Боев С.Ф., Слока В.К. Эволюция радиоэлектроники и радиотехники в суперрадиолокации. // Интеллект и технологии. 2014. №2 (8), С. 48-55.
3. Боев С.Ф., Слока В.К., Рахманов А.А. Принципы и подходы к проектированию РЛС дальнего обнаружения нового поколения: Материалы Девятой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. С.5-7.
4. Боев С.Ф. Концептуальная основа системы автоматизированного эскизно-технического проектирования перспективных РЛС ДО // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2014. №8. С. 3-10.
5. Качала В.В. Основы теории систем и системного анализа. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 216 с.
6. Справочник по вероятностным расчетам. - М.: Воениздат, 1970. – 320 с.
7. Козлов Б.А. Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. - М.: Советское радио, 1975. – 280 с.

8. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы теории надежности. – М.: «Наука», 1965.- 390 с.

9. Бородачев Н.А. Основные вопросы теории точности производства. – М.: Академиздат, 1950. – 270 с.

10. Бруевич Н.Г. Вопросы надежности и точности электронных устройств в машиностроении и приборостроении // Известия Академии Наук СССР. Отделение технических наук. Энергетика и автоматика, 1961.

11. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятности. - М.: Физматгиз, 1961. – 410 с.