

УДК 621.3.019.3

Г.И. ДУЛЬСКИЙ,
В.Ю. МОРОЗОВ, кандидат
технических наук
С.В. СТАРОСТИН,
С.С. ФРАНЦУЗОВ, кандидат
технических наук

МЕТОДОЛОГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ АППАРАТУРЫ, ВОЕННОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ: ВЧЕРА И СЕГОДНЯ

В статье приведена история становления и развития отечественной методологии обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры, качества изготовления и надежности электронной компонентной базы военного назначения.

***Ключевые слова:** качество; надежность; радиоэлектронная аппаратура; электронная компонентная база; методология оценки надежности; оценка уровня качества изготовления; подконтрольная эксплуатация; анализ отказов.*

Методология нормирования и контроля качества и надежности

Разработка и постоянное совершенствование методологии обеспечения надёжности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) военного назначения, качества и надёжности комплектующей её электронной компонентной базы (ЭКБ) всегда были и остаются одним из главных направлений исследований в профильных научно-исследовательских организациях (НИО) Минобороны России.

Исторически сложилось так, что и за рубежом, и в СССР работы по прикладным проблемам качества и надёжности радиотехники (в особенности военной) опережали аналогичные исследования по другим видам техники. Они велись как в НИО Минобороны России, так и в НИИ и КБ оборонных отраслей промышленности и осуществлялись, как правило, в рамках новых разработок, то есть применительно к вновь разрабатываемым или модернизируемым типам аппаратуры [1].

Научно-методическим и организационным центром развития теории и практики обеспечения надёжности РЭА, качества и надежности комплектующей её ЭКБ одним из первых в стране стал 22 Центральный научно-исследовательский испытательный институт (22 ЦНИИИ)

Минобороны СССР. Для решения поставленных перед институтом задач проводились работы по следующим научным направлениям:

- нормирование и контроль надёжности РЭА;
- организация и проведение подконтрольной эксплуатации РЭА в войсковых условиях, сбор и анализ информации о надёжности РЭА и ЭКБ в ходе проведения подконтрольной эксплуатации;
- проведение анализа отказов конкретных образцов РЭА и комплекующей её ЭКБ;
- оценка правильности выбора номенклатуры и проверка режимов работы ЭКБ в РЭА с целью предупреждения отказов при испытаниях и эксплуатации в составе образцов ВВСТ;
- информационное обеспечение задач прогнозирования надёжности РЭА по данным об интенсивности отказов ЭКБ (с обработкой периодически обновляемых справочников по надёжности электрорадиоизделий);
- формирование методологии оценки показателей достаточности и расчёта оптимальных запасов в комплектах ЗИП для РЭА;
- оценка технического состояния эксплуатируемой РЭА с целью определения возможности продления сроков её эксплуатации в составе образцов ВВСТ;
- оценка уровня качества изготовления ЭКБ;
- подготовка и проведение заседаний межведомственных экспертных советов, на которых регулярно рассматривались актуальные вопросы по проблемам обеспечения надёжности и анализа отказов РЭА и ЭКБ.

Нормирование требований и контроль их выполнения занимает важнейшее место в процессе обеспечения надёжности РЭА.

Первой этапной вехой в истории стандартизации нормирования и контроля надёжности РЭА была Нормаль ред.1-62, из комплекса государственных военных стандартов (КГВС) «Мороз-2», созданных в период 1960-1962 гг. [2].

В Нормали на уровне знаний того периода были обозначены почти все аспекты проблемы нормирования и контроля надёжности РЭА, в чем и состояла её историческая заслуга.

Вместе с тем опыт использования Нормали вскоре показал, что область применения регламентированных в ней методик ограничена по числу оцениваемых свойств надёжности, по уровню сложности испытываемых объектов, а также по количеству стандартизованных

планов статистического контроля и циклограмм лабораторных испытаний на безотказность.

Эти обстоятельства и привели в 1973-1976 гг. к необходимости переработки и «расширения» Нормали.

Изданные в 1977 году ГОСТы в составе КГВС «Мороз-5» знаменовали собой переход ко второму периоду в развитии нормирования и контроля надёжности РЭА.

По структуре и содержанию данные стандарты существенно отличались от Нормали, прежде всего тем, что это были уже отдельные стандарты, регламентирующие все четыре составляющих надёжность свойства – безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость, причем основные требования и рекомендации по оценке каждого из них излагались в самостоятельных разделах.

Развернутые в стандартах положения начинались с принципиально важного подразделения общих методов оценки показателей надёжности на экспериментальные, расчетно-экспериментальные, расчетные и указания предпочтительной области применения каждого из них.

Дальнейшее совершенствование методологии оценки и контроля надёжности РЭА обуславливалось совершенствованием ТТХ образцов ВВСТ, появлением новых видов радиоэлектронных средств вооружения, создаваемых на основе модульного и функционально-модульного принципов, конструирования и современных полупроводниковых технологий. Одновременно с этим росла сложность и функциональная насыщенность радиоэлектронных средств вооружения.

С учётом этих обстоятельств в 1998 году были изданы стандарты КГВС «Мороз-6», особенностями которых являлись:

усовершенствованная методология прогноза уровня надёжности ЭКБ в РЭА на этапах проектирования на основе единых справочников по надёжности изделий и разработанных аналитических и статистических моделей расчёта показателей надёжности РЭА с учётом эксплуатационных факторов;

расчётно-экспериментальные методы оценки надёжности РЭА;

методы ускоренных испытаний на надёжность, позволившие сократить объём испытаний в 20-30 раз и унифицированные методы статистического контроля показателей надёжности РЭА.

На основе изложенных методических положений был разработан комплект типовых методик ускоренных испытаний на безотказность, долговечность и сохраняемость.

В соответствии с концепцией построения КГВС «Мороз-6» типовые методики ускоренных испытаний на безотказность, ремонтпригодность, долговечность и сохраняемость РЭА и оценки показателей безотказности и ремонтпригодности расчётно-экспериментальными методами изложены в руководящих документах второго уровня, обеспечивающих методическую поддержку ГОСТов.

Дальнейшее совершенствование методологии оценки и контроля надёжности РЭА было возложено на 46 Центральный научно-исследовательский институт (46 ЦНИИ) Минобороны России и обусловливалось необходимостью расширения состава требований к надёжности аппаратуры и уточнения порядка их нормирования, а также к системам технического обслуживания и комплектам ЗИП с учётом условий и режимов эксплуатации и боевого применения современных и перспективных образцов ВВСТ. Принимая во внимание эти обстоятельства в период 2011-2015 гг. 46 ЦНИИ была выполнена НИР, по результатам которой разработан новый КГВС «Мороз-7», принятый и введенный в действие в 2019 году. При подготовке этих стандартов:

оптимизированы существующие и разработаны новые методы оценки соответствия аппаратуры современных и перспективных образцов ВВСТ заданным уровням требований к надёжности на основе обобщения опыта применения КГВС «Мороз-6» в Минобороны России, предприятиями промышленности и результатов проведения военно-технической экспертизы по надёжности;

положения руководящих документов второго уровня, развивающих положения отдельных стандартов КГВС «Мороз-6» и обеспечивающих внедрение требований и методов испытаний РЭА на надёжность, доработаны и включены в отдельные стандарты КГВС «Мороз-7».

В настоящее время проводится активное внедрение стандартов КГВС «Мороз-7» в деятельность органов военного управления, военных представительств, НИО Минобороны России и организаций оборонно-промышленного комплекса.

Сбор данных о надежности РЭА и ЭКБ

С целью получения информации о фактической надёжности РЭА и комплектующей ее ЭКБ 22 ЦНИИИ в 1958-1959 гг. была разработана система сбора информации о надёжности РЭА и ЭКБ из сферы эксплуатации. Эта система удовлетворяла требованиям полноты, достоверности, своевременности и непрерывности поступления информации о надёжности РЭА и ЭКБ.

Для дальнейшего повышения эффективности работ по обеспечению надёжности на стадиях разработки, производства и эксплуатации РЭА и ЭКБ 22 ЦНИИИ совместно с НИО видов и родов войск Минобороны СССР и организациями промышленности был разработан межведомственный нормативный документ «Руководство по системе сбора, обработки и прохождения информации о надёжности аппаратуры и её комплектующих изделий», содержащий требования к единой структуре, составу и алгоритмам функционирования системы.

Данная система сбора информации была направлена на обеспечение оперативной разработки и реализации в промышленности эффективных мер по повышению надёжности аппаратуры и электрорадиоизделий, а также на поддержание их эксплуатационной надёжности на уровне не ниже требований технических условий.

Оценка качества изготовления ЭКБ

С целью получения информации о качестве и надёжности изготовления ЭКБ 22 ЦНИИИ в период 1978-1982 гг. была разработана и действует по настоящее время первая в Минобороны СССР и в стране система сбора информации о качестве ЭКБ со стадий разработки, производства и эксплуатации. Облик системы впервые был изложен в ОСТ В 11 091.478-92¹.

В настоящее время порядок проведения работ по оценке уровня качества изготовления изделий ЭКБ регламентируется РД 11 20.0010-92² разработанным в начале 1990-х гг.

¹ ОСТ В 11 091.478-92. Отраслевой стандарт. Система управления качеством продукции. Оценка уровня качества изготовления изделий электронной техники. Л.: ВНИИИ «Электронстандарт», 1982. – 52 с.

² РД 11 20.0010-92. Руководящий документ. Система управления качеством. Оценка уровня качества изготовления изделий электронной техники. Мытищи: 22 ЦНИИИ Минобороны России, 1992.

Источником информации о качестве ЭКБ является карта унифицированная анализа качества и надежности (форма 22-90).

Обработка поступающих от предприятий-изготовителей форм 22-90 проводится на основе программного обеспечения, разработанного 46 ЦНИИ.

Для совершенствования действующей системы сбора и анализа данных о качестве и надежности ЭКБ 46 ЦНИИ ведется разработка нового нормативного документа, предусматривающего автоматизированный сбор, обобщение и обработку данных о качестве ЭКБ.

Разрабатываемый нормативный документ предусматривает получение более полной информации о качестве и надежности ЭКБ за счет увеличения количества критериев оценки с действующих двух до пяти, с одновременным переносом акцентов с контроля готовой продукции на контроль процесса её производства.

Исследования по повышению надежности РЭА и ЭКБ

Исследования надёжности в условиях эксплуатации РЭА и ЭКБ с целью оценки заданных в ТТЗ показателей надёжности и дальнейшего её повышения начали проводиться 22 ЦНИИИ с 1955 года. Широкое использование при исследовании эксплуатационной надёжности РЭА и ЭКБ получил метод подконтрольной эксплуатации, при котором на определённое календарное время под дополнительный контроль ставится заданное количество образцов аппаратуры данного типа, эксплуатируемых в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

В результате проведенной работы было выявлено и устранено большое количество недостатков схемно-технических решений, производственно-технологических дефектов, нарушения рабочих режимов ЭКБ, что обеспечило увеличение средней наработки на отказ этого парка аппаратуры в 2-3 раза.

Обработка информации о надёжности ЭКБ при эксплуатации и испытаниях обследованных типов аппаратуры позволила впервые получить эмпирические и аналитические зависимости интенсивности отказов изделий от механических и климатических факторов, электрических режимов работы для их использования при разработке редакций справочника «Надёжность электрорадиоизделий».

Результаты исследований надежности ЭКБ методом подконтрольной эксплуатации РЭА вплоть до середины 1980-х гг. оставались одним из основных источников информации об эксплуатационной надёжности ЭКБ, метод широко применялся всеми НИО Минобороны СССР [3].

Эффективность метода подконтрольной эксплуатации, основанного на исследовании статистических закономерностей возникновения отказов с применением методов анализа и измерений электрических и температурных режимов работы ЭКБ в аппаратуре, стала снижаться в связи с поступлением на вооружение образцов радиоэлектронных средств, аппаратура которых построена на модульном принципе конструирования с широким применением изделий микроэлектроники с качественно новыми схемотехническими и конструктивными решениями и технологическим исполнением сменных модулей.

Всё это привело к необходимости разработки новой методологии исследования надёжности РЭА и ЭКБ, основанной не только на вероятностно-статическом подходе, но и на изучении физической природы отказов на базе широкого внедрения физико-технических методов анализа отказов, математического и физического моделирования.

Новая методология рационально сочетала статистические и физические подходы к мониторингу показателей надёжности, анализу отказов и установлению истинных причин их возникновения с использованием высокоточного аналитического оборудования для электрофизического и физико-технического исследования механизмов отказов сменных электронных модулей и изделий микроэлектроники [4].

22 ЦНИИИ были выполнены комплексные научно-исследовательские работы по исследованию надёжности и анализу отказов важнейших типов РЭА в условиях эксплуатации методом подконтрольной эксплуатации и на стадиях разработки и освоения в серийном производстве с участием НИО Минобороны России и головных организаций оборонных отраслей промышленности.

Использование методов и средств оптической микроскопии, рентгеновского теневого анализа, контроля газового состава подкорпусного объёма микросхем, растровой электронной микроскопии, рентгеновского спектрального микроанализа, оптической микроскопии и химического анализа позволило 22 ЦНИИИ с высокой достоверностью и точностью устанавливать причины и механизмы отказов ЭКБ, которые на предприятиях промышленности выявить не представлялось возможным.

В результате проведенных анализов отказов физико-техническими методами показатели безотказности обследованных типов аппаратуры повысились в 1,3-3 раза.

В обеспечение работ по анализу отказов разработано 15 руководящих документов по методам анализа с использованием средств электронной микроскопии и физико-технических исследований. С использованием разработанных методических и руководящих документов рабочими группами под руководством специалистов 22 ЦНИИИ проведен оперативный анализ отказов РЭА на стадиях её разработки, производства и эксплуатации, а также ЭКБ, комплектующих эту аппаратуру. Оперативный анализ проводился по заявкам Главного управления ракетного вооружения, Главного ракетно-артиллерийского управления, Главного управления вооружения ПВО, 5 Управления ВВС, Управления ракетно-артиллерийского вооружения ВМФ, Главного управления кораблестроения ВМФ, Главного управления космических средств, Начальника связи Вооруженных Сил РФ.

В процессе анализа проведены физико-технические исследования и установлены причины отказов СВЧ целого ряда приборов и интегральных микросхем.

В результате реализации рекомендаций по устранению причин отказов перечисленных типов и серий ЭКБ были внесены изменения в конструкторскую и технологическую документацию, проведены доработки изделий [5].

Эффективность работ по анализу отказов важнейших типов РЭА образцов ВВСТ характеризовалась сокращением количества схемно-конструктивных отказов в 4 раза, производственно-технологических – в 1,7 раза и отказов ЭКБ в 5-10 раз. При этом, как правило, отказы по выявленным и устранённым причинам не повторялись.

Заключения по результатам анализа отказов РЭА образцов ВВСТ и ЭКБ при возникновении конфликтных ситуаций между разработчиками (изготовителями) РЭА и комплектующих изделий, которые носят окончательный характер, представлялись в Комиссию президиума Совета Министров СССР по военно-промышленным вопросам, заместителю начальника вооружения по радиоэлектронике и метрологии, направлялись в заказывающие управления, генеральным и главным конструкторам образцов вооружения, организациям разработчикам и

изготовителям комплексов, систем, аппаратуры и комплектующих изделий и военным представительствам в этих организациях.

За научную, практическую значимость и эффективность работ по оперативному анализу причин отказов радиоэлектронных средств вооружения и электрорадиоизделий коллективу сотрудников 22 ЦНИИИ в 1997 году была присуждена Государственная премия РФ в области науки и техники.

Разработка информационно-методических документов о надёжности ЭКБ

На основе исследований надёжности ЭКБ в условиях эксплуатации, начиная с 1958 года, 22 ЦНИИИ выпускался специальный Бюллетень³. Первые выпуски Бюллетеня содержали данные о нескольких сотнях типов ЭКБ, применяемых в 3-х классах военной радиоэлектронной аппаратуры: морской, наземной стационарной и наземной подвижной.

В дальнейшем, с использованием результатов опытной и подконтрольной эксплуатации и данных, полученных на основе разработанной системы сбора информации о надёжности РЭА и ЭКБ из сферы эксплуатации, материалы Бюллетеней значительно расширились как по числу представляемой номенклатуры ЭКБ, так и по составу аппаратуры по классам и количеству образцов внутри каждого класса. Аналогичная работа проводилась и в других ведомствах, где выпускались отраслевые документы (бюллетени, справочники), содержащие информацию по надёжности выпускаемых отраслью изделий, применяемых в разрабатываемой аппаратуре. Часто информация из этих документов была весьма неполной и противоречивой. Это обстоятельство вызвало необходимость создания единого документа по надёжности под руководством Минобороны СССР.

В 1970 году на основе Бюллетеней и имеющихся данных о надёжности ЭКБ, выпускаемых и испытываемых на заводах-изготовителях электронной промышленности, был разработан единый документ – «Справочник по надёжности изделий электронной техники» (совместно с ВНИИ «Электронстандарт»). В дальнейшем, в соответствии с сов-

³ Бюллетень показателей эксплуатационной надёжности изделий электронной техники и электротехники в военной радиоэлектронной аппаратуре, №1. Мытищи: 22 ЦНИИИ Минобороны СССР, 1958. – 62 с.

местным решением Минобороны, Министерств оборонных отраслей промышленности и Министерства электротехнической промышленности СССР в 1972 году были определены головные предприятия по разработке единого в стране справочника, и начиная с 1976 года, Единый справочник получил статус официального документа. Работы по его созданию велись совместно с предприятиями промышленности.

Представляемая в справочнике информация позволяет проводить расчеты надежности ЭКБ и РЭА. По результатам проведенных исследований по большинству групп ЭКБ были отработаны модели прогнозирования надежности, определены количественные значения коэффициентов, входящих в модели, и интенсивности отказов.

С 2000 по 2006 годы было выпущено 4 редакции справочников. Основные направления совершенствования справочника «Надежность электрорадиоизделий»⁴ связаны с постоянно возрастающими требованиями по полноте охвата номенклатуры «Перечня электронной компонентной базы, разрешенных к применению ...» и достоверности включаемых в справочник данных, развитием процессов формирования, накопления и обновления базы данных справочника.

Для прогнозирования надежности ЭКБ иностранного производства разработан специальный справочник⁵, базирующийся на руководстве по прогнозированию надежности MIL-HDBK-217F⁶.

На базе справочника по надежности редакции 2006 году разработана автоматизированная система расчета надежности, позволяющая рассчитывать интенсивность отказов РЭА вплоть до третьего уровня разукрупнения по последовательной схеме расчета надежности укомплектованной ЭКБ отечественного и иностранного производства. Расчет может осуществляться для режимов применения по назначению, ожидания применения и хранения в составе подвижных и неподвижных объектов ВВСТ.

Учитывая увеличение требований к надежности ЭКБ за последние годы, значительное изменение номенклатуры изделий, включаемых в Перечни ЭКБ, разрешенных для применения в военной радио-

⁴ Надежность электрорадиоизделий: справочник. Мытищи: 22 ЦНИИИ Минобороны России, 2006. – 641 с.

⁵ Надежность электрорадиоизделий иностранного производства: справочник. Мытищи: 22 ЦНИИИ Минобороны России, 2006. – 52 с.

⁶ MIL-HDBK-217F Military handbook. Reliability prediction of electronic equipment. Notice 2, February 1995.

электронной аппаратуре, появление новых классов изделий электронной техники, широкое применение в новых разработках ВВСТ изделий иностранного производства 46 ЦНИИ Минобороны России в настоящее время проводит разработку новых редакций справочников.

Исследования по оценке правильности применения ЭКБ

Работы по оценке правильности применения выполнялись силами специалистов практически всех подразделений 22 ЦНИИИИ. По результатам научных исследований по этому направлению в 1961 году был разработан первый методический документ – Руководство⁷.

По мере роста сложности создаваемых объектов РЭА, изменения облика ЭКБ, разработки новых методов конструирования аппаратуры совершенствовалась и методология работ по обеспечению правильности применения ЭКБ. В редакцию Руководства 1966 года были включены методики измерения режимов работы новых классов и групп ЭКБ, введена новая форма организации работ.

В 1970-е гг. в связи с началом широкого применения в военной аппаратуре интегральных микросхем, имеющих повышенную чувствительность к электроперегрузкам, технологическим воздействиям в процессе производства и воздействиям внешних факторов при эксплуатации РЭА, с переходом на функционально-модульный метод конструирования аппаратуры с использованием сменных ячеек, типовых элементов замены и актуальностью проблемы повышения стойкости РЭА к спецфакторам, потребовалась разработка новой редакции Руководства.

Руководство редакции 1973 года содержало детализированные алгоритмы оценки правильности выбора комплектующих ЭКБ, эффективности мер защиты от воздействия на ЭКБ внешних факторов (механических и климатических), обеспечения требований нормативных документов по электрическим режимам работы. В Руководство редакции 1973 года вошли формы карт для оценки правильности применения ЭКБ (согласованные с оборонными отраслями промышленности и заинтересованными ведомствами) и впервые – методические вопросы оценки эффективности технических решений по обеспечению стойкости аппаратуры к специальным воздействиям.

⁷ Руководство по оценке правильности применения изделий электронной техники в аппаратуре военного назначения. Мытищи: 22 ЦНИИИИ Минобороны СССР, 1961. – 75 с.

Заложенные в Руководстве редакции 1973 года принципы алгоритмизации работ впервые сформулировали проблему автоматизации работ по измерению и расчету фактических режимов и условий применения ЭКБ и созданию автоматизированных баз данных об их характеристиках.

Указанные новации нашли отражение в Руководстве редакции 1981 года, которое впервые предусматривало проведение метрологической экспертизы аппаратуры. Работа по Руководству редакции 1981 позволила при обследовании около 200 объектов РЭА всех классов, содержащих более 1,5 млн комплектующих ЭКБ, выявить до сотни тысяч потенциально ненадёжных схемных позиций. Устранение такого количества недостатков разработки РЭА на ранних этапах их создания позволило в 3-7 раз снизить вероятность отказов при испытаниях и эксплуатации и обеспечило значительный экономический эффект.

Высокая эффективность работ особенно ярко была продемонстрирована результатами проверок аппаратуры и систем многоуровневого космического комплекса (МКК) «Буран». Проверками были охвачены все без исключения радиоэлектронные системы и приборы МКК «Буран». Было выявлено и устранено более 12 тысяч потенциально ненадежных схемных позиций.

В настоящее время Руководством действующей редакции 1994 года установлены требования о необходимости проведения проверок правильности применения ЭКБ в образцах аппаратуры их разработчиками (под контролем военных представителей Минобороны России) как обязательные в КГВС «Мороз-7», а основной документ, регистрирующий результаты контроля – карты режимов работы и условий применения ЭКБ, включен в состав конструкторской документации на все разрабатываемые образцы радиоэлектронных средств вооружения.

Заключение

В условиях постоянного совершенствования технических требований к современным образцам вооружения и военной техники задачи исследований методологии обеспечения надежности РЭА военного назначения, качества и надежности комплектующей её ЭКБ остаются актуальными и сегодня возложены на 46 ЦНИИ Минобороны России (рисунок 1). Основными направлениями исследований в этой области в настоящий момент являются:

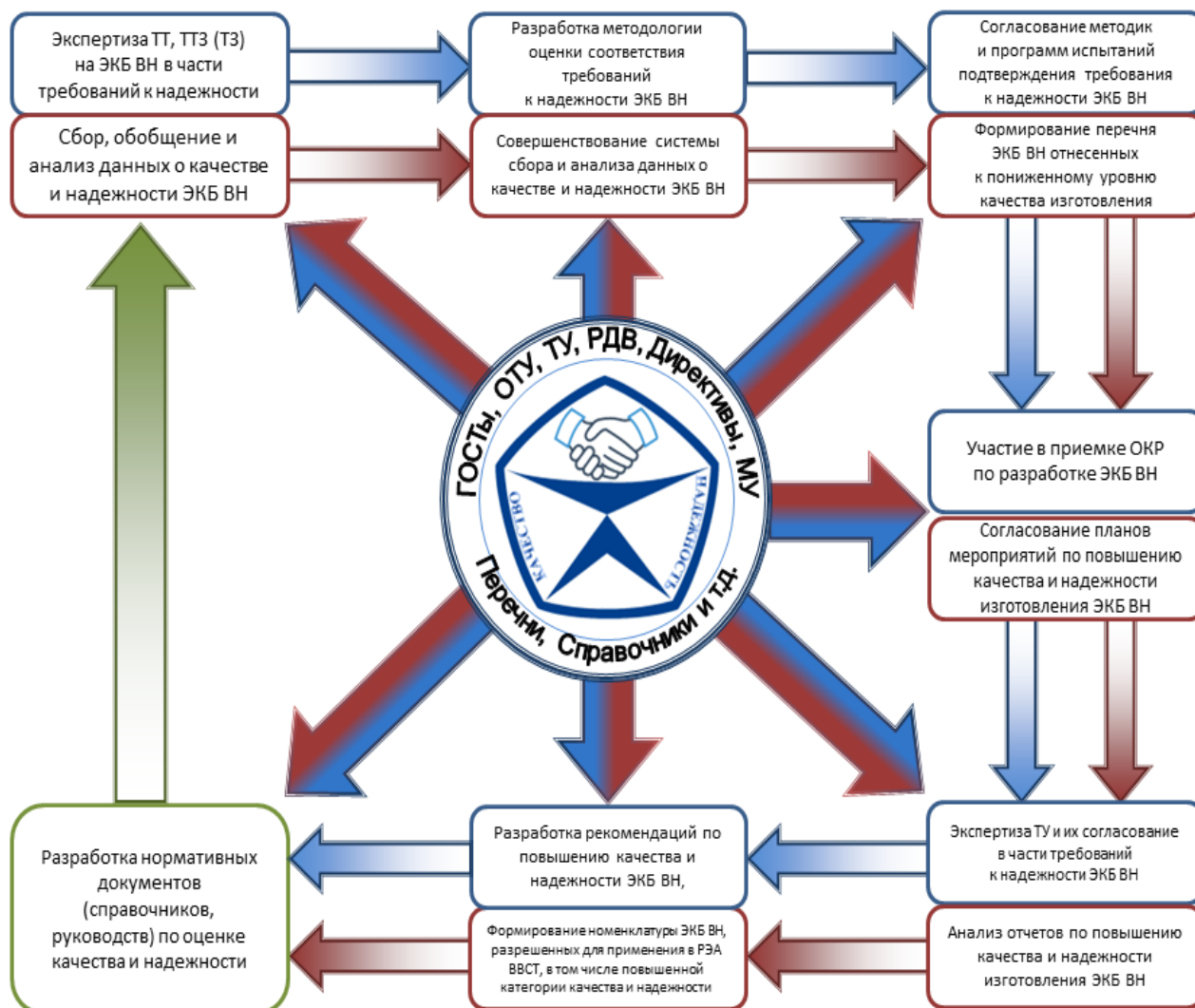


Рисунок 1 – Организационно-техническое и военно-научное сопровождение мероприятий развития, создания, применения и снятия с производства ЭКБ для РЭА ВВСТ

разработка и совершенствование методологии установления требований надежности РЭА ВВСТ изделий военной электроники и электротехники;

разработка и совершенствование методологии оценки соответствия РЭА ВВСТ, изделий военной электроники и электротехники требованиям надежности на этапах разработки, производства и эксплуатации;

военно-научное сопровождение мероприятий программ и планов стандартизации военной продукции в части РЭА ВВСТ, изделий военной электроники и электротехники;

проведение комплексных исследований по обеспечению качества и надежности изделий военной электроники и электротехники на всех стадиях жизненного цикла, а также разработка предложений и рекомендаций, направленных на их повышение;

научно-методическое обеспечение реализации мероприятий по военно-техническому сопровождению разработки, производства, применения и снятия с производства ЭКБ, формирование номенклатуры ЭКБ ВН, разрешенных для применения в РЭА ВВСТ;

организационно-техническое и военно-научное сопровождение мероприятий развития, создания, применения и снятия с производства ЭКБ для РЭА ВВСТ.

Список использованных источников

1. Резиновский А.Я., Дзиркал Э.В. Нормирование надежности. М: Издательство стандартов, 1987. – 136 с.
2. Буяновский Г.А. Надежность и входной контроль // Техника и вооружение. 1962. №11. – С. 67.
3. Дзиркал Э.В. Задание и проверка требований к надёжности сложных изделий. М: Радио и связь, 1981. – 176 с.
4. Брянда О.Е., Крутов Л.Н., Баринов П.Е., Коротенко В.А. Роль разрушающего физического анализа при оценке качества готовых изделий // Перспективы развития военной электроники и электроэнергетики – Материалы XXV научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Мытищи, 2002. Мытищи: 22 ЦНИИИ Минобороны России, 2002. – С. 103-108.
5. Давыдов Э.Т., Дульский Г.И., Морозов В.Ю., Петров Г.А., Старостин С.В. Методология и результаты исследований надежности военной радиоэлектронной аппаратуры и комплектующей её электронной компонентной базы // Военная электроника и электротехника (научно-технический сборник). М.: 46 ЦНИИ Минобороны России, 2012. – С. 105-116.