На правах рукописи

Дембицкий Дмитрий Николаевич

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

Специальность: 05.13.12 – «Системы автоматизации проектирования (в электронике, радиотехнике и связи)»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

Кандидата технических наук

Москва - 2015

Работа выполнена на кафедре «Инфокоммуникации» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Научный руководитель:	Боев Сергей Федорович доктор экономических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Пиганов Михаил Николаевич доктор технических наук, профессор Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С.П.Королева (НИУ)
	Власов Андрей Игоревич к.т.н., доцент, лауреат Государственной Премии России, заместитель заведующего кафедрой "Проектирование и технология производства электронной аппаратуры" МГТУ им. Н.Э.Баумана
Ведущая организация:	ООО «НПО «Лианозовский электромеханический завод»

Защита состоится «28» апреля 2015 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.02 при Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете), расположенном по адресу: 125993, Москва А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, зал заседаний Ученого Совета МАИ.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на сайте Московского авиационного института (национального исследовательского университета) , http://www.mai.ru/events/defence/index.php?ELEMENT_ID=55961

Автореферат разослан « » февраля 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.125.02,
канд. тех. наук, доцент А. М. Петраков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Необходимость новых подходов к созданию перспективных многофункциональных РЛС дальнего обнаружения (далее РЛС) обусловлена возникшим противоречием между повышением требований к характеристикам станций, к базовым технологиям и жесткими ограничениями на временные и материальные ресурсы, выделяемыми на новые проекты. Новые системы проектирования должны обеспечивать параметрическую и структурную оптимизацию РЛС в условиях сокращения сроков разработки (до 3-5 лет) и объема финансирования (на 30-50%). Сложность современных РЛС дальнего обнаружения заставляет искать решения в области автоматизации управления процессом проектирования.

Существующие САПР и методы проектирования РЛС дальнего обнаружения уже не в полной мере удовлетворяют разработчиков, т.к. не ориентированы на непосредственную минимизацию таких показателей процесса разработки, как время проектирование и выделенные ресурсы. Известные в настоящее время подходы к планированию работ не учитывают творческий характер процесса проектирования, который нельзя нормировать обычными методами операционного контроля. Поэтому возникла необходимость проведения исследований и разработок в направлении создания математического, методического и программного обеспечения, решающего задачи оптимального управления процессами проектирования на основе накопленного в аппаратно-программной платформе опыта эволюционного развития РЛС с позиций снижения сроков и необходимых ресурсов.

Целью данной работы является обеспечение заданных тактико-технических характеристик РЛС при жестких ограничениях на сроки разработки и снижении рисков невыполнения технического задания путем применения математического моделирования процесса проектирования и автоматизированных процедур управления жизненным циклом создания РЛС.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются **следующие задачи:**

1. Разработка математических моделей, определяющих уровень готовности модулей и блоков РЛС на различных стадиях жизненного цикла создания;
2. Разработка модели для расчета вероятности нарушения графика разработки (ВНГР) компонентов РЛС на этапах проектирования;
3. Разработка модели для расчета ВНГР РЛС с учетом ВНГР компонентов РЛС;
4. Разработка метода управления процессом создания РЛС с целью минимизации ВНГР;
5. Проверка разработанных моделей и метода путем их программной реализации и проверки на примерах управления процессом создания РЛС в составе автоматизированной системы управления проектированием (АСУП).

Признаками **научной новизны** обладают следующие положения, выносимые на защиту:

1. Модель оценки параметрической готовности, отличающаяся тем, что позволяет осуществлять оперативный контроль состояния образцов компонентов РЛС, формализуя обработку результатов проверки компонентов на стенде Генерального конструктора;
2. Количественная модель оценки готовности компонентов РЛС, отличающаяся тем, что унифицирует контроль схемотехнической и конструкторско-технологической готовности компонента на различных этапах жизненного цикла создания РЛС;
3. Статистическая модель готовности компонентов РЛС, отличающаяся тем, что устанавливает значение показателя готовности в зависимости от этапа проектирования на основе накопленных в аппаратно-программной платформе (АПП) данных о предшествующих разработках;
4. Стохастическая модель для расчета вероятности нарушения графика разработки РЛС и ее компонентов, отличающаяся тем что, устанавливает аналитическую зависимость ВНГР от времени проектирования, интенсивности работ и

готовности компонентов РЛС, что позволяет на основе накопленного в АПП опыта проектных работ получать численные оценки процесса проектирования;

5. Метод управления процессом проектирования, отличающийся тем, что позволяет оптимизировать ВНГР путем изменения параметров процесса создания РЛС с учетом накопленного в АПП опыта проектных работ.

Практическая значимость:

Разработанное на базе предложенных математических моделей и метода программно-информационное обеспечение позволяет повысить эффективность централизованного управления проектированием РЛС, получать объективные оценки возможностей выполнения проекта, оперативно определять «узкие» участки работы, осуществлять управление и оптимизацию процесса проектирования РЛС. Внедрение разработанной на основе предложенных в диссертации подходов системы автоматизированного управления проектированием:

- расширяет возможности существующего в организации заказчика аппаратно-программного комплекса создания РЛС в направлении оптимизации показателей процесса проектирования РЛС,
- дает возможность руководителю проекта осуществлять оперативный контроль процесса создания РЛС на разных этапах разработки и для компонентов различных уровней иерархической структуры станции,
- минимизирует риски нарушения графика разработки РЛС в условиях жестких ограничений на время их выполнения при обеспечении заданных тактико-технических характеристик РЛС.

Внедрение результатов диссертации:

Разработанное на базе предложенных моделей и метода программно-информационное обеспечение передано в опытную эксплуатацию в составе автоматизированной системы создания РЛС в ОАО «РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА А.Л. МИНЦА» (ОАО РТИ), представлено в

отчетах по ОКР ОАО РТИ «Сайрус» 2014 г. и по НИР МАИ (НИУ) «Прожектор» 2014 г. Акт реализации результатов кандидатской диссертации прилагается.

Методология и методы исследований:

Построение параметрической и количественной модели для оценки готовности компонентов РЛС выполняется методами теории параметрической надежности и точности. Построение статистической модели готовности компонентов РЛС на этапах проектирования выполняется методами теории математической статистики. Стохастическая модель для оценки вероятности нарушения графика разработки РЛС и ее компонентов получена методами теории вероятности и случайных процессов. Метод управления процессом проектирования РЛС разработан на базе предложенных математических моделей процесса проектирования и методологии создания РЛС с применением единой аппаратно-программной платформы.

Достоверность полученных результатов подтверждается:

- Реализацией разработанных математических моделей и метода управления в автоматизированной системе управления проектированием РЛС дальнего обнаружения.
- Проверкой разработанного на основе моделей и метода программно-информационного обеспечения на примерах управления проектированием РЛС в ходе передачи работы в опытную эксплуатацию в ОАО РТИ.

Публикации:

Основные результаты работы опубликованы в 7 печатных работах, в том числе в 3 статьях в журналах из списка ВАК, представлены в 2 научно-технических отчетах. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на:– «Международная неделя авиакосмических технологий «Aerospace Science Week», (18‑21 ноября 2014 года, г. Москва); . «Информационно-телекоммуникационные технологии», Всесоюзная научно-техническая конференция, Сочи, 19-26 сентября 2004 г.; «Актуальные проблемы радиоэлектроники», Всероссийская научно-техническая конференция, Самара, 30 июня 2003 г.

Личный вклад автора. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад диссертанта был определяющим. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, Заключения и 3 приложений. Она содержит 124 страниц машинописного основного текста, включающего 34 рисунка, список литературы из 60 наименований и 15 страниц приложений с результатами проверки применения разработанных моделей и метода.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введение обоснована актуальность темы диссертационной работы, её научная новизна и практическая значимость. Дана общая характеристика диссертационной работы.

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, в котором отражается общая логика формирования Главным конструктором базовых проектных решений.

Развитие концепции АПП требует новых подходов к организации процесса проектирования. На первый план выдвигается задача сокращения сроков проектирования за счет включение в состав программно-аппаратного комплекса создания РЛС специализированных программных средств управления проектом, перед которыми ставятся задачи планирования проектных работ с целью минимизации рисков невыполнения проектных заданий.

В диссертации представлены результаты исследований и разработок в области автоматизации управления процессом создания РЛС, позволяющие разработчикам контролировать состояние процесса проектирования и оказывать эффективное влияние на выполнение жестких временных и ресурсных ограничений.

В первой главе проведен анализ подходов к методам автоматизированного управления созданием РЛС на основе единой аппаратно-программной платформы, проанализированы возможности существующих систем управления проектированием, сформулированы цели и поставлены задачи диссертации.

Внедрение в практику проектирования РЛС разработанной в ОАО РТИ концепции единой аппаратно-программной платформы создает новые возможности в улучшении эффективности управления процессом проектирования. Концепция проектирования РЛС на базе единой платформы проектирования может быть реализована в виде ряда развития РЛС. 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 (Рис.1).

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.

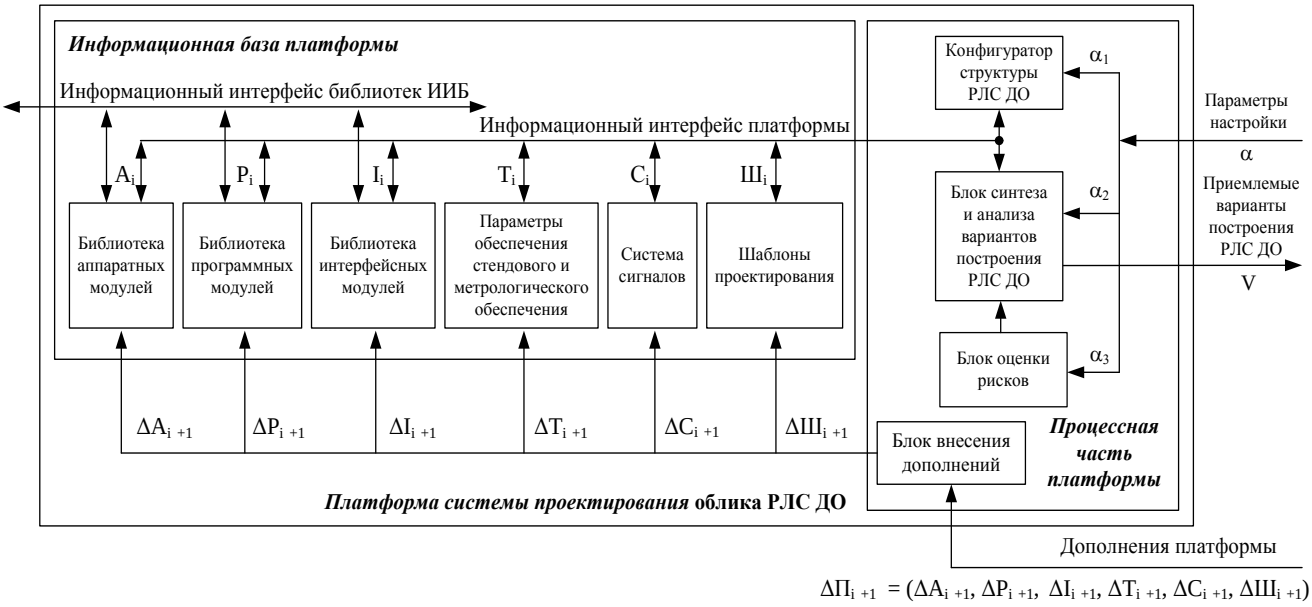

Рис. 1. Структура единой аппаратно-программной платформы создания РЛС

Платформа состоит из двух частей: информационной базы и процессорной части. 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 принятии проектных решений на основе имеющейся информационной базы.

Концепция проектирования РЛС на основе АПП является базой разработки автоматизированной системы управления проектированием.

Создание многофункциональных РЛС дальнего обнаружения требует сочетания централизованного оперативного контроля разработки отдельных блоков и модулей с общим контролем состояния всего проекта станции. Существующие автоматизированные системы управления проектированием сложных технических объектов не в полной мере решают такую задачу. Высочайшая техническая сложность многофункциональных РЛС дальнего обнаружения, лавинный рост информации на этапах разработки приводит к снижению четкости централизованного управления проектированием, к потерям времени на повторные согласования и проверки, к нерациональному распределению ресурсов на направлениях разработки.

Для повышения эффективности создания перспективных РЛС необходимо на базе концепции АПП осуществить развитие автоматизированных систем управления проектами путем разработки автоматизированных средств объективного контроля и оперативного управления процессом проектирования на всех этапах жизненного цикла создания РЛС и ее компонентов.

В диссертации предлагается решить следующие задачи:

1. Создать математический аппарат моделирования процесса проектирования РЛС, который позволит:
   - на основе накопленного в АПП опыта прогнозировать 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 жестких ограничениях на сроки создания РЛС.
2. На основе предложенных математических моделей разработать метод, позволяющий выполнять эффективный централизованный контроль и управление процессом создания РЛС.

3. Разработать информационно-программные средства управления процессом проектирования для проверки работоспособности предложенных в диссертации моделей и метода.
4. Внедрить разработанное математическое и информационно-программное обеспечение в ОАО РТИ.

В главе 2 рассматриваются математические модели на основе АПП, которые позволят аналитически связать временные и ресурсные параметры процесса создания РЛС с рисками нарушения графика работ.

Под состоянием разработки компонентов РЛС предлагается понимать уровень соответствия схемотехнических и конструкторско-технологических характеристик требованиям технического задания. Математическая модель должна отражать состояние объекта на всех этапах жизненного цикла разработки. Для этого предлагается рассматривать три подхода: параметрический, количественный и статистический.

Параметрическая модель определяет связь отклонения контролируемых параметров РЛС с отклонениями параметров компонента

$$\Delta\Psi_t/\Psi_t = B_{t1}\,\Delta q_1/q_1 + B_{t2}\,\Delta q_2/q_2 + \cdots B_{ts}\,\Delta q_S/q_S \qquad (1)$$

,где $B_{ti} = \frac{\partial\Psi_t \cdot q_i}{\partial q_i \cdot \Psi_t}$ – коэффициент влияния параметра q_i компонента на параметр РЛС Q_t, S- общее количество контролируемых параметров компонента,

$$Q_t = \Psi_t(q_1, q_2, \dots, q_s) \qquad (2)$$

В матричной форме отклонение контролируемых параметров можно представить в следующем виде: $\nabla = \mathrm{B} \cdot \nabla_M$ (3)

, где $\nabla_M = (\delta_1, \delta_2, \dots \delta_K)^t$-вектор относительных отклонений параметров компонента от требуемых значений, В – матрица коэффициентов влияния размерностью $L \times S$, L – количество контролируемых параметров РЛС. Средние

отклонения параметров модуля от требуемых значений записано в виде вектора

$$\overline{\nabla}_M = {}^{1}/_{L} \cdot (|\delta_1|, |\delta_2|, \dots |\delta_K|)^t \quad (4)$$

Вектор коэффициентов готовности параметров модуля с учетом отклонений контролируемых параметров РЛС:

$$\overline{K}_\Gamma = \overline{\mathrm{E}} - \overline{\nabla}_M \quad (5)$$

, где $\overline{\mathrm{E}}$ –единичный вектор, $\overline{K}_\Gamma$ – вектор коэффициентов готовности параметров модуля с учетом отклонений контролируемых параметров КТС. Данная модель позволяет выполнять оперативный контроль готовности параметров образца модуля по результатам проверки на стенде генерального конструктора (СГК).

Количественная модель определяет готовность по числу параметров, соответствующих заданным характеристикам. Данная модель более универсальна, т.к. позволяет контролировать не только параметры, но и непараметрические характеристики. Модель может применяться на всех этапах жизненного цикла для определения готовности как компонентов РЛС, так и отдельных процессов, этапов и стадий разработки. Количественная готовность i-го компонента определяется по формуле $\mathrm{k}_{\Gamma i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \upsilon_{ij} \eta_{ij} \varepsilon_{ij}}{n_i}$ (6)

, где υ_{ij} – уровень готовности j-й характеристики ($0 \leq \upsilon_{ij} \leq 1$), η_{ij} – коэффициент, учитывающий степень влияния характеристики на результаты процесса разработки, а ε_{ij} – коэффициент, учитывающий сложность обеспечения требуемых значений характеристики. Уровень готовности характеристик и коэффициенты определяет разработчик компонента.

Статистическая модель (СМ) готовности определяется по данным статистики трудоемкости этапов разработки из накопленного опыта проектирования и позволяет выполнять оценку готовности изделий в зависимости от объема выполненных работ. Функция готовности является интегральной оценкой относительных трудозатрат $\sigma(t)$ на выполнения этапов работы и

определяет в каждый момент времени t' значение показателя готовности компонента: $k_{\text{г}}(t') = \int_0^{t'} \sigma(t)dt$ (7)

,$\sigma(t) = \frac{\partial\Theta(t)}{\Theta_{\text{п}}\partial t}$ показывает плотность распределения трудозатрат по всему жизненному циклу создания компонента ($\Theta(t)$ – трудоемкость выполненных работ за время t , $\Theta_{\text{п}}$ – общая трудоемкость проектирования компонента). СМ в отличие от рассмотренных выше моделей дает оценку готовности изделия во временном интервале. Поэтому СМ применима при планировании распределения работ по этапам создания РЛС.

Найденные значения готовности позволяют переходить к оценке состояния процесса разработки с точки зрения его реализуемости в заданное время. В качестве такой оценки предлагается - вероятность нарушения графика (ВНГР) разработки РЛС.

Стохастическая модель определяет эту ВНГР исходя из представления процесса проектирования в виде потока событий. Событием считается завершение работ на любом шаге разработки РЛС и ее компонентов. Количество этих событий на временном интервале определяется только его протяженностью. Вероятность наступления событий на любом интервале - случайная величина, которая не зависит от времени наступления предшествующих событий. На основании этого делается предположение, что ВНГР можно интерпретировать пуассоновским распределением и оценивать эту величину по формуле

$$\rho(t) = \begin{cases} e^{-\lambda(t+\varepsilon K_{\Gamma}\cdot t_{\text{а}})}, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (8)$$

, где t – время разработки изделия, а λ – частота наступления событий выполнения проектных работ, $t_{\text{а}}$ -время завершения работ по созданию аналога, ε – коэффициент, определяющий сложность нового изделия относительно аналога, $K_{\text{г}}$ - показатель готовности компонента.

Методику применения ВНГР для управления можно иллюстрировать с помощью функциональной поверхности (Рис.2), которая образуется в 3-х мерном

пространстве (t, Кг, ρ) функцией (8). Изменяя значения факторов Кг, λ и t можно определить режим разработки РЛС с минимальной ВНГР.

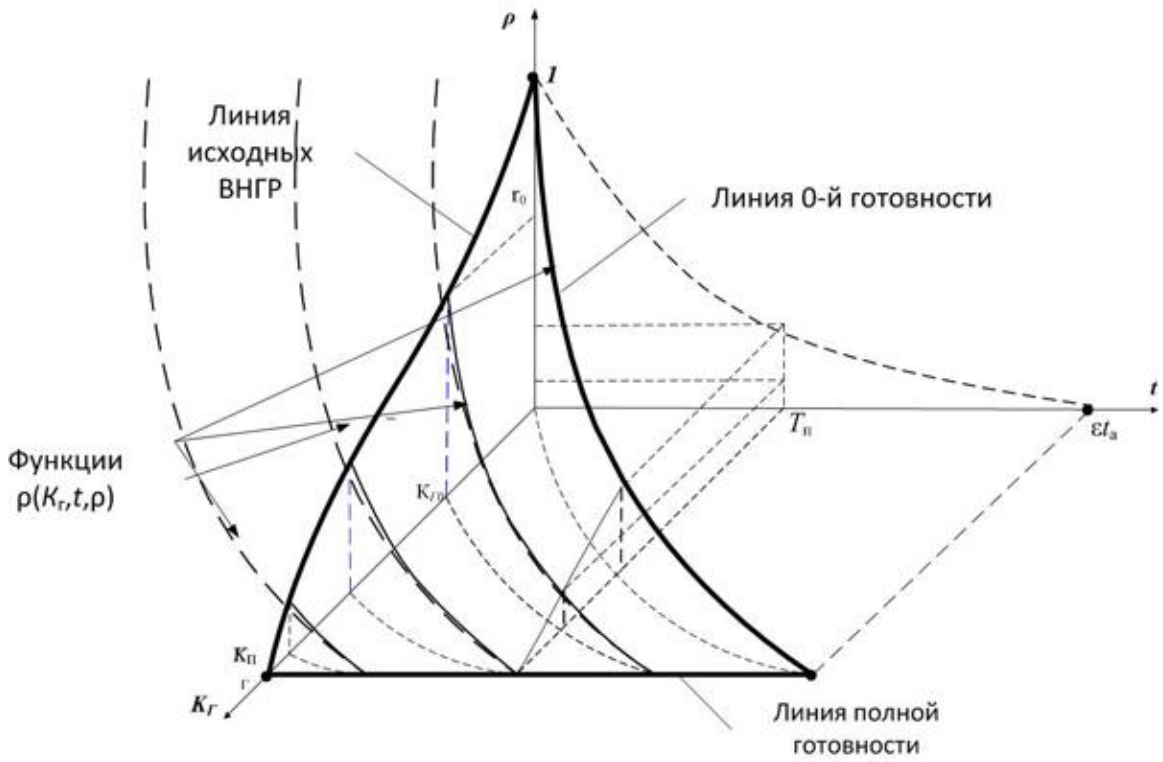

Рис.2 Функциональная поверхность поиска решений

При расчете ВНГР необходимо учитывать иерархическую структуру РЛС. Расчет ВНГР РЛС ведется по формулам теории вероятности для групп независимых событий. Например, ВНГР конструктивно-технологической системы (КТС) будет рассчитываться по формуле:

$$\rho_{\text{КТС}} = 1 - (1 - \rho_1)(1 - \rho_2) \ldots (1 - \rho_K) \qquad (9)$$

, где ρ_i – ВНГР *i*-го компонента КТС.

В главе 3 рассмотрен метод управления процессом проектирования РЛС и ее компонентов, построенный на базе предложенных моделей оценки процесса проектирования РЛС и его применение на различных этапах проектирования.

Структура метода управления ВНГР компонента РЛС представлена на рисунке 3. На рисунке показаны факторы, влияющие на ВНГР, двойной рамкой выделены управляющие факторы.

Управление выполняется путем изменения показателя готовности $К_г$, интенсивности разработок и времени выполнения разработок. Для управления готовностью осуществляется выбор компонентов из АПП с максимальным значением $К_г$.

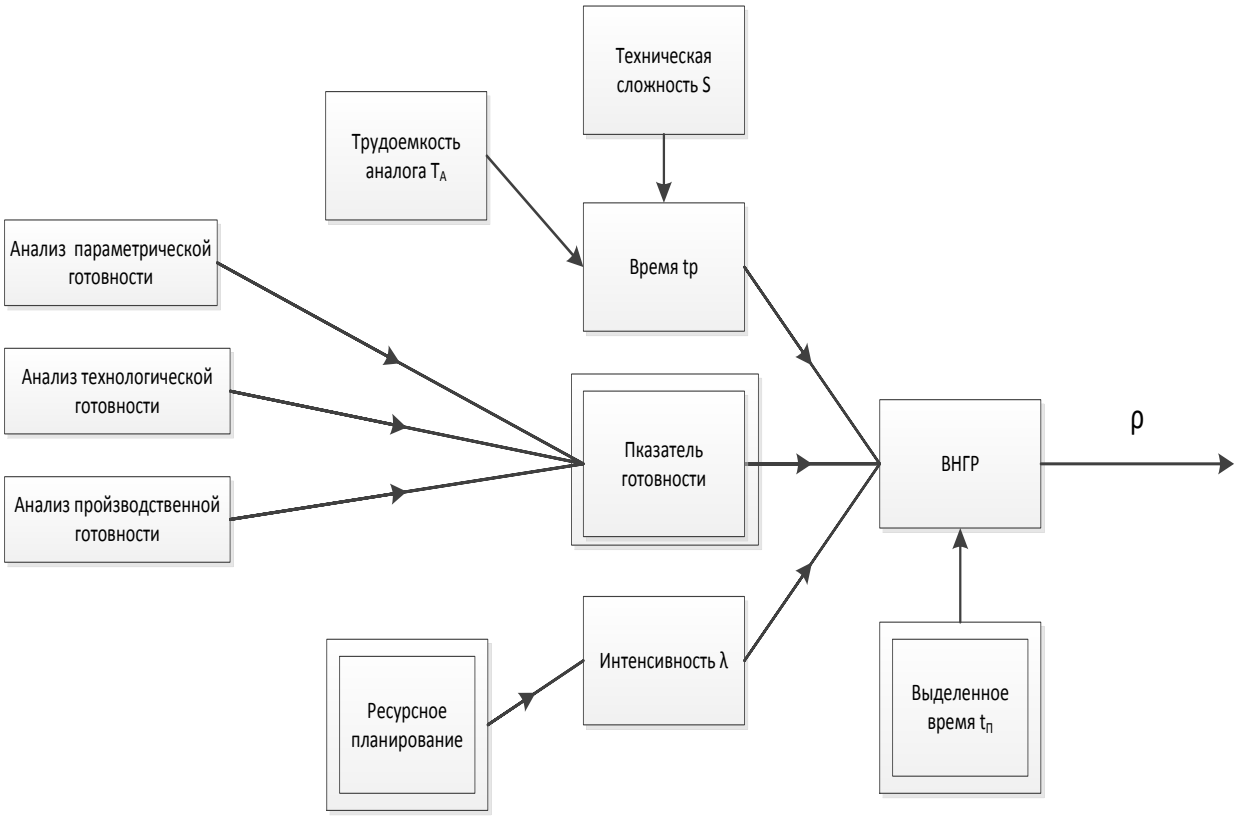

Рис. 3 Метод расчета ВНГР

Проверка предложенного метода расчета ВНГР выполнялась на различных этапах управления разработкой РЛС: при выборе компонентов РЛС из базы данных АПП, при проверке компонентов РЛС на СГК и на этапе планирования проектных работ.

Выбор компонентов РЛС из базы данных АПП является основной оптимизационной задачей проектирования РЛС на базе унифицированной аппаратной платформы, которая решается на этапе эскизного проектирования. На этом этапе в интерактивном режиме из библиотек АПП выбираются блоки и

модули, и подставляются схему деления РЛС. Создаются варианты покрытия схемы деления РЛС компонентами из АПП (Рис.4). Критерием выбора является соответствие параметров выбираемого компонента требуемым ТТХ. После выбора выполняется расчет ВНГР и запись варианта.

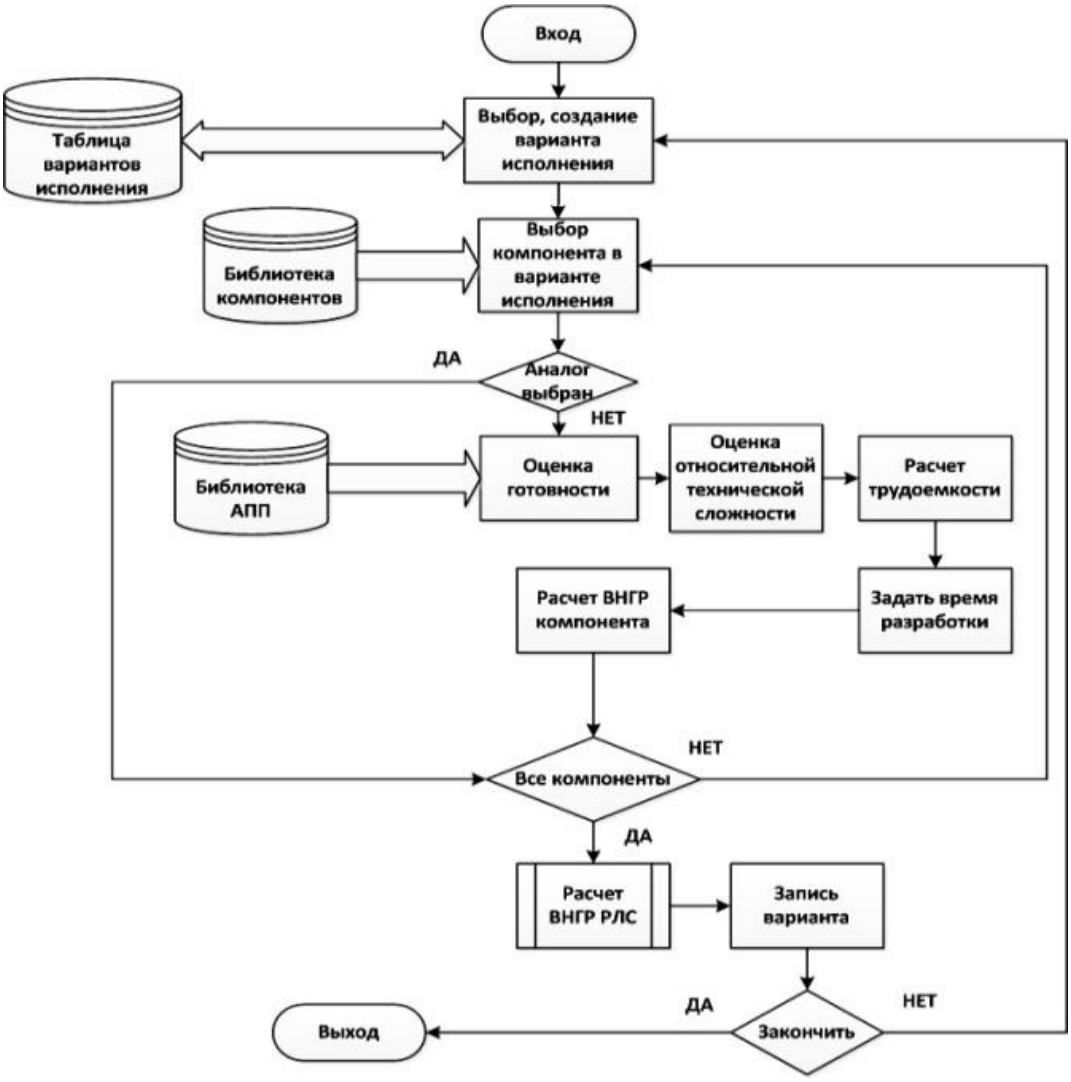

Рис.4 Выбор компонентов РЛС из базы данных АПП

На рис.5 показана структура алгоритма управления проектом при проверке компонентов РЛС на стенде Генерального конструктора. В алгоритме два цикла: цикл проверки компонентов на СГК и цикл управления. Первый цикл замкнут на процедуру оценки готовности компонента. Для каждого компонента, прошедшего проверку на СГК с применением параметрической и количественной моделей рассчитываются Кг. После проверки готовности компонента принимается решение о его применимости в проекте. Если выявляется неготовность, то выполняется

расчет ВНГР. Управление проектом осуществляется путем перераспределения ресурсов для достижения минимально допустимых значений ВНГР при заданных сроках выполнения работ.

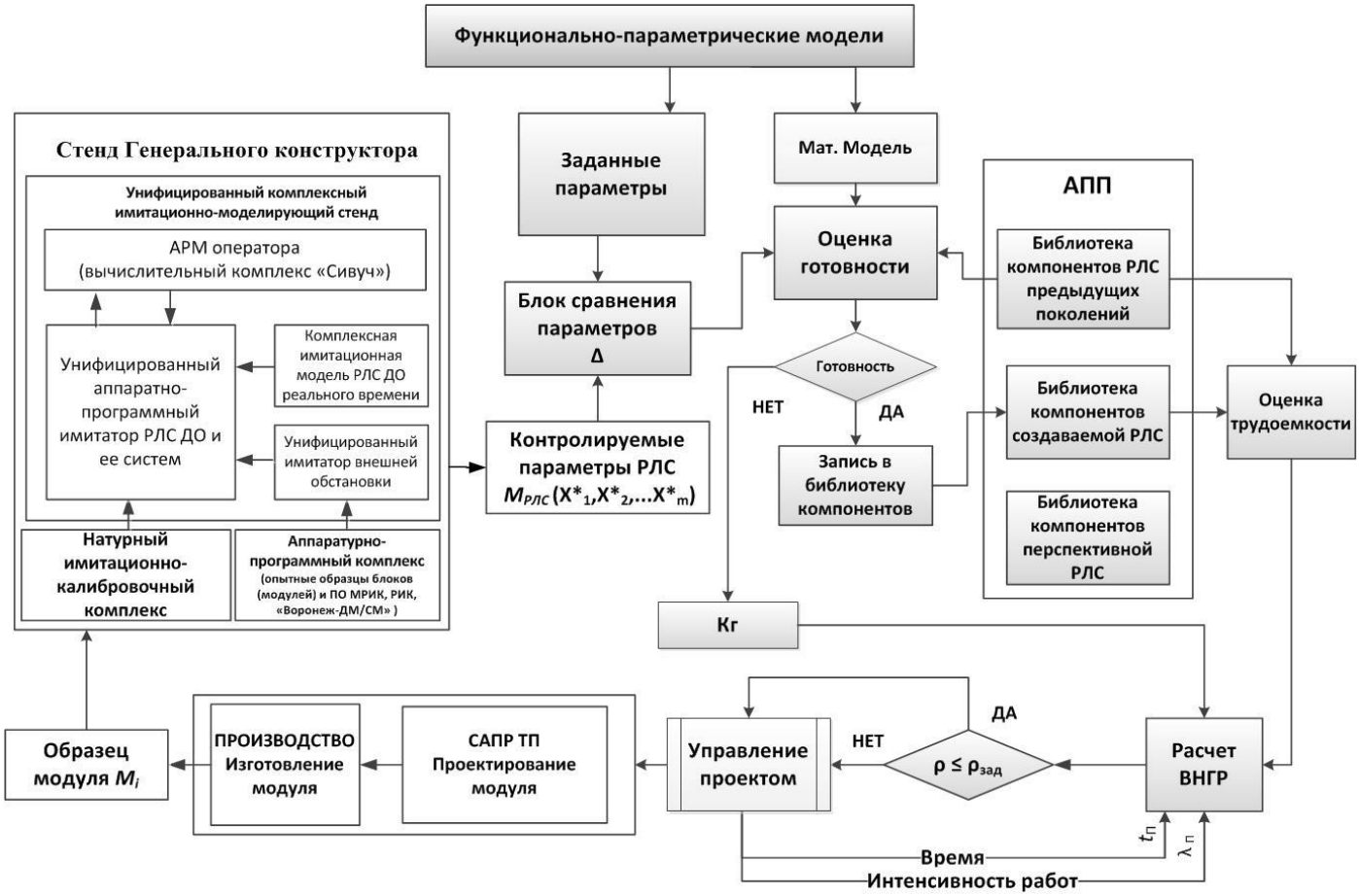

Рис. 5 Управление проектированием при проверке модуля на СГК

На этапе планирования проектных работ определяются необходимые мероприятия по снижению ВНГР создания РЛС. ВНГР вычисляются от нижних уровней иерархии компонентов (модулей) РЛС к верхним. 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. Оптимизация выполняется путем регулирования интенсивности и сроков выполнения работ по этапам

проектирования и компонентам РЛС. Дружественный интерфейс организован в виде диаграмм (Рис.6), показывающих распределение ВНГР по компонентам и этапам разработки.

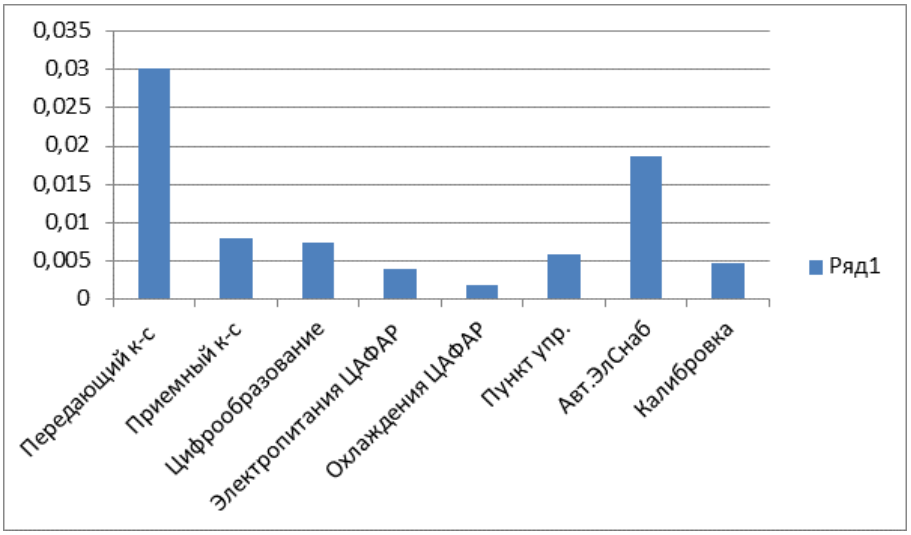

Рис.6 Диаграмма распределения ВНГР по КТС

В главе 4 представлена структура автоматизированной системы управления проектированием (АСУП) РЛС, реализованная на базе предложенных моделей и методов. АСУП встроена в систему создания (АСС) РЛС предприятия. АСС объединяет 4 группы аппаратных и информационно-программных средств: СГК, PDM-систему, АСУП, САПР (Рис.7).

АСУП состоит из 4 программных комплексов (ПК): ПК ввода информации о структуре и характеристиках функционально-параметрических моделях РЛС и ее компонентов, ПК ввода и редактирования данных АПП проектирования РЛС, ПК формирования вариантов исполнения РЛС, ПК расчета и оптимизации ВНГР. Все программные комплексы АСУП разработаны в среде Visual Studio 2010 на платформе .NET Framework 4.5. Информационное обеспечение АСУП создано на основе SQL Server 2008 R2.

В процессе работы АСУП предоставляет пользователю следующие возможности:

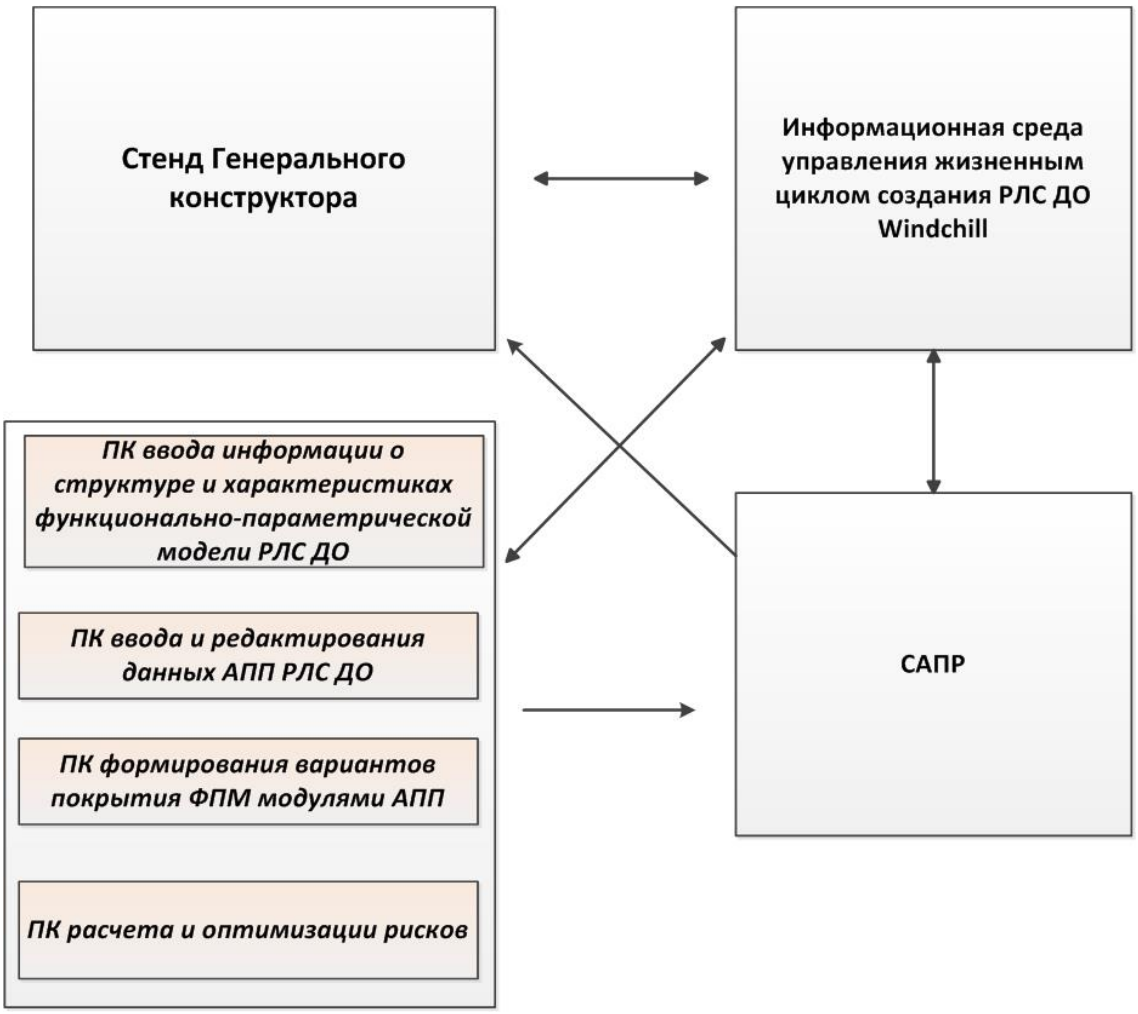

Рис.7 Аппаратно-программный комплекс создания РЛС

- ввод структуры и параметров РЛС на иерархических уровнях от модулей и до функционально-алгоритмических систем РЛС,

- выполнение в интерактивном режиме многовариантного анализа процесса создания РЛС с помощью оценки ВНГР на уровнях модулей, блоков, КТС и этапах проектирования.

В главе 5 представлены результаты проверки и апробации разработанных методов и алгоритмов. Приведен пример оптимизации распределения ресурсов при планировании работ по проектированию РЛС на базе прежних разработок.

Основные результаты диссертационной работы:

1) Предложены математические модели оценки готовности компонентов РЛС, позволяющие выполнять контроль состояния разработки компонентов на различных этапах создания РЛС и получать численные значения показателя готовности для процедур управления процессом проектирования:

- параметрическая модель для оперативного контроля уровня готовности образца компонента по результатам его проверки на стенде Генерального конструктора,
- универсальная *количественная модель* оценки готовности по соответствию характеристик этапов требованиям процесса разработки, которая дает возможность получать оценки схемотехнической и конструктивно-технологической готовности на всех этапах жизненного цикла создания компонентов РЛС,
- *статистическая модель* готовности РЛС и ее компонентов, позволяющая выполнять поэтапный расчет готовности изделий на основе данных из аппаратно-программной платформы.

2) Предложены математические модели оценки вероятности нарушения графика разработки РЛС и ее компонентов, отличающиеся тем, что позволяют:
   - оценивать и прогнозировать вероятности нарушения графика работ над проектом на основе данных аппаратно-программной платформы,
   - на основе стохастических законов устанавливают аналитическую зависимость вероятности нарушения графика разработки от характеристик процесса проектирования (времени, интенсивности выполнения работ и готовности компонентов РЛС),
   - рассчитывать вероятности нарушения графика разработки РЛС по вероятностям нарушения графика разработки компонентов РЛС.
3) На основе предложенных математических моделей разработан метод управления процессом проектирования, дополняющий возможности существующих автоматизированных систем функциями оценки влияния параметров процесса его эффективность и позволяющий:
   - перейти от субъективных подходов к управлению к аналитическим оценкам вероятности нарушения графика работ,
   - принимать решения на основе анализа накопленной в аппаратно-программной платформе информации о ранее выполненных разработках,

- 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 и РЛС в целом.

4) 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).

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных перечнем ВАК:

1. 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
2. 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
3. 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

В других изданиях:

1. 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
2. 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
3. Васильева Т.Ю., Дембицкий Д.Н., Дембицкий Н.Л. Оболочка экспертных систем проектирования радиоэлектронных средств. // «CHIP news –инженерная микроэлектроника», 2006, № 8, с.60-62
4. Дембицкий Д.Н., Фам Вьет Ань Оптимизация управления рисками в проектировании радиоэлектронной аппаратуры. // «Молодежь и будущее авиации и космонавтики », Сборник аннотаций., М., МАИ, 2014 , с. 157-158