

УДК 621.3.088.3.001.8

## О ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ СРОКОВ И СТОИМОСТИ СОЗДАНИЯ РЛС ДО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТЕНДА ГЛАВНОГО КОНСТРУКТОРА

С. Ф. Боев<sup>1</sup>, А. П. Линкевичиус<sup>1</sup>, А. С. Логовский<sup>2</sup>, С. В. Якубовский<sup>3</sup>

<sup>1</sup>АО «РТИ», 127083, Москва, ул. 8 марта, 10

<sup>2</sup>ОАО «Радиотехнический институт имени академика А.Л. Минца»,  
127083, Москва, ул. 8 марта, 10-1

<sup>3</sup>НИИЦ ЦНИИ ВВКО МО РФ, 129327, Москва, ул. Осташковская, 12А

Статья поступила в редакцию 11 сентября 2017 г.

**Аннотация.** В работе рассматривается метод сокращения сроков и стоимости цикла работ, связанного с настройкой, регулировкой, оценкой параметров и испытаниями как РЛС ДО в целом, так и ее основных функциональных систем (составных частей), создаваемых на основе технологий высокой заводской готовности. Практической основой метода является стенд главного конструктора, состоящий из базового функционально комплекта РЛС, а также технологического и аппаратно-программного оборудования с комплектом программно-методического обеспечения, позволяющий проводить определённые виды работ вне объекта развёртывания РЛС. Эффективность метода, по сравнению с традиционным подходом к настройке РЛС ДО, показана на примере ввода РЛС ДО класса ВЗГ. Сроки объектового цикла работ сократились в 2-3 раза, а их стоимость уменьшилась в 1,5-2 раза. Существенно уменьшился риск заказчика по выполнению Государственной программы вооружения (своевременной сдаче РЛС в эксплуатацию).

**Ключевые слова:** испытания, радиотехническое производство, стенд главного конструктора, базовый функциональный комплект, радиолокационные средства дальнего обнаружения, риск, радиоэлектронный комплекс, высокая заводская готовность, конструктивно-технологическая матрица.

**Abstract.** The paper considers a method for reducing the time and cost of the work

cycle associated with tuning, adjusting, estimating parameters and testing both the radar in general and its main functional systems (components) created on the basis of high-availability technologies.

The practical basis of the method is the stand of the chief designer, consisting of a basic functional set of radar, as well as technological and hardware-software with a set of software and methodological support, allowing a considerable amount of commissioning, installation and test work outside the radar deployment site.

The effectiveness of the method, compared with the traditional approach to tuning the radar, is shown by the example of the introduction of a high factory readiness radar station class. The terms of on-site cycle works were reduced by 2-3 times, and their cost decreased by 1.5-2 times. The client's risk for the implementation of the State armament program (timely delivery of the radar in operation) has significantly decreased.

**Key words:** tests, radio engineering production, the stand of the chief designer, the basic functional set, the early warning radars, the risk, the electronic complex, the high factory readiness, the constructive-technological matrix.

## **Введение**

Создание современных РЛС ДО представляет чрезвычайно сложный процесс, требующий четкой организации работ на всех этапах, начиная с творческого замысла и кончая сдачей образца заказчику. Всё это возможно только на основе системного подхода, так как необходима взаимоувязка большого количества разнородных факторов из сферы разработки, проектирования, производства, изготовления, испытаний и эксплуатации [1].

В техническом плане РЛС ДО представляют собой функционально взаимосвязанные автоматизированные радиоэлектронные комплексы аппаратурных и программно-алгоритмических средств, а также обеспечивающих их инженерных и спецтехнических систем. Опыт проектирования и создания РЛС ДО позволяет отслеживать мировые тенденции развития радиолокационной техники, соответствующий уровню развития

радиолокационных и информационных технологий и состоянию элементной базы. Мировыми тенденциями повышения качества РЛС дальнего обнаружения являются [1, 2, 6]:

1. Повышение точности измерения координат и оценки параметров движения объектов наблюдения, разрешающей и пропускной способности.
2. Повышение вероятности обнаружения малоразмерных, маловысотных целей на больших дальностях.
3. Построение радиопортретов целей, распознавание многоэлементных и вращающихся объектов, определение манёвра.
4. Сокращение стоимости и сроков разработки и изготовления РЛС.
5. Повышение КПД полупроводниковых приборов, радиомодулей и радиоаппаратуры.
6. Повышение помехозащищённости и живучести.
7. Снижение энергопотребления, массогабаритных параметров РЛС.
8. Межпроектная унификация ключевых технологий и конструкций, модулей, устройств, программно-алгоритмических параметров РЛС.

Проектирование РЛС ДО превратилось в многоступенчатую итеративную задачу с неоднократным уточнением полученных результатов и исходных данных. Доминирующим направлением при создании современных РЛС ДО является высокая заводская готовность (ВЗГ) её составных частей. За последние десять лет создан ряд РЛС ВЗГ различных типов и модификаций. Эти РЛС имеют «открытую архитектуру», т.е. адаптированы к наращиванию качественных характеристик с минимальными затратами без структурного изменения схемы деления (имеют модернизационную пригодность). Одним из концептуальных положений при создании РЛС ДО на основе технологий ВЗГ является минимизация стоимости и сроков проведения работ по развертыванию, монтажу, настройке и испытаниям РЛС на объекте дислокации. Практика создания РЛС ВЗГ показала, что для эффективной реализации этого положения необходимо провести корректировку содержания работ выполняемых головным разработчиком РЛС на стадиях организации

производства, изготовления и отладки опытного образца. Смысл корректировки состоит в том, чтобы основную часть работ по сборке, монтажу, настройке, регулировке, контролю параметров радиоэлектронных комплексов (РЭК), отладке программного обеспечения (ПО), отдельным видам испытаний проводить вне объекта дислокации, на производственной площадке предприятия – головного разработчика РЛС. Это позволяет на ранних стадиях работ находить конструктивные, технологические, аппаратурные и программно-алгоритмические ошибки при создании образца и тем самым оперативно влиять на процесс массового радиотехнического производства, находить оптимальные режимы эксплуатации отдельных систем и устройств и РЛС целом, правильно выбирать состав и характеристики применяемой компонентной базы, закладывать фундамент для будущей безотказной эксплуатации образца и др. В целом все перечисленные факторы позволяют уменьшать риски заказчика по своевременной сдаче РЛС в эксплуатацию.

Целью данной работы является раскрытие содержания и демонстрация преимуществ метода сокращения сроков и стоимости ОКР по созданию РЛС ДО, использующих технологии ВЗГ за счёт внесения изменений в порядок и условия проведения работ на стадиях (этапах) организации радиотехнического производства, изготовления, монтажа, настройки, развертывания и испытаний.

## **1. Общая задача конструирования РЛС ДО**

Конструирование РЛС ДО – это сложный процесс, обусловленный многоплановостью и, нередко, противоречивостью задач, решаемых при реализации критерия «эффективность – стоимость – сроки создания». Каждая принятая конструктивная, технологическая мера, программно-алгоритмическое решение имеют свое материальное воплощение и, следовательно, включены в общую стоимость образца. Поэтому синтез конструкции РЛС должен производиться не только с позиции обеспечения требований ТТЗ, но и с позиций учета ограниченных денежных средств (ассигнований) на разработку.

В общем виде задача оптимального конструирования РЛС имеет следующий вид [4]. Известен показатель эффективности конструирования  $W$ .

Он зависит от двух групп факторов требований ТТЗ  $A=\{a_i\}, i=1, \dots, I$  и искомым факторов  $X=\{x_j\}, j=1, \dots, J$ , которые необходимо определить при конструировании. Зависимость  $W=W[\{a_i\}, i=1, \dots, I, \{x_j\}, j=1, \dots, J]$  является математической моделью конструирования. Задача конструирования формируется так: при заданных требованиях ТТЗ  $\{a_i\}, i=1, \dots, I$ , найти такие значения конструктивных параметров  $\{x_j\}, j=1, \dots, J$ , которые обеспечивают экстремум показателя эффективности  $W$ , который можно выразить через показатели качества решения целевой задачи РЛС. В этом случае определяют  $W_{max}$  при ограничении на стоимость  $C$  (задача А). Если  $W$  отражает стоимость конструкции РЛС, то определяют  $W_{min}$  при нормировании показателя качества РЛС (задача Б).

В качестве скалярного показателя эффективности для задачи конструирования (задача А) можно предложить показатель надежности РЛС. Например, наработка на отказ  $T_o$  или интенсивность отказов  $\lambda$ . Каждая из конструктивных мер может быть оценена по вкладу в повышении надежности РЛС. Причем сама надежность представляется как вероятностная мера обеспечения функционирования РЛС с требуемыми качественными показателями целевого применения (требования по назначению), такими например, как вероятность обнаружения заданных классов целей, количество одновременно сопровождаемых целей и др.

Для задачи Б можно предложить скалярный показатель эффективности в виде стоимости РЛС. Тогда каждая из конструктивных мер, обеспечивающая требуемые значения показателей по назначению (ТТХ РЛС), может быть оценена по доли стоимости РЛС, требуемой для своей реализации. Таким образом, задачу синтеза конструкции РЛС можно представить следующим образом:

1. Разработка математической модели РЛС как функционала показателя эффективности  $W=W(K_1, K_2, \dots, K_s, A)$ , где  $K_1, K_2, \dots, K_s$  – искомые конструктивные решения, обеспечивающие требуемые режимы функционирования;  $A$  – заданные ограничения, например, требования ТТЗ.

В качестве функционала  $W$  выступает показатель надежности  $P$  в задаче А и стоимость  $C$  в задаче Б. При этом РЛС обладает показателями по назначению согласно ТТЗ.

2. Получение функций чувствительности показателя эффективности  $W$  к исследуемым факторам. Эти функции должны быть двух видов. Функция первого вида  $\left\{ \frac{dW}{dx_i} \right\}$ ,  $i \in 1, I$  отвечает на вопрос, что дает приращение переменной  $x_i - \frac{dW}{dx_i} \Delta x_i$ . Функция второго вида  $\left\{ \frac{dC}{dx_i} \right\}$ ,  $i \in 1, I$  отвечает на вопрос, во что обходится приращение переменной  $x_i - \frac{dC}{dx_i} \Delta x_i$ .

3. На основе анализа функций этих двух видов определяется набор  $\{x_i\}$ ,  $i \in 1, I$ , решений (конструктивных, технологических, программных и др.) обеспечивающий  $\max P$  при  $C$  (РЛС) =  $C_0$  (выделенные средства) или  $\min C$  при  $P$  (РЛС) =  $P_0$  (требуемый показатель надежности).

Поэтому при конструировании РЛС ДО в качестве ограничений выступают требования ТТЗ (вектор), ограничения по стоимости образца (скаляр) и сроку выполнения ОКР (скаляр). При конструировании РЛС ДО применяются различные методы поиска экстремума функции эффективности [4, 5].

Исходя из критерия максимальной эффективности конструирования РЛС с заданными ТТХ при ограничении по стоимости может быть сформулирована следующая научная задача. Разработать метод сокращения сроков и стоимости выполнения ОКР по созданию РЛС ДО за счет выполнения основного объема работ, связанного с настройкой, регулировкой, оценкой параметров и испытаниями основных функциональных систем РЛС вне объекта развертывания (на производственно-испытательной базе головного разработчика РЛС).

## 2. Особенности технологий ВЗГ при создании РЛС ДО

Основными особенностями РЛС ДО создаваемых на основе технологий ВЗГ являются:

– возможность интеграции функционально законченных

радиоэлектронных комплексов для быстрого создания РЛС ВЗГ требуемого состава на объектах дислокации;

- существенное сокращение времени на монтажно-настроечные и пуско-наладочные работы при сборке РЛС на объекте за счет ввода в состав жизненного цикла каждого этапа отладки, комплексной стыковки и автономных испытаний РЛС минимального состава на заводе-изготовителе;

- построение РЛС по схеме «антенна – ЭВМ» с разделением функций между получением радиолокационной информацией и ее обработкой (при этом компоненты РЛС могут быть пространственно разнесены);

- применение структурного построения РЛС на основе унифицированной частотнонезависимой части (УЧНЧ) и отличающихся друг от друга в различных частных диапазонах частотнозависимой части (ЧЗЧ);

- применение для реализации алгоритмов в реальном масштабе времени вычислительных средств с высокой производительностью и учетом ограничений на массогабаритные характеристики;

- возможность модернизации (замены) на основе РЭК ВЗГ отдельных систем и устройств РЛС СПРН, выполняющих задачи боевого дежурства;

- пригодность конструкции изделия для будущей модернизации (в том числе и глубокой) после истечения назначенного срока службы;

- существенное сокращение объёмов строительных работ при создании объектов по технологии ВЗГ;

- кардинальное изменение состава и структуры систем инженерного обеспечения;

- широкие возможности унификации РЛС на уровне отдельных систем и устройств и модификации образцов внутри ряда РЛС ВЗГ, включая компоненты программно-алгоритмического комплекса;

- применение для первичной обработки радиолокационной информации процессоров на основе современной цифровой микропроцессорной техники (программируемых логических интегральных схем - ПЛИС).

- существенное сокращение численности боевого расчёта и численности

личного состава войсковой части объекта;

- снижение среднегодовой стоимости эксплуатации образцов.

Включение в состав жизненного цикла создания РЛС ДО этапа отработки изделия на стенде главного конструктора, размещаемого на производственно-испытательной базе головного исполнителя ОКР позволяет:

- проводить сборку, стыковку, комплексную отладку функционирования и сдачу по ТУ (причем не только на уровне РЭК, но и на уровне составных частей РЛС) штатных аппаратно-программных комплексов (АПК) под управлением функционального программного обеспечения (ФПО) РЛС;

- существенно сократить сроки (приблизительно в два-три раза) и стоимость (приблизительно на 40%) этапа пуско-наладочных и монтажно-настроечных работ на объекте дислокации образца;

- провести отработку (ориентировочно на 70%) программно-методического обеспечения, необходимого для испытаний образца;

- отработать количественный состав и номенклатуру средств обеспечения испытаний (натурных, имитационных) необходимых для проведения работ по оценке ГТХ и боевых возможностей РЛС на объекте дислокации;

- проводить отработку различных схем построения объектового комплексного испытательного моделирующего стенда (КИМС-У), отрабатывать рациональный состав модулей имитирующей модели (ИМ) и интерфейс информационного обмена с ФПО изделия;

- осуществлять начальную калибровку (по контрольным сигналам и тестам) отдельных составных частей ИМ в составе КИМС-У по данным функционирования базового функционального комплекта (БФКОМ) под управлением штатного ФПО;

- существенно повысить уровень обученности обслуживающего персонала как со стороны кооперации-разработчиков, так и со стороны военнослужащих занятых в эксплуатации вооружения;

- выявить основной объем технологических, конструктивных и программно-алгоритмических недостатков в функционировании



радиоэлектронных комплексов (РЭК) под управлением штатного ФПО;

- отработать оптимальные режимы эксплуатации отдельных систем и устройств РЛС;

- провести отработку по номенклатуре и содержанию рабочей конструкторской документации, необходимой для эксплуатации РЛС;

- получить экспериментальные данные, позволяющие провести прогнозирования реально-достижимых ТТХ в различных сценариях целевой и помеховой обстановки;

- отладить и в случае необходимости провести корректировку протокола информационного обмена изделия с КП (ЗКП) СПРН;

- разработать предложения по развитию и совершенствованию опытно-экспериментальной базы предприятий-разработчиков РЛС;

- провести оптимизацию трудовых ресурсов, необходимых для качественной сборки и отладки РЛС на объекте, предъявить требования к составу, квалификации и уровню обученности специалистов из состава бригад промышленности;

- с учетом статистических данных по надежности функционирования РЭК и реализованных требований к ремонтпригодности определить набор запасных инструментов, приборов и материалов (ЗИП), придаваемых каждому изделию, либо ремонтному органу на группу изделий;

- отработать вопросы эргономики и дизайна РЛС путем создания оптимальной системы «РЛС – пользователь – среда».

Эффективность функционирования стенда главного конструктора определяется сокращением сроков и стоимости этапов ОКР, связанных с монтажно-настроечными и испытательными работами на объектах дислокации РЛС. Прогнозное значение годового экономического эффекта от внедрения опытно-экспериментального комплекса составляет от 400 до 500 млн. руб., что свидетельствует о целесообразности данного решения.

### 3. Основное содержание работ этапов разработки и производства РЛС ДО

Жизненный цикл РЛС ДО включает этапы разработки, производства, развертывания и испытаний, эксплуатации, модернизации или утилизации. Содержание работ на каждом из этапов определяется многими факторами разной физической природы.

Этап разработки РЛС ДО характеризуется:

- уровнем финансирования ОКР по созданию образца;
- наличием опыта разработки аналогичных радиолокационных средств;
- материально-технической базой, включающей оснащение вычислительной техникой, материальное обеспечение экспериментов и макетирования;
- наличие исходных данных оперативно тактического и технического уровня;
- наличие комплекса математических моделей для оценки как отдельных характеристик, так изделия в целом;
- условиями труда и уровнем оплаты труда разработчиков.

Радиотехническое производства для радиолокационных средств (радиолокационных станций, радиолокационных комплексов) отличается многообразием и сложностью составных частей (СЧ), включающих большое количество РЭЖ, систем и устройств, программное обеспечение, широкой номенклатурой используемых материалов, разнообразием технологических процессов, большим объемом сборочно-регулируемых, монтажно-настроечных и контрольно-испытательных работ.

Этап производства характеризуется:

- уровнем финансирования производства;
- технологической структуры производства – материально-производственной базой, ориентированной на производство радиолокационных средства данного назначения;
- необходимостью в дополнительном оборудовании и в специальной оснастке;

- производственной кооперации;
- стендовой и контрольно-испытательной базой;
- трафиком доставки составных частей, комплектующих изделий и материалов;
- условиями установки, монтажа, наладки, проведение стыковочных работ и сдачи по техническим условиям РЭК;
- условиями проведения различных видов проверок и испытаний;
- условиями транспортировки, погрузки-разгрузки, хранения составных частей, качеством тары;
- качеством рабочих мест и уровнем оплаты труда коллектива исполнителей.

В сложных технико-экономических условиях современного радиотехнического производства решение проблемы качества РЛС ДО возможно лишь на основе системного комплексного подхода к планированию организации и управления проектно-конструкторскими работами, технологического обеспечения процессов сборки, контроля, испытаний и эксплуатации отдельных составных частей и изделия в целом.

Качество РЭК характеризуется соответствием его параметров ТУ. Для нормального функционирования РЭК необходимо, чтобы параметры всех его устройств (сборочных единиц) так же соответствовали ТУ. Это можно достигнуть регулировкой (настройкой) каждого устройства в отдельности и РЭК в целом [6].

#### **4. Метод сокращения сроков и стоимости создания РЛС ДО. Стенд главного конструктора**

В соответствии с нормативными документами, принятыми при разработке образцов военной техники (ВВТ) формализация структуры создаваемого образца производится в виде схемы деления, т.е. определяется его конструктивная структура, обеспечивающая достижение требуемых ТТХ.

При конструировании РЛС ДО на основе декомпозиции тактико-технических требований, можно определить номенклатуру функциональных задач, решаемых РЛС и определить перечень функциональных систем (ФС), обеспечивающих их решение, т.е. провести конструктивно-функциональное деление РЛС ДО.

Двумерное конструктивно-функциональное деление РЛС ДО в отличие от одномерного конструктивного деления может быть формализовано в виде функционально-технологической матрицы. По одной координате данной матрицы расположены конструктивные элементы РЛС ДО, а по другой – ФС, т.е. функционально законченная совокупность конструктивных составных частей (включая ФПО), обеспечивающих решение РЛС задач по назначению. При выборе структуры РЛС ДО по функциональному признаку в виде совокупности решаемых задач, становится возможным провести декомпозицию процесса пуско-наладки по функциональному признаку (рисунок 1). Процесс пуско-наладки РЛС может быть представлен в виде совокупности процессов пуско-наладки ФС: приемника (приемная ФС), передатчика (передающая ФС), системы управления (ФС управления) и т.д. При этом процесс пуско-наладки каждой ФС во времени может быть разделен на две части:

- работы, не требующие наличия РЛС ДО в штатной комплектации и которые могут быть проведены до сборки изделия на объекте дислокации;
- работы, требующие наличия РЛС ДО в штатной комплектации и которые могут быть проведены только после сборки изделия на объекте дислокации.

Важно что работы, не требующие наличия РЛС ДО в штатном составе, могут проводиться до её отправки на объект дислокации, параллельно с этапом серийного изготовления отработанных ФС. Условиями для выполнения таких работ являются наличие опытных образцов ФС и методического обеспечения проведения данных работ.

Традиционным способом проведения подобных работ является использование стендовой базы (специализированных стендов). Эффективность применения стендов снижается с увеличением уровня разукрупнения в

конструктивном делении РЛС. Задача организации ПНР РЛС ДО создаваемых на основе технологий ВЗГ при ее декомпозиции по функциональному признаку решается с применением принципиально другого подхода к понятию стендовой базы. В этом случае для РЛС ДО изменяется функционально-технологическая матрица, состава средств, необходимых для проведения пуско-наладки каждой ФС.

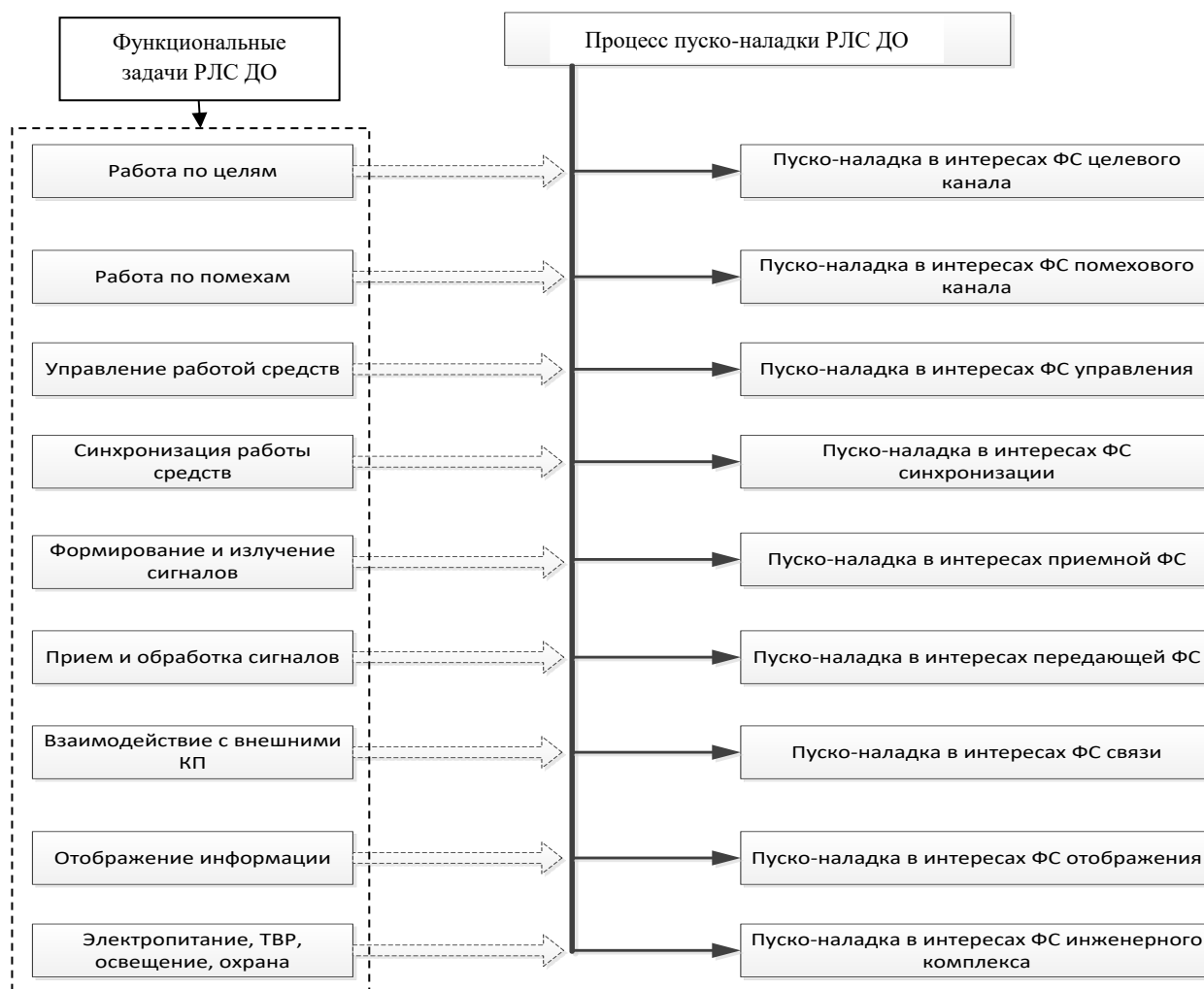


Рисунок 1 – Декомпозиция процесса пуско-наладки РЛС ДО по функциональному признаку

Поэтому на этапе проектирования РЛС должно быть определено не только конструктивно-функциональное деление, формализованное в виде конструктивно-технологической матрицы, но и предъявлены и реализованы

требования к функциональной законченности её и конструктивных элементов и конструктивной законченности функциональных элементов [1]. Под функциональной законченностью понимается возможность работы (выполнения функциональных задач) конструктивного элемента РЛС ДО без использования других конструктивных элементов. Под конструктивной законченностью узла РЛС ДО понимается отсутствие необходимости проведения сборочных работ узла после его изготовления (за исключением работ по консервации).

Радиоэлектронный комплекс (РЭК) РЛС ДО контейнерного исполнения будет являться функционально законченным, если он способен выполнять функциональные задачи без подключения других радиоэлектронных комплексов в качестве источников внешних сигналов и информации. Это позволяет проводить настройку и проверки РЭК с использованием только парка контрольно-измерительных приборов (при необходимости), что в свою очередь делает возможным проводить работы с различными радиоэлектронными комплексами независимо друг от друга, сокращая, таким образом, суммарное время работ по отработке и проверкам за счет их параллельного проведения.

Радиоэлектронный комплекс РЛС ДО будет являться конструктивно законченным, в случае если операции по его сборке, настройке и сдаче по ТУ проводятся на производственно-испытательной базе предприятия-изготовителя, а при отправке его на объект проводятся только консервация. Это гарантирует, что собранный и функционально проверенный РЭК при доставке на объект дислокации будет иметь такие же функциональные характеристики, что и на предприятии-изготовителе. Это позволяет отказаться от настройки и сложных проверок функциональной работы РЭК на объекте дислокации, ограничившись лишь простыми проверками типа включения по электропитанию и контроля целостности сборки. При этом сокращается время, трудоемкость и стоимость работ по развертыванию радиоэлектронных РЛС ДО на объекте дислокации.

На основе сказанного приходим к следующим понятиям.

Базовым функциональным комплектом РЛС ДО, создаваемой на основе

технологий ВЗГ называется, минимально необходимый состав соединенных между собой функционально законченных штатных РЭК и программного обеспечения, который позволяет проводить комплексную настройку, регулировку, контроль параметров и испытания (по согласованному перечню характеристик) как отдельных составных частей, так и изделия в целом.

Стенд главного конструктора (СГК) – состоит из базового функционального комплекта РЛС и оборудования, обеспечивающего проведение производственно – испытательных видов работ (рисунок 2).

Стенд главного конструктора разворачивается на производственной площадке головного разработчика РЛС, где обеспечены условия для выполнения работ по сборке, монтажу, настройке, регулировке, контролю параметров и испытаниям как отдельных РЭК, так и образцов в комплектации БФКОМ (ФЗК - функционально законченный комплект для РЛС ВЗГ дециметрового диапазона).

СГК может использоваться для:

- проведения ПНР ФС как части ПНР РЛС ДО в целом;
- отработки и определения правильности принятых при создании РЛС ДО конструктивных технологических и программно- алгоритмических решений;
- набора статистики по надежности отдельных ФС;
- обучения персонала разработчика РЛС и эксплуатирующих организаций навыкам технического обслуживания ФС;
- отработка конструкторской, технологической, программной, эксплуатационной и ремонтной документации;
- проведение различных видов лабораторно-стендовых испытаний ФС.

Создание СГК позволяет организовать частично параллельное выполнение ПНР на опытных образцах ФС и работ по серийному изготовлению отработанных ФС. При частично параллельном выполнении работ суммарное время исполнения этапов изготовления и ПНР снижается по сравнению с суммой времен исполнения каждого этапа отдельно при их последовательном

исполнении, т.е.  $t_{u+ппр} < t_u + t_{ппр}$ , где  $t_{u+ппр}$  – суммарное время выполнения этапов изготовления и ПНР.

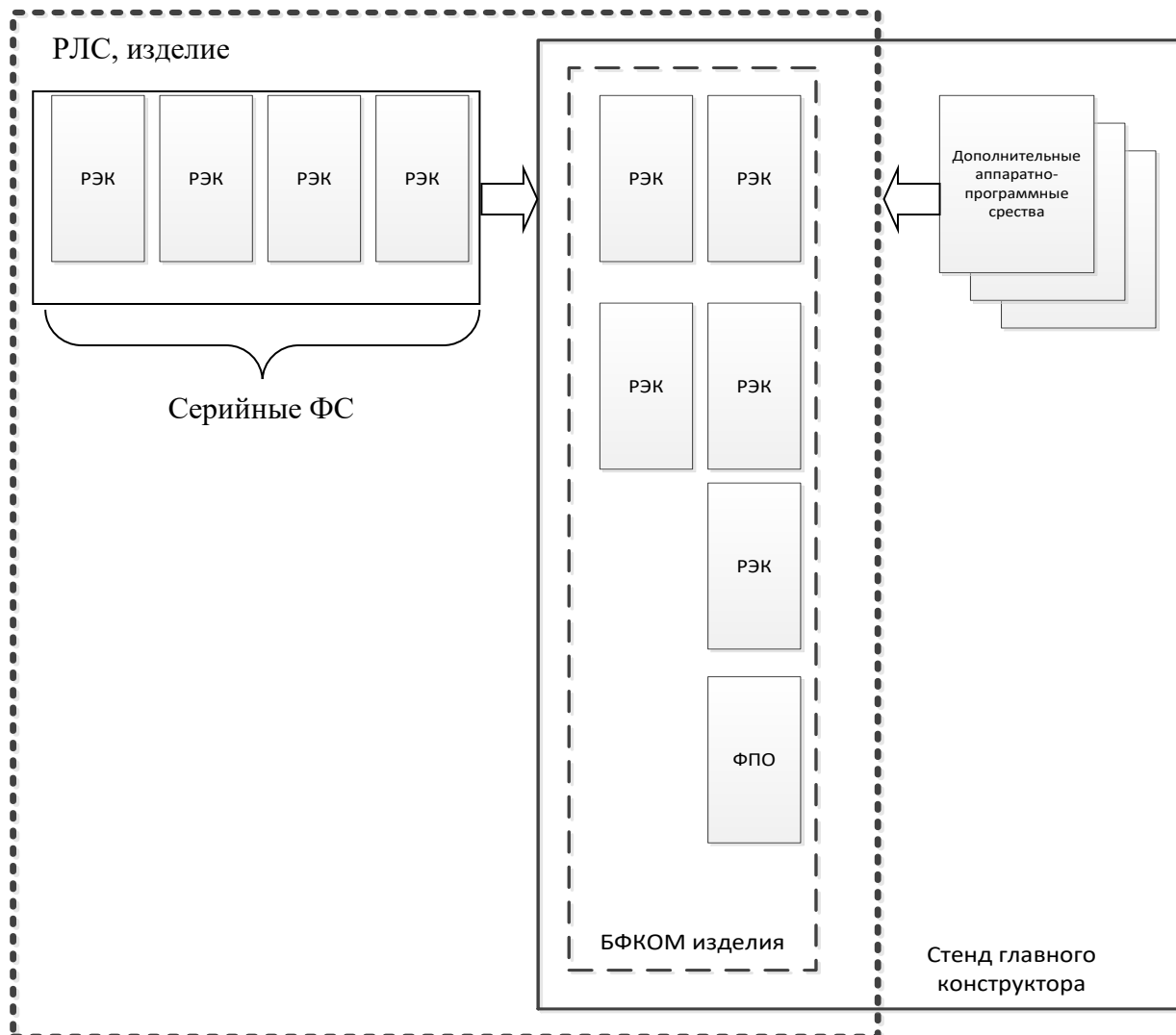


Рисунок 2– Структура стенда главного конструктора для создания РЛС ДО

Блок-схема алгоритма выполнения работ по изготовлению и пуско-наладке при последовательном и частично параллельном выполнении работ показана на рисунке 3.

По окончании работ на БФКОМ используемые в нем РЭК отправляются на объект дислокации и далее функционируют в составе РЛС ДО, а СГК применяется для отработки БФКОМ другой образца.



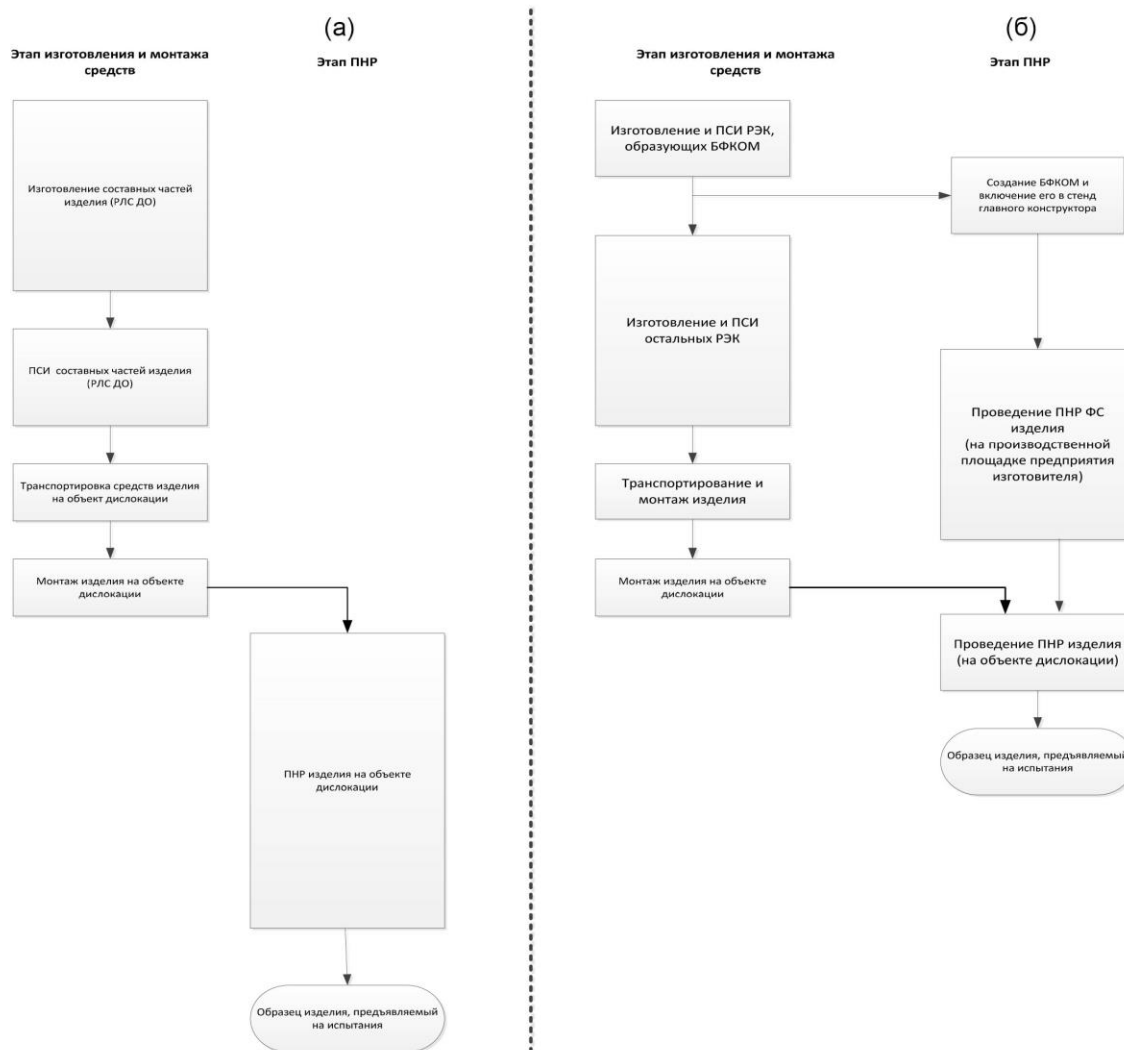


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма работ на этапах изготовления и ПНР при создании РЛС ДО: (а) при последовательном выполнении работ; (б) при частично параллельном выполнении работ

## 5. Анализ видов и этапов испытаний, проводимых на стенде главного конструктора

Испытания являются важным заключительным этапом разработки и производства аппаратуры (РЭК, систем, устройств) и предназначены для проверки устройств на соответствие предъявляемым к нему требованиям. Вид и характер испытаний зависит от стадии разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Под испытаниями на стенде ГК понимается комплекс контрольно-проверочных работ, связанных с выявлением отдельных характеристик

испытываемой аппаратуры, ее узлов и блоков, которые включают проверку соответствия РЭА техническому заданию и конструкторской документации, работоспособность аппаратуры и программного обеспечения в различных режимах функционирования образца, испытания на электромагнитную совместимость и др. Испытания проводимые на стенде ГК являются одним из элементов процесса контроля с целью определения технических показателей РЭК (систем и устройств РЭА), входящих в состав БФКОМ. К этим показателям относятся различные технические параметры: надежность, безотказность, долговечность, ремонтнопригодность, сохраняемость, безопасность и др. Для проведения испытаний РЭА и РЭК применяются стандартное и нестандартное испытательное и измерительное оборудование.

На стадии разработки и производства СГК позволяет проводить стендовые и приемочные испытания отдельных ФК и составных частей РЛС ДО.

Стендовые испытания проводятся в специально оборудованных помещениях (цех, лаборатория) по всем параметрам согласно ТУ с помощью комплексов и стендов, имитирующих воздействие различных факторов, близких к условиям функционального применения в различных режимах. При этом уточняют правильность примененных технологических, аппаратурных и программно-алгоритмических решений, конструктивное исполнение отдельных систем и устройств, характеристики комплектующих элементов и материалов, обнаруживают конструктивные дефекты, проверяют характеристики, регулировку и настройку аппаратуры.

Цель конструкторских испытаний заключается в проверке соответствия технологической аппаратуры (ТА) техническому заданию и технической документации. Конструкторские испытания на СГК организует и проводит разработчик РЛС ДО в условиях, близких к эксплуатационным. По результатам конструкторских испытаний принимается решение о возможности отправки изделия в сдаточной комплектации на объект дислокации, для проведения стыковочных и настроечных работ на заранее подготовленной технической позиции или не разрешение на массовое производство отдельных РЭК, систем,

устройств соответствующих ТЗ, нормативным документам, технической документации.

На станции серийного производства РЭК, систем и устройств они подвергаются приемо-сдаточным испытаниям по специально составленной программе или ТУ. Для контроля качества РЭА при изготовлении проводят типовые или периодические испытания.

Для отработки правильности функционирования ТА с программным обеспечением в составе SGK применяют комплексный испытательный моделирующий стенд (КИМС), который позволяет получать предварительные (прогнозные) оценки основных ТТХ РЛС ДО.

## **6. Эффективность разработанного метода (применения SGK)**

В настоящее время успешно реализованы в различных регионах Российской Федерации проекты создания порядка десятка различных РЛС ДО с использованием технологий ВЗГ. Применение SGK, как основы разработанного метода, для проведения ПНР ФС РЛС ДО повышает эффективность отработки технических решений на средствах изделия разного уровня разукрупнения (рисунок 4).

Применения SGK при создании ряда объектов на базе РЛС ВЗГ различных типов и модификаций позволило:

1. Сократить сроки проведения монтажно-настроечных и испытательных работ на объектах дислокации РЛС в 2-3 раза.
2. Сохранить стоимость цикла объектовых работ в 1,5-2 раза.
3. Снизить риск заказчика по выполнению директивных сроков создания РЛС ДО с требуемыми ТТХ. Повысить обоснованность и достоверность решений принимаемых заказчиком при мониторинге ОКР.

С внедрением и освоением технологий ВЗГ существенно повысилась эффективность функционирования опытно-экспериментального комплекса (ОЭК) в Центре комплексной стыковки и испытаний (ЦКСИ) РЛС ДО.

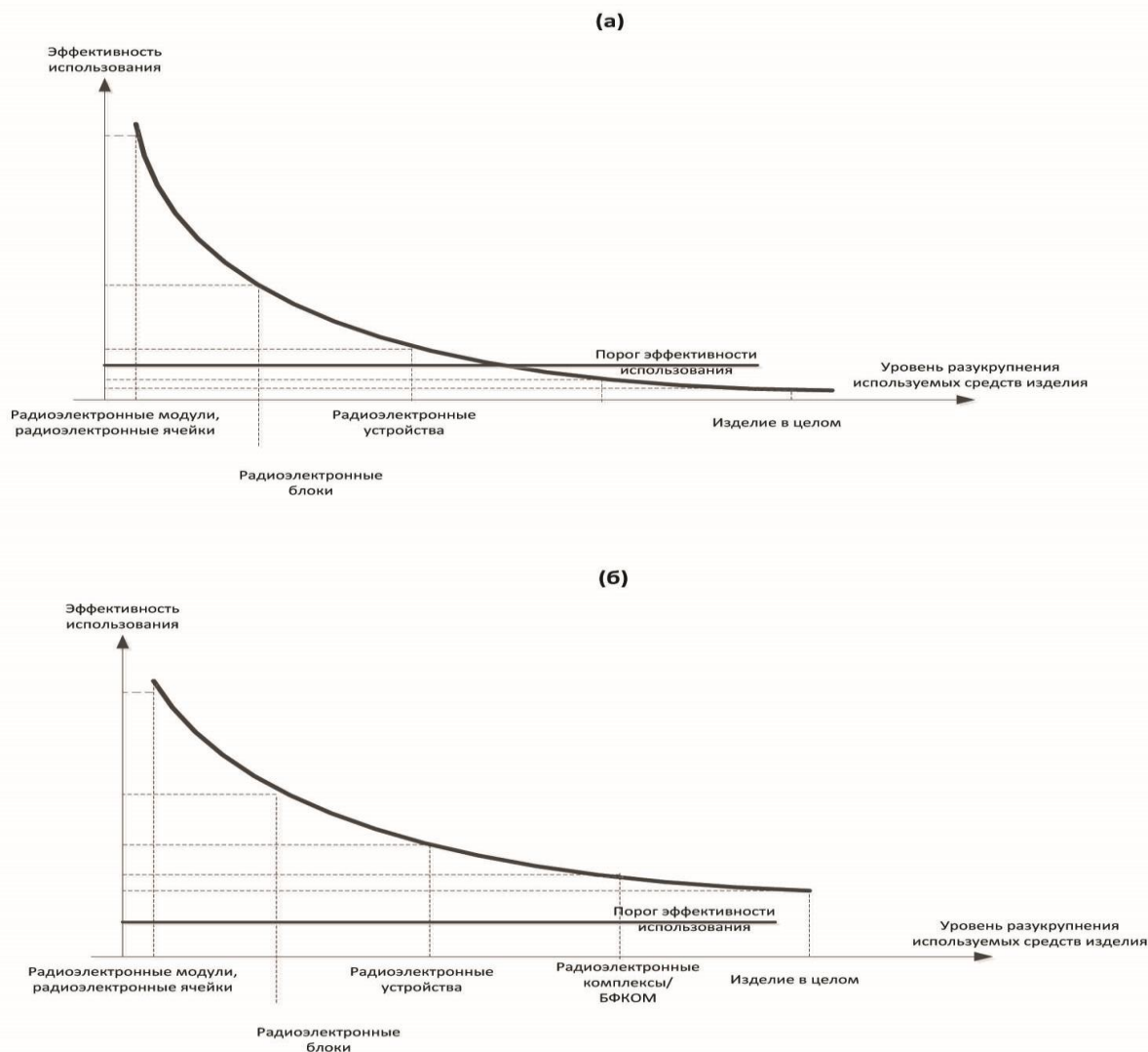


Рисунок 4 – Эффективность использования стендов различного уровня при создании РЛС ДО: (а) стенды для отработки отдельных технических решений; (б) стенд главного конструктора для проведения комплексных работ

Среднее значение годового экономического эффекта от применения СГК в зависимости от типа РЛС ДО составляет от 400 до 700 млн. руб., что свидетельствует об экономической целесообразности данного метода.

## Заключение

1. Важной особенностью жизненного цикла РЛС ДО, создаваемых на основе технологий ВЗГ, является наличие этапа сборки, стыковки, отработки,

настройки и испытаний в составе базового функционального комплекта, собранного по принципу «антенна-ЭВМ» и состоящего из функционального комплекса частотнозависимой части и унифицированного функционального комплекса частотнонезависимой части.

2. Разработан метод сокращения сроков и стоимости создания РЛС ДО на объекте дислокации за счёт проведения значительного объема пуско-наладочных, монтажно-настроечных и испытательных работ на стенде главного конструктора, который состоит из БФКОМ и оборудования, обеспечивающего проведение производственно–испытательных работ.

3. В рамках разработанного метода обоснованы состав и структура стенда главного конструктора для РЛС ДО. Пользователями стенда являются специалисты кооперации по созданию РЛС ДО и заказчика (НИУ, ВП).

4. Реализация разработанного метода позволяет сократить сроки и стоимость проведения монтажно-настроечных и испытательных работ на объектах дислокации РЛС, снизить риск заказчика по выполнению ГПВ (созданию РЛС с требуемыми ТТХ в условиях ресурсно-временных ограничений).

Часть работы выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ НШ-6831.2016.8).

### **Литература**

1. Мощные надгоризонтных РЛС дальнего обнаружения: разработка, испытания, функционирование. Под ред. С.Ф. Боева. М.: Радиотехника, 2013. 168 с.

2. Боев С.Ф., Слока В.К., Рахманов А.А. Система модульно-параметрического проектирования радиолокационных станций дальнего обнаружения нового поколения ОАО «РТИ». / История отечественной радиолокации: под ред. С.В. Хохлова. М.: Столичная энциклопедия, 2015. С.407-414.

3. Barton D.K., Leonov S.A. Radar technology encyclopedia. Boston, Artech House, 1997. 511 p.

4. Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Советское радио, 1971. 367 с.

5. Вейцман Э.В., Венбрин В.Д. Технологическая подготовка производства радиоэлектронной аппаратуры. М.: Радио и связь, 1989. 128 с.

**Ссылка на статью:**

С. Ф. Боев, А. П. Линкевичиус, А. С. Логовский, С. В. Якубовский. О возможности снижения сроков и стоимости создания РЛС ДО с использованием стенда главного конструктора. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2017. №9. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/sep17/10/text.pdf>