

ИССЛЕДОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ

В. И. Мищенко¹, А. П. Демин², В. А. Корбут³

^{1,2} Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Россия

³ 129 военное представительство Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

¹ mishtchenko@mail.ru, ² demyon@mail.ru, ³ tubrok@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Обоснование требований к эксплуатационным характеристикам радиоэлектронных средств вооружения и военной техники неразрывно связано с анализом и исследованием факторов, воздействующих на них в ходе этой стадии жизненного цикла. При этом весьма востребованной является хотя бы примерная классификация этих факторов. Таким образом, целью данной работы является анализ и опытная классификация факторов, воздействующих на радиоэлектронные средства вооружения и военной техники в ходе эксплуатации. *Материалы и методы.* В основу представленного исследования и классификации эксплуатационных факторов положен личный опыт авторов, а также изучение опыта других авторов, которые опубликовали соответствующие работы по данной теме. *Результаты.* Представлена классификация эксплуатационных факторов, влияющих на обеспечение надежности радиоэлектронных средств вооружения и военной техники. *Выводы.* Предложенная классификация позволяет подготовить количественные значения исходных данных для разрабатываемых методик определения величин эксплуатационных характеристик радиоэлектронных средств вооружения и военной техники.

Ключевые слова: эксплуатационные факторы, надежность радиоэлектронных средств

Для цитирования: Мищенко В. И., Демин А. П., Корбут В. А. Исследование и классификация эксплуатационных факторов, влияющих на обеспечение надежности радиоэлектронных средств вооружения и военной техники // Надежность и качество сложных систем. 2021. № 3. С. 32–40. doi:10.21685/2307-4205-2021-3-4

RESEARCH AND CLASSIFICATION OF OPERATIONAL FACTORS AFFECTING TO RELIABILITY OF RADIO-ELECTRONIC MEANS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT

V.I. Mishchenko¹, A.P. Demin², V.A. Korbut³

^{1,2} Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky, St. Petersburg, Russia

³ 129 Military Representation of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

¹ mishtchenko@mail.ru, ² demyon@mail.ru, ³ tubrok@mail.ru

Abstract. *Background.* The justification of the requirements for the operational characteristics of radio-electronic means of weapons and military equipment is inextricably linked with the analysis and study of the factors affecting them during this stage of the life cycle. At the same time, at least an approximate classification of these factors is very popular. Thus, the purpose of this work is to analyze and experimentally classify the factors that affect radio-electronic means of weapons and military equipment during operation. *Materials and methods.* The presented study and classification of operational factors are based on the personal experience of the authors, as well as the experience of other authors who have published relevant works on this topic. *Results.* Classification of operational factors affecting to reliability of radio-electronic means of weapons and military equipment. *Conclusions.* Proposed classification allows to prepare quantitative values of initial data for developed methods of determining values of operational characteristics of radio-electronic means of weapons and military equipment.

Keywords: operational factors, reliability of radio-electronic means

For citation: Mishchenko V.I., Demin A.P., Korbut V.A. Research and classification of operational factors affecting to reliability of radio-electronic means of weapons and military equipment. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem = Reliability and quality of complex systems.* 2021;(3):32–40. (In Russ.). doi:10.21685/2307-4205-2021-3-4

Основной стадией жизненного цикла образцов вооружения является стадия эксплуатации. На этой стадии на вооружение и технику воздействуют различные факторы, которые влияют на уровень ее надежности. Эти факторы включают две группы: объективные и субъективные. При чем, в свою очередь и те, и другие делятся на позитивные и негативные.

Объективные факторы определяются условиями эксплуатации и внешней средой. Субъективные возникают при ошибках в разработке, производстве и эксплуатации военной техники. Объективные факторы включают в себя эксплуатационные, климатические, биологические факторы, механические нагрузки (рис. 1).

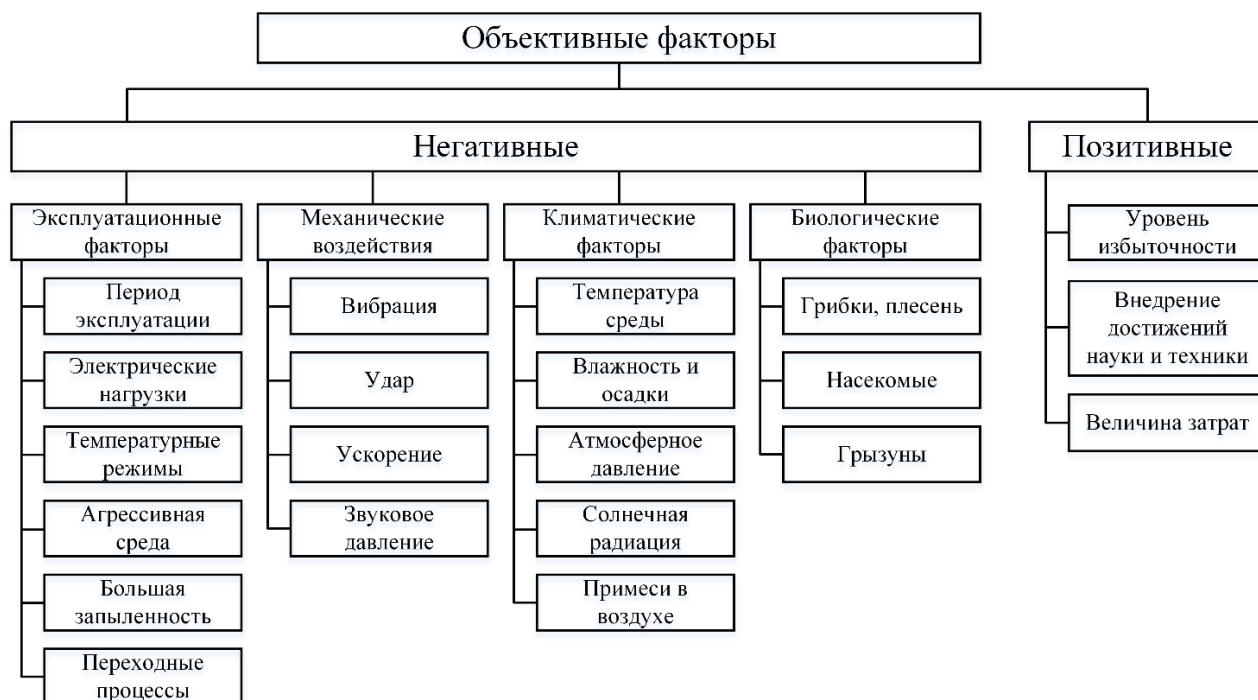


Рис. 1. Объективные факторы

Уровень надежности вооружения и военной техники (ВВТ) во всех режимах эксплуатации (использование по назначению, хранение, транспортирование, обслуживание, ремонт) существенно зависит от того, на каком периоде эксплуатации они находятся. Как показывает опыт эксплуатации, эти периоды включают: начальный (или приработки), нормальной эксплуатации и износ (или старение) (рис. 2).

По статистике начальный период эксплуатации характеризуется повышенной интенсивностью отказов (рис. 2, участок I).

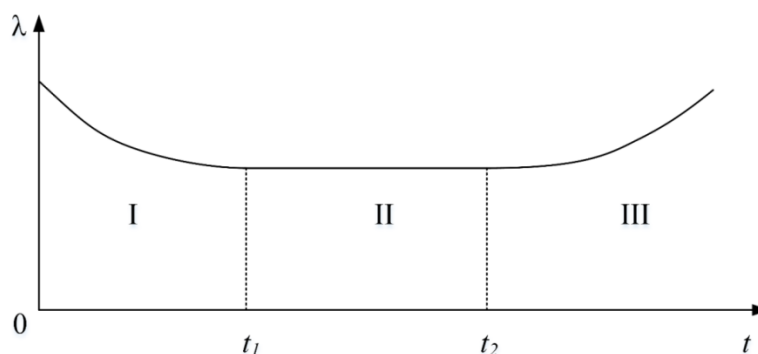


Рис. 2. Обобщенная зависимость интенсивности отказов от времени эксплуатации

Это обусловлено тем, что на этапе приработки чаще всего выявляются технологические и конструктивные отказы. Длительность этого периода для разных элементов составляет от несколь-

ких десятков до сотен часов (или от 1 до 15 % в зависимости от длительности периода нормальной эксплуатации) [1]. Например, в этот период происходит до 70 % отказов полупроводниковых приборов, микромодулей, микросхем и т.д. После продолжительного периода нормальной работы (участок II) наступает период физического старения, когда начинается постепенное увеличение интенсивности отказов (участок III). Это объясняется необратимыми процессами износа.

Старение материалов и элементов проявляется по-разному. Так, например, для полупроводниковых элементов характерны повышенные токи утечки (обратные токи) или падение напряжения во включенном состоянии, прямое падение напряжения, возникающие в основном за счет деградации контактных поверхностей внутри элемента.

Интенсивность износа прямо пропорциональна интенсивности эксплуатации ВВТ и обратно пропорциональна уровню качества профилактических работ. Для радиоэлектронных средств (РЭС) изменения электрических режимов работы оказывают существенное влияние на стабильность и долговечность их электрических характеристик и технических параметров. Все элементы РЭС характеризуются допустимыми нагрузками по мощности рассеяния, токам, напряжениям и т.п. Таким образом, работа элементов при предельно допустимых нагрузках сокращает их срок службы и не гарантирует надежной работы.

Кроме того, при эксплуатации РЭС ВВТ могут происходить недопустимые изменения электрических нагрузок или перегрузки. Причинами этого могут быть резкие перепады питающего напряжения сети, нестабильность нагрузки последующего каскада, неправильный выбор режима при проектировании и т.д. Это ведет к электрическим пробоям между элементами схемы, отказам при включении-выключении аппаратуры, ухудшению температурного режима. Поэтому каждый элемент схемы должен иметь некоторый запас прочности (избыточности), который рассчитывается по величине коэффициента нагрузки. Чем меньше этот коэффициент, тем выше уровень надежности соответствующего элемента.

Как правило, РЭС ВВТ эксплуатируются в различных температурных условиях. Чем больше скорость и частота изменения температуры, тем больше ее влияние на срок эксплуатации РЭС ВВТ и тем ниже уровень их надежности.

Отклонение температуры от нормальной приводит к изменению физических и механических свойств материалов, из которых изготовлены элементы систем. Эти изменения вызывают отклонения параметров элементов от нормальных значений и технических характеристик аппаратуры в целом. Например, при пониженной температуре:

- в полупроводниковых элементах повышается конденсация влаги, происходит растрескивание кристаллов, изменение электрических характеристик, что в свою очередь приводит к пробоям переходов, ухудшению электрических характеристик, потере герметичности, обрывам и короткому замыканию;

- сложные и волокнистые фенопластики, пластмассы на основе эфиров целлюлозы снижают свою прочность на удар, но увеличивается на 13 % их прочность на разрыв, изгиб и сжатие;

- смазки становятся густыми;

- снижается качество паяк радиодеталей вследствие того, что входящее в состав припоя белое олово при температуре ниже минус 13 °С превращается в быстроразрушающееся серое.

При повышенной температуре:

- для полупроводниковых элементов характерно образование областей проплавления, происходит нарушение полупроводниковых переходов или полное разрушение полупроводникового элемента;

- изменяются основные электрические характеристики электроизолирующих материалов (диэлектрическая проницаемость, величина пробивного напряжения, приложенного к диэлектрику и т.д.);

- снижается износостойчивость изоляции (при повышении температуры изоляции из органического диэлектрика на 10–12 °С вдвое увеличивается степень теплового износа изоляции);

- увеличивается сопротивление металлов, изменяется величина магнитного потока магнита, изменяются размеры деталей, уменьшаются их прочность и упругость;

- ухудшается качество пропиточных материалов и влагонепроницаемых покрытий.

Влажность воздуха и атмосферные осадки в значительной степени влияют на срок эксплуатации РЭС ВВТ. Главным образом это сказывается на ускоренном разрушении защитных покрытий, ухудшении свойств диэлектриков, изменении свойств металлов. При повышенной влажности (более 65 %):

- ускоряется коррозия металлов и сплавов (при относительной влажности воздуха более 80 % срок службы деталей из алюминиевых сплавов снижается вдвое);
- снижаются электроизоляционные свойства некоторых пластмасс;
- нарушается герметизация;
- увеличиваются потери в контурных катушках дросселей и трансформаторов;
- увеличивается действительное значение сопротивления резисторов.

Пониженная влажность (менее 30 %) способствует усыханию изоляционных материалов (лент, пленок) и ухудшению их механических свойств.

Эффект воздействия влаги может увеличиваться за счет дефектов поверхности элементов.

Атмосферные осадки способствуют возрастанию влажности со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Отклонения атмосферного давления от нормального на поверхности Земли нечасты и незначительны. Но РЭС ВВТ широко используются в различных условиях, в том числе и в горных районах на высотах свыше 1000 м. Известно, что с подъемом на высоту первые 1000 м давление убывает на 1 мм рт.ст. каждые 100 м. При дальнейшем увеличении высоты давление убывает в геометрической прогрессии.

Снижение давления влияет на срок службы непосредственно и косвенно. Непосредственное влияние выражается в изменении параметров комплектующих элементов. К примеру, изменяется емкость воздушных конденсаторов, вследствие чего изменяются выходные параметры аппаратуры в целом, уменьшается пробивное напряжение в изоляторах, волноводах, между проводниками и т.п.

На высотах свыше 2000 м могут появляться тихие и скользящие искровые разряды в негерметизированных высоковольтных выпрямителях, антенно-фидерных устройствах и т.п. На больших высотах имеется опасность возникновения газовых пробоев, образующихся вследствие плазменного состояния атмосферы от воздействия ионизации и высокочастотного поля. Это приводит к изменению диаграммы направленности антенны, уменьшению излучаемой мощности, искажениям формы импульсов передатчиков.

Косвенное воздействие состоит, прежде всего, в невозможности обеспечения хорошего воздушного охлаждения из-за недостаточной плотности воздуха. Это приводит к повышению температуры в блоках, системах.

Воздействие солнечной радиации на РЭС ВВТ определяется видимым светом, ультрафиолетовыми и инфракрасными волнами. Наибольшее действие видимого света проявляется в химическом разложении некоторых видов органических пластмасс, красителей, каучука, тканей.

Влияние ультрафиолетового излучения сводится в основном к количественным изменениям большинства органических материалов (каучук, пластики и т.д.), частичному разложению полимеров. Ультрафиолетовое излучение является катализатором реакции окисления полиэтилена, полистирола и других полярных диэлектриков.

Инфракрасное излучение вызывает увеличение температуры материалов со всеми вытекающими отсюда последствиями.

На надежность РЭС ВВТ заметное влияние оказывает загрязнение воздуха механическими и химическими примесями. Находящаяся в атмосфере пыль легко проникает в негерметизированную аппаратуру, снижая поверхностное сопротивление, ускоряя износ движущихся частей, контактов. Особенно сильно пыль ухудшает характеристики аппаратуры, выполненной на печатном монтаже, не защищенном специальным покрытием, так как она образует токопроводящие перемычки между проводниками. Увлажнение пыли усиливает ее воздействие.

Кроме пыли, в атмосфере находятся сильнодействующие химические примеси. Так, сернистый газ содержится в выхлопных газах машин, окислы азота и хлор – в выбросах предприятий. Эти вещества увеличивают коррозию металлов, ускоряют процесс старения пластмасс и органических диэлектриков.

Влияние биологической среды на РЭС ВВТ заключается в поражении ее плесенью, насекомыми и грызунами. Под действием плесени наиболее сильному разрушению подвергаются:

- деревянные изделия;
- изделия из натуральных волокнистых материалов (текстиль, хлопок, пряжа, шерсть и т.п.);
- лакокрасочные покрытия (за счет выделения уксусной, лимонной и других кислот);
- стеклянные призмы и линзы (помутнение поверхности, появление пятен и др.);
- изделия из кожи и каучука.

Появление плесени снижает сопротивление изоляции, нарушает контакты, приводит к замыканию, пробоям изоляции.

Немалый вред наносят и насекомые (моль, термиты, красные муравьи, некоторые типы жуков). Например, термиты съедают древесину, некоторые пластмассы, кожу, повреждают изоляцию. Выделения на токонесущих проводах вызывают утечку тока и замыкания.

Значительные повреждения наносят аппаратуре грызуны. В основном они повреждают кабели, изоляцию электропроводки, некоторые виды пластмасс, кожу, резину.

По некоторым данным число отказов при воздействии биологической среды составляет не более 0,5 % от общего числа отказов.

Существенное влияние на эксплуатацию РЭС ВВТ оказывают механические воздействия, к которым следует отнести удары, вибрации, ускорения, рабочие усилия, звуковые давления. Вибрации могут появиться из-за выхлопа газа в двигателях внутреннего сгорания, в результате работы двигателя самолета или ракеты. Воздействие вибрации приводит к преждевременному изнашиванию РЭС ВВТ, появлению в ней усталостных явлений, к частичному разрушению.

При ударах возможны случаи, когда возникающие нагрузки превысят допустимые безопасные уровни, что может привести к отказу. Ударные нагрузки возникают также при транспортировании различными видами транспорта.

На РЭС ВВТ, расположенные вблизи работающих силовых двигательных установок, воздействует энергия колебаний звуковой частоты. Это приводит к возникновению звукового давления. Действие давления на аппаратуру аналогично действию вибрации. Особенностью является то, что величина звукового давления зависит не только от его уровня, но и от площади изделия, на которое оно воздействует.

Позитивным фактором, существенно сказывающимся на надежности, является уровень избыточности систем. Это понятие характеризует свойство сложных систем, позволяющее им изменять свои характеристики или параметры для обеспечения их функционирования.

Согласно работе [2] под избыточностью понимается создание некоторых запасов в значении различных характеристик аппаратуры по сравнению с их значениями, минимально необходимыми для выполнения заданных функций. Это позволяет аппаратуре работать без отказов в условиях значительных воздействий внешних дестабилизирующих факторов естественного и искусственного происхождения.

Различают избыточности различного рода: структурную, параметрическую, функциональную, режимную, временную и т.п. Среди многочисленных видов избыточности на надежность аппаратуры влияют только некоторые – структурная, параметрическая и режимная.

Введение структурной избыточности сводится к использованию в РЭС избыточных (резервных) элементов, которые необходимы для работы только при отказе основных элементов аппаратуры. Структурная избыточность является эффективной лишь в том случае, если отказы элементов являются статистически независимыми.

Наличие параметрической избыточности проявляется практически в том, что наряду с допусками, характеризующими отказ элемента РЭС, устанавливают эксплуатационные (профилактические по своей сути) допуски. Превышение в процессе эксплуатации допуска еще не приводит к отказу, но свидетельствует о наступлении предотказового состояния и классифицируется как неисправность, которая должна быть устранена путем проведения профилактических работ: регулировки, предупредительной замены и т.п.

Режимная избыточность заключается в использовании элементов аппаратуры при уровнях напряжения (тока, рассеиваемой мощности и т.п.), меньших номинальных, благодаря чему воздействие внешних и внутренних неблагоприятных факторов не вызывает недопустимых по условиям эксплуатации ухудшений режимов работы элементов.

Избыточность противоречиво влияет на надежность сложной технической системы [3]. Противоречие заключается в том, что с введением избыточности при разработке уменьшается надежность, но с другой стороны, благодаря этому система может находиться более долгое время в работоспособном состоянии при воздействии на нее различного рода факторов. Другими словами, введение избыточности объективно уменьшает, а субъективно увеличивает уровень надежности РЭС ВВТ.

Внедрение последних достижений науки и техники предполагает применение экстенсивного и интенсивного направлений их использования.

Повышение уровня безотказности по экстенсивному направлению осуществляется с помощью резервирования. К этому пути прибегают в тех случаях, когда отдельный элемент, подсистема или

полностью РЭС, подвергаемая резервированию, имеет важное значение для обеспечения жизнедеятельности людей или при его применении по назначению.

Безусловно, использование экстенсивного направления повышения надежности предполагает размеры финансирования, кратные числу резерва или дуближа.

Резервирование и дублирование обеспечивают повышение только безотказности РЭС.

Экстенсивное улучшение ремонтпригодности обеспечивается совершенствованием аппаратуры контроля и диагностирования, а именно, автоматизацией процесса контроля. При этом проверяется большее число параметров и выявляется большее число отказавших узлов. Кроме того, ремонтпригодность повышается за счет увеличения номенклатуры и состава запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП).

Увеличить долговечность РЭС позволяет разработка или использование материалов, обладающих этими свойствами, несмотря на их большую стоимость. Так, например, использование вместо стали и сплавов алюминия и титана, существенно увеличит долговечность и сохраняемость РЭС, но сколько будет стоить такая система?

Интенсивное направление повышения надежности предполагает совершенствование элементной базы, конструкции и схемотехнического решения как элементов на каждом уровне, так и всего РЭС в целом [4]. При этом разработчики РЭС безусловно ориентируются на внедрение тех физических принципов и способов действия, которые снижают или исключают влияние негативных факторов. В этом плане немаловажный интерес представляют:

- для повышения безотказности – разработка рекомендаций и проведение мероприятий, направленных на улучшение качества технологии изготовления комплектующих элементов; разработка и внедрение схемотехнических решений, реализующих новые принципы объединения элементов [5];

- для повышения ремонтпригодности – внедрение схемотехнических решений, сокращающих время замены отказавших РЭС; разработка и применение в составе РЭС более совершенных диагностических средств;

- для увеличения долговечности – использование новых материалов, как для комплектующих элементов, так и для конструкции всего РЭС; обоснование и внедрение новых схемотехнических решений, увеличивающих допустимый динамический диапазон внешних воздействий (т.е. введение избыточности) и тем самым снижающих зависимость РЭС от условий их эксплуатации.

Позитивным фактором, приведенным на рис. 1, является величина затрат. Именно эта характеристика комплексно учитывает влияние не только самих факторов, но и их взаимодействие [6].

Субъективные факторы влияния на надежность вооружения возникают при разработке, производстве и эксплуатации вооружения (рис. 3).

Разделение субъективных факторов на позитивные и негативные весьма условно. Как правило, они являются комплексными. Эта комплексность заключается в том, что, если эти факторы обеспечивают тактико-технические характеристики ВВТ, заданные в тактико-техническом задании на их разработку, они являются позитивными. В противном случае они становятся негативными.

Так, в работе [7] показано, что при разработке аппаратуры допускается наибольшее количество ошибок, приводящих к отказам (до 40 %). При этом основная доля причин отказов приходится на неправильную разработку схем (до 30 %). Кроме того, определенную роль играет и неправильный выбор элементов схем, режимов их работы и т.п. В то же время в 70 % случаев подтверждается позитивность указанных факторов.

Включение в схему новых элементов всегда связано с риском снижения надежности устройства в целом. Основная масса всех ошибок выявляется обычно только с приобретением опыта эксплуатации образца. Поэтому так велика доля отказов в начальный период эксплуатации.

Причинами возникновения производственных отказов являются, в первую очередь, несоблюдение технологии производства, низкий уровень автоматизации сборки изделий и т.д. Например, при монтажных ошибках возникает порядка 14–24 % всех отказов [8].

Основные причины возникновения эксплуатационных ошибок заключаются в низкой квалификации личного состава (операторов), в несоблюдении правил эксплуатации РЭС ВВТ, в низкой степени организации технического обслуживания и ремонта (ТО и Р).

Как видно из рис. 3, одним из комплексных факторов является квалификация личного состава, эксплуатирующего РЭС ВВТ. Незнание устройства и назначения вооружения, неумение поддерживать его в исправном состоянии, устранять отказы, проводить регламентные работы приводит к резкому снижению уровня его надежности и, соответственно, срока эксплуатации. Например, при слабо подготовленном обслуживающем персонале количество отказов в первые сутки после проведения технического обслуживания в 8–10 раз превышает число отказов за сутки до его прове-

дения. Особо остро этот вопрос встал в последнее время, когда на вооружение стали поступать комплексы с использованием микроэлектронной технологии, которая в значительной степени чувствительна к ошибкам обслуживающего персонала. В то же время опыт показывает, что отказы, связанные со старением микросхем, не наблюдаются, так как этот период наступает у них после нескольких десятков тысяч часов работы.

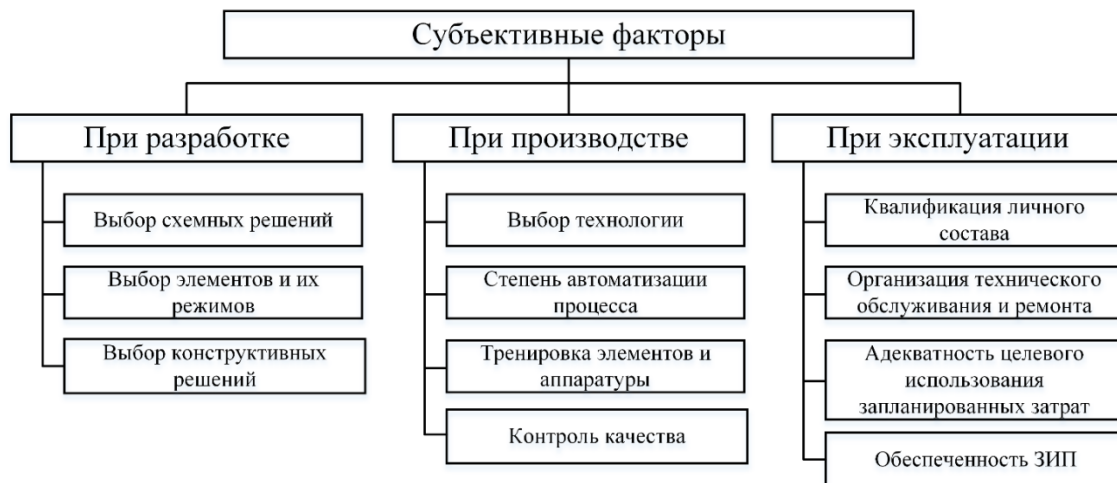


Рис. 3. Субъективные факторы

Существенным и комплексным фактором, влияющим на эффективность эксплуатации, является адекватность целевого использования запланированных затрат. Этот фактор оказывает свое влияние через оптимизацию комплектов ЗИП, обоснованность периодичности и объемов ТО и Р, выбор элементной базы, конструктивных и схемных решений, обеспечивающих требуемую готовность ВВТ к применению и качественное выполнение функциональных задач в соответствии с целевым предназначением.

В подавляющем большинстве работ, посвященных оптимизации периодичности обслуживания, расчету числа запасных элементов, методам и методикам технической диагностики ВВТ обязательно приводятся методики расчета стоимостных показателей, обеспечивающих то или иное мероприятие [9].

В настоящее время в РЭС ВВТ существуют два вида организации обеспечения ЗИП [10]. К первому виду относится следующая организация. После установления факта отказа элемента производится его локализация (техническое диагностирование). Затем в одиночном комплекте ЗИП, находящемся при объекте, отыскивается работоспособный (новый) элемент взамен отказавшего. Причем одиночный комплект ЗИП представляет собой совокупность типовых и, как правило, невосстанавливаемых элементов замены (ТЭЗ). В случае отсутствия ТЭЗа в одиночном комплекте ЗИП оформляется заявка на доставку необходимого элемента из состава группового комплекта ЗИП, предназначенного для обеспечения нескольких (группы) объектов. Вышеназванная ситуация соответствует отказу системы «изделие – одиночный комплект ЗИП». Если этот элемент отсутствует и в групповом комплекте ЗИП (отказ системы «изделие – одиночный комплект ЗИП – групповой комплект ЗИП»), оформляется заявка на экстренную поставку требуемого элемента либо из регионального склада, либо из предприятия-изготовителя и т.п. При поступлении нового элемента производится замена отказавшего и затем проводится проверка, подтверждающая отсутствие отказа. При этом отказавший элемент, если он восстанавливаемый, отправляется в ремонтный орган, имеющий свой (ремонтный) комплект ЗИП. После восстановления этим элементом пополняется комплект ЗИП, в котором был тот израсходован. Если элемент невосстанавливаемый, он утилизируется в установленном порядке, и по окончании установленного периода эксплуатации (обычно года) оформляется заявка на пополнение соответствующего комплекта ЗИП из вышестоящего довольствующего органа (регионального склада, предприятия-изготовителя и т.п.). Возможен также вариант, когда отказавший восстанавливаемый элемент отправляется в ремонтный орган, а объект простаивает в неработоспособном состоянии до возврата отремонтированного элемента и установки его на штатное место (такой вариант восстановления характерен для образцов РЭС на элементной базе первого поколения).

При организации обеспечения ЗИП по второму виду используется концепция «агрегатного» ремонта. При этом одиночный комплект ЗИП представляет собой уже не комплект ТЭЗов, а агрегат типа узел или блок, состоящий в свою очередь из панелей, субблоков и т.п. Устранение отказов в объекте контроля производится просто заменой отказавшего агрегата из одиночного комплекта ЗИП. Правда этот одиночный комплект ЗИП располагается в ремонтно-диагностической лаборатории ремонтно-производственной базы объекта. Но работоспособность современных РЭС ввиду их сложности и многофункциональности старыми методами, особенно при работе в автономном режиме, восстановить не представляется возможным. Отказавший агрегат отправляется в ремонтный орган, где имеется соответствующая оснастка и ремонтный комплект ЗИП. Отказавший агрегат диагностируется, восстанавливается, проверяется и настраивается, а затем пополняет тот же одиночный комплект, откуда был прислан [11]. Ремонтный ЗИП пополняется по ежегодным заявкам.

Параметры организации ТО и Р также являются комплексным фактором. Требуемая степень адекватности организации ТО и Р обеспечит наибольший уровень реализации боевых возможностей ВВТ.

Заключение

Сформированная классификация включает полный комплекс эксплуатационных факторов, которые необходимо учесть при расчете надежности в процессе моделирования при разработке новых радиоэлектронных средств вооружения и военной техники, а также при выполнении работ по поддержанию стоящих на вооружении средств в готовности к применению по назначению.

Список литературы

1. Лысенко А. В., Таньков Г. В., Калашников В. С. [и др.]. Алгоритм реализации адаптивной системы вибрационных испытаний бортовой радиоэлектронной аппаратуры // Надежность и качество сложных систем. 2019. № 2. С. 60–69.
2. Сычев Е. И. Метрологическое обеспечение радиоэлектронной аппаратуры : монография. М. : Татьянин день, 1993. 277 с.
3. Мищенко В. И., Кравцов А. Н. Модель процесса эксплуатации дублируемой сложной радиоэлектронной системы при безошибочном контроле ее технического состояния // Вестник метролога. 2021. № 1. С. 21–26.
4. Ивановский В. С., Гусеница Я. Н., Ширямов О. А. Теоретические основы военной метрологии : монография. Анапа : ВИТ «ЭРА», 2021. 137 с.
5. Малахов А. В., Масалкин А. А., Швед А. С. Комплексная модель планирования применения сложных военно-технических систем // Инновационная деятельность в Вооруженных силах Российской Федерации : тр. всероссийской науч.-практ. конф. СПб., 2015. С. 292–298.
6. Гусеница Я. Н., Малахов А. В., Шерстобитов С. А., Ширямов О. А. Метод функционально-стоимостного анализа эксплуатации средств измерений, испытания и контроля // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2017. № 1. С. 67–72.
7. Ванцов С. В., Халявина А. А. Анализ методологий контроля и диагностирования сложных электронных устройств // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 3. С. 115–123.
8. Канащенков А. И., Новиков С. В. Основные методологические принципы проектирования радиолокационных систем летательных аппаратов нового поколения // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 3. С. 71–84.
9. Смагин В. А., Ширямов О. А. Способ оптимизации стоимостных затрат при построении измерительной системы // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях : тр. III межвуз. науч.-практ. конф. СПб., 2018. С. 195–199.
10. Мищенко В. И., Храмов М. Ю. Проблематика эксплуатации сложных технических систем: монография. СПб. : Политехника-сервис, 2016. 149 с.
11. Смагин В. А., Новиков А. Н. Модель готовности восстанавливаемой технической системы с учетом достоверности контроля состояния ее элементов при произвольных распределениях времени до их отказа и восстановления // Труды Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского. 2016. Вып. 652. С. 198–203.

References

1. Lysenko A.V., Tan'kov G.V., Kalashnikov V.S. [et al.]. Algorithm for implementing an adaptive vibration testing system for on-board electronic equipment. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2019;(2):60–69. (In Russ.)
2. Sychev E.I. *Metrologicheskoe obespechenie radioelektronnoy apparatury: monografiya = Metrological support of electronic equipment : monograph*. Moscow: Tat'yanin den', 1993:277. (In Russ.)
3. Mishchenko V.I., Kravtsov A.N. Model of the operation process of a duplicated complex electronic system with error-free control of its technical condition. *Vestnik metrologa = Bulletin of the metrologist*. 2021;(1):21–26. (In Russ.)

4. Ivanovskiy V.S., Gusenitsa Ya.N., Shiryamov O.A. *Teoreticheskie osnovy voennoy metrologii: monografiya = Theoretical foundations of military metrology : monography*. Anapa: VIT «ERA», 2021:137. (In Russ.)
5. Malakhov A.V., Masalkin A.A., Shved A.S. Complex model of planning the application of complex military-technical systems. *Innovatsionnaya deyatel'nost' v Vooruzhennykh silakh Rossiyskoy Federatsii: tr. vsearmeyeskoy nauch.-prakt. konf. = Innovative activity in the Armed Forces of the Russian Federation : proceedings of the All-Army Scientific and Practical Conference*. Saint Petersburg, 2015:292–298. (In Russ.)
6. Gusenitsa Ya.N., Malakhov A.V., Sherstobitov S.A., Shiryamov O.A. Method of functional and cost analysis of the operation of measuring instruments, testing and control. *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk = Proceedings of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences*. 2017;(1):67–72. (In Russ.)
7. Vantsov S.V., Khalyavina A.A. Analysis of methodologies for monitoring and diagnosing complex electronic devices. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2018;(3):115–123. (In Russ.)
8. Kanashchenkov A.I., Novikov S.V. Basic methodological principles of designing radar systems of new generation aircraft. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system = Reliability and quality of complex systems*. 2018;(3):71–84. (In Russ.)
9. Smagin V.A., Shiryamov O.A. The method of cost optimization in the construction of a measuring system. *Problemy tekhnicheskogo obespecheniya voysk v sovremennykh usloviyakh: tr. III mezhvuz. nauch.-prakt. konf. = Problems of technical support of troops in modern conditions : proceedings of the III inter-university scientific and practical conf.* Saint Petersburg, 2018:195–199. (In Russ.)
10. Mishchenko V.I., Khramov M.Yu. *Problematika ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem: monografiya = Problems of operation of complex technical systems: monograph*. Saint Petersburg: Politehnika-servis, 2016:149. (In Russ.)
11. Smagin V.A., Novikov A.N. The model of readiness of the restored technical system taking into account the reliability of monitoring the state of its elements at arbitrary time distributions before their failure and recovery. *Trudy Voenno-kosmicheskoy akademii imeni A.F. Mozhayskogo = Proceedings of the Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky*. 2016;(652):198–203. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Ильич Мищенко

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: mishtchenko@mail.ru

Алексей Павлович Демин

кандидат технических наук, старший преподаватель
кафедры метрологического обеспечения
вооружения, военной и специальной техники,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: demyon@mail.ru

Валентин Анатольевич Корбут

начальник 129 военного представительства
Министерства обороны Российской Федерации
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Орджоникидзе, 42)
E-mail: tubrok@mail.ru

Vladimir I. Mishchenko

Doctor of technical sciences, professor,
professor of sub-department of metrological support
of weapons, military and special equipment,
Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Aleksey P. Demin

Candidate of technical sciences, senior lecturer
of sub-department of metrological support of weapons,
military and special equipment,
Military Space Academy named after A.F. Mozhaysky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Valentin A. Korbut

Head of the 129 Military Representation
of the Ministry of Defense of the Russian Federation
(42 Ordzhonikidze street, St. Petersburg, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 08.02.2021

Поступила после рецензирования / Revised 30.09.2021

Принята к публикации / Accepted 04.10.2021