

УДК 54.08

МРНТИ 50.43.15

¹Т. С-Э. Лулаев bized1986@mail.ru

¹М. М. Калипанов, Kmm75565@mail.ru.

¹Д.Е. Абдрасилов dauletzrv@mail.ru

²М. Жумабаев jumabaevm52@gmail.com

¹Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи, г. Алматы, Республика Казахстан

²Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова, г. Бишкек, Кыргызская Республика

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ СИСТЕМАМИ КОНТРОЛЯ АППАРАТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ РАКЕТ-МИШЕНЕЙ

Аннотация. В статье приведены результаты исследования в рамках программно-целевого финансирования ИРН №АР261036/0224, систем контроля аппаратуры управления полётом ракет-мишеней, которые представляют собой сложный технический объект с бортовым электрооборудованием, подверженным различным видам отказов. Проанализированы типы отказов — внезапные и постепенные, их причины и последствия. Особое внимание уделено методологии контроля, включающей автономные и комплексные проверки с использованием контрольно-испытательных передвижных станций (КИПС). Подробно описаны процедуры тестирования автопилота, аппаратуры радиоправления, радиовизирования и радиовзрывателя, а также регламентные и внеочередные проверки. Приведены критерии определения пригодности ракет к применению, временные нормативы и требования к условиям эксплуатации. Отмечается важность соблюдения режима и качества проведения проверок для обеспечения надёжности РМ и эффективности их боевого применения.

Ключевые слова: характеристика, ракета-мишень, бортовая аппаратура, система, контроль, эффективность, автопилот, неисправность, параметры, сигналы, испытание, регламентные проверки, радиовзрыватель.

Введение

Ракета-мишень (РМ) является сложным объектом. В ее состав входят: аппаратура радиоправления и радиовизирования, автопилот, радиовзрыватель, бортовые источники питания, боевая часть, стартовый и маршевый двигатели, воздушная система, планер [1].

Вероятность исправного состояния, близкого к единице, имеют боевая часть, двигатели, воздушная система, планер. Менее надежным является бортовое электрооборудование, в состав которого обычно включают аппаратуру радиоправления и радиовизирования, автопилот, радиовзрыватель, источники питания, коммутационную аппаратуру. В блоках и узлах аппаратуры появляются отказы, в результате чего РМ утрачивает работоспособность.

Методология исследования

Отказ определяется отклонением за допустимые пределы хотя бы одного из выходных параметров [2]. Различают две основные категории отказов, характерные и для бортового электрооборудования, — *внезапные* (катастрофические) и *постепенные* (деградационные). *Первые* вызываются скачкообразным изменением величины выходного параметра системы РМ, при котором эта величина оказывается вне области допустимых ее значений. В большинстве случаев такое изменение обусловлено скрытыми дефектами материалов и деталей. Электрическое или механическое повреждение элемента, возникающее при внезапном отказе, обычно делает элемент полностью непригодным к дальнейшему использованию. По характеру проявления такой отказ является окончательным, то есть он приводит к потере работоспособности электрооборудования РМ на то время, пока он не будет устранен [3]. В отличие от окончательных отказов

существуют и перемежающиеся отказы, при которых работоспособность устройства периодически самовосстанавливается.

Постепенный отказ возникает вследствие дрейфа рабочих параметров РМ под влиянием внешних факторов – изменения температуры среды, влажности, питающих напряжений, времени [4]. Такой дрейф приводит к отказу в момент выхода величины параметра за допустимое его значение. Поскольку дрейф параметров может быть обратимым, работоспособность РМ во многих случаях восстанавливается при уменьшении интенсивности внешнего воздействия.

Обычно о приближении окончательного постепенного отказа свидетельствует такое состояние аппаратуры, при котором наблюдается перемежающийся отказ [5]. Это объясняется тем, что область допустимых значений параметра вследствие случайных флуктуаций его величины под влиянием внешних и внутренних воздействий, как правило, четко не ограничена, а окружена более или менее значительной областью неустойчивой (сомнительной) работы.

Результаты и обсуждение

В связи с изложенным для предупреждения и обнаружения отказов необходимо проводить контроль параметров бортового электрооборудования ракеты. Опыт эксплуатации показывает высокую эффективность регламентного контроля ракет. На рисунке 1 показана кривая прогноза вероятности исправного состояния электрооборудования РМ в зависимости от срока эксплуатации $P = f(t)$ [6]. Периодические проверки с временным интервалом T и меры, принимаемые по результатам контроля, повышают вероятность исправного состояния до величины P_K . Тогда эффект от воздействия системы обслуживания определяется в виде:

$$\Delta P = P_K \cdot P_{tk}$$

Кроме периодических проверок бортового электрооборудования, на РМ в процессе эксплуатации проводится целый комплекс других работ в объеме и с периодичностью, предусмотренными инструкциями [7]. Так, на РМ регулярно проверяется давление в воздушной системе по показаниям манометра, производится осмотр в целях выявления и устранения вмятин, трещин, коррозии, нарушения или вспучивания лакокрасочных покрытий, заменяется смазка, регулируется площадь критического сечения сопла двигателей.

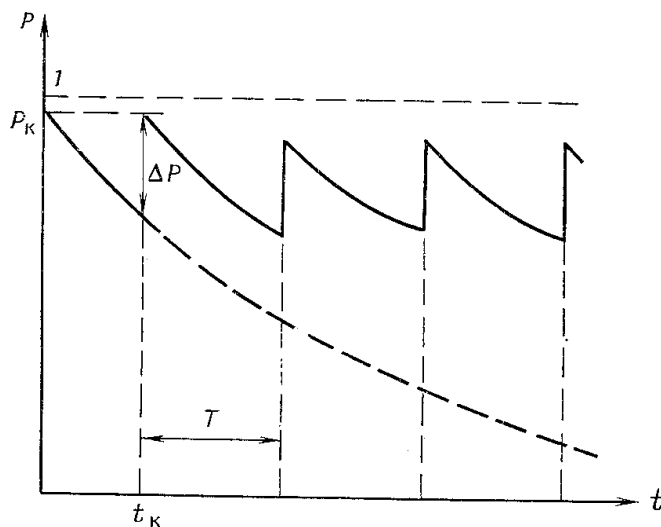


Рисунок 1– Зависимость вероятности исправного состояния электрооборудования РМ от срока эксплуатации

Для проведения регламентного контроля РМ, находящихся в зенитных ракетных и технических дивизионах, на вооружении состоят **контрольно-испытательные передвижные станции (КИПС)** [8].

РМ проверяется при нахождении ее на пусковой установке, транспортно-заряжающей машине или транспортной стыковочно-снаряжательной тележке.

Основным видом регламентного контроля ракеты является **проверка по полной программе**, которая включает в себя автономные проверки бортовой аппаратуры и комплексную проверку [9]. Автономные проверки позволяют независимо друг от друга проверять автопилот, радиовзрыватель и аппаратуру радиоуправления и радиовизирования. При этом используются источники энергии (агрегаты питания), размещенные в КИПС. Автономные проверки бортового оборудования охватывают значительное количество параметров, имеющих различную физическую природу. Следует заметить, что автономным проверкам подвергаются автопилоты, радиовзрыватели, аппаратура радиоуправления и радиовизирования, установленные на ракете и хранящиеся на складах в составе ЗИП (запасные инструменты и принадлежности).

При автономной проверке **автопилота** проверяются функционирование автопилота и отдельные параметры, определяющие качество стабилизации и управления ракетой на траектории наведения ее на цель [10]. Автономная проверка автопилота, установленного на ракете, предусматривает имитацию радиокоманд управления и стабилизирующих сигналов с чувствительных элементов (гироскопов). Это позволяет контролировать состояние автопилота без вскрытия люков и демонтажа его из ракеты, что значительно сокращает время на контроль. Однако при этом не проверяется работоспособность чувствительных элементов-датчиков угловой скорости и угла крена. Опыт эксплуатации подтверждает высокую надежность гироскопических приборов, используемых в автопилоте. Контроль автопилотов, хранящихся в составе ЗИП, предусматривает проверку функционирования чувствительных элементов с помощью поворотного стенда.

Автономная проверка автопилота может проводиться в автоматическом или ручном режимах. Основным видом контроля является автоматический, ручная проверка производится в случае отказа автоматической схемы пульта или при необходимости перепроверки какого-либо параметра автопилота, если при автоматическом режиме получился отрицательный результат.

Контроль параметров автопилота осуществляется с использованием стрелочных вольтметров постоянного и переменного тока, световых табло, сигнальных ламп [11].

Автономная проверка **аппаратуры радиоуправления и радиовизирования** предусматривает контроль функционирования и отдельных параметров, влияющих на качество наведения ракеты на цель [12]. В процессе контроля с КИПС подаются импульсы запроса и команды управления и дальнего взведения радиовзрывателя, имитирующие сигналы высокой частоты станции наведения ракет [13]. Это позволяет проверить функционирование канала ответа, дешифратора по выдаче команд К1 и К2 на автопилот и команды К3 на радиовзрыватель, а также некоторые параметры аппаратуры. Результаты контроля представляются на экране осциллографа (импульс ответа), стрелочных вольтметрах.

Автономная проверка **радиовзрывателя** предусматривает контроль функционирования и отдельных параметров. При контроле функционирования имитируется работа радиовзрывателя в условиях боевого применения. Расстояние до цели имитируется линией задержки, а ослабление энергии – переменным поглощающим аттенюатором.

Работа радиовзрывателя на различных режимах применения РМ происходит по командам, выдаваемым с аппаратуры КИПС [14]. Это позволяет проверить

выдачу радиовзрывателем импульса электрической энергии на подрыв боевой части. Контроль радиовзрывателя производится оператором вручную. Результаты контроля наблюдаются на стрелочных вольтметрах и по сигнальным лампам.

Комплексная проверка бортового электрооборудования РМ предусматривает контроль функционирования и отдельных параметров автопилота, аппаратуры радиоуправления и радиовизирования, радиовзрывателя, бортовых источников питания, связанных друг с другом как при боевом применении РМ. На аппаратуру радиоуправления и радиовизирования подаются высокочастотные сигналы запроса, команды управления и команда дальнего взведения радиовзрывателя [15]. Контроль функционирования и отдельных комплексных параметров электрооборудования осуществляется по величине угла отклонения рулей ракеты, пропорциональной величине команды управления, а также по срабатыванию радиовзрывателя и появлению на экране осциллографа импульса ответа. Комплексная проверка производится вручную полным расчетом КИПС и требует натренированности и слаженности действий номеров расчета. При проведении комплексной проверки следует строго соблюдать временной режим: продолжительность работы бортового электрооборудования РМ после команды «Пуск» не должна превышать 5 мин.

По результатам автономного и комплексного контроля РМ проводятся следующие мероприятия:

1. Ракета назначается и готовится к применению, если бортовое электрооборудование исправно.
2. Проводится одна или несколько регулировок бортового электрооборудования при обнаружении постепенного отказа (выход за допуск контролируемого параметра в пределах возможности регулировки), затем снова производится контроль в необходимом объеме, и в случае положительного результата РМ назначается к применению.
3. Производится ремонт бортового электрооборудования РМ при появлении внезапных отказов или когда регулирование параметра не приводит к желаемому результату, путем замены вышедшего из строя блока (или устранения неисправности другими способами). После ремонта вновь проводится контроль электрооборудования в необходимом объеме, и в случае его исправности РМ назначается к применению.

О проведенных мероприятиях по результатам контроля производится запись в формулярах на аппаратуру бортового оборудования.

Из графика (рис. 1) видно, что вероятность исправного состояния электрооборудования РМ зависит от периодичности контроля и мероприятий, проводимых по его результатам [16]. В настоящее время проверки РМ проводятся по полной программе в основном с периодом 6 месяцев. Опыт показывает, что большинство РМ в этом промежутке времени сохраняет работоспособность. Проведение контроля с меньшей периодичностью, во-первых, сократит, и весьма значительно, небольшой ресурс работы аппаратуры ракеты как объекта одноразового применения; во-вторых, частое включение бортового оборудования, сопровождающееся тепловыми и электрическими переходными процессами, снижает надежность радиоэлектронных устройств. Инструкциями по эксплуатации ракет предусматриваются и другие сроки проверок ракет на КИПС в зависимости от условий хранения и содержания РМ [17].

Следует заметить, что при эксплуатации ракет в войсках проводятся и внеочередные проверки бортового электрооборудования в случае отклонения условий эксплуатации от нормальных (разгерметизация, поломки, стихийные бедствия и др.). Кроме того, внеочередные проверки по полной программе проводятся при входном контроле ракет, прибывающих в технический дивизион с заводов-изготовителей, баз, arsenалов, складов, соседних войсковых частей.

Одной из основных характеристик КИПС является ее производительность [18]. Она определяется техническими характеристиками контрольно-испытательной аппаратуры, объемом проверяемых параметров, количеством и сложностью

вспомогательных операций и навыками в работе боевых расчетов. Поэтому важно обучить работе на аппаратуре КИПС и ракете каждого номера, а также слаженной работе в составе боевого расчета. На проверку одной РМ отводится 45 мин.

Следует заметить, что коэффициент технического совершенства, определенный хронометражем работы обученных боевых расчетов, составляет приблизительно 0,55 [19]. Это означает, что суммарное время на подвоз и отвоз ракеты, вскрытие и закрытие люков, стыковку и расстыковку РМ с КИПС соизмеримо со временем контроля бортового электрооборудования по полной программе.

Оператор при проверках обязан строго соблюдать временной режим работы бортовой аппаратуры [20]. Увеличение времени контроля сверх предусмотренного инструкциями приводит к повышению интенсивности отказов бортового электрооборудования и сокращает его ресурс работы. В то же время излишняя торопливость, суетливость и небрежность при проведении контроля может снизить достоверность контроля, вероятность исправного состояния бортового электрооборудования и в конечном счете эффективность применения РМ.

Выводы:

На основании изложенного можно заключить, что КИПС является сложной системой и требует контроля работоспособности ее различных устройств. С этой целью перед началом работы проводится подготовка аппаратуры КИПС, которая состоит в установке выключателей и переключателей в исходное положение, а также в проверке, настройке и регулировке контрольно-испытательной аппаратуры. Пульт контроля аппаратуры радиоуправления и радиовизирования готовится в соответствии с методикой, изложенной в инструкции. В дальнейшем перед каждым очередным контролем необходимо производить проверку и подстройку некоторых параметров контрольной аппаратуры. Перед началом проверки автопилота (если до этого проверки не производились) должен быть проведен самоконтроль пульта, в дальнейшем контроль пульта производится после каждых пяти проверок автопилотов.

В процессе организации проверок ракет необходимо обеспечить электропитанием КИПС напряжением $3 \times 220 \text{ В}$ 50 Гц от промышленной электросети или дизельной электростанции. Кроме того, КИПС необходимо запитывать сжатым воздухом. Воздух должен быть очищен от масла и механических примесей и иметь точку росы не выше -35°С при давлении замера 150 кгс/см^2 . Пневмопитание КИПС обычно осуществляется от воздухозаправщика.

Проводить проверки бортового электрооборудования РМ можно при температуре окружающего воздуха от -50 до $+50^\circ \text{С}$ и относительной влажности до 98% при температуре $+25^\circ \text{С}$. Организация контроля предусматривает исключение попадания влаги внутрь ракеты через вскрываемые люки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, В. И. *Управление ракетной техникой: теория и практика*. — М.: Воениздат, 2012.
2. Беляев, А. И. *Надежность бортовой радиоэлектронной аппаратуры*. — М.: Радиотехника, 2010.
3. Герасимов, Н. И. *Испытания и контроль ракетных систем*. — М.: Машиностроение, 2011.
4. Кузнецов, И. А. *Методы технического контроля и диагностики авиационно-космической техники*. — СПб.: Питер, 2014.
5. Военная энциклопедия в 8 т. — М.: Воениздат, 2001.
6. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

7. РД 20.39.308-98. Методические указания по проведению эксплуатационных проверок ракет.
8. Инструкция по технической эксплуатации ракет 5В27 и 5В24. — Минобороны РФ, 2016.
9. Лозинский, А. И. Автоматизированные системы контроля ракетной техники. — М.: Наука, 2013.
10. Крылов, С. А. Автопилоты ракетных комплексов: проектирование и отладка. — Казань: КГТУ, 2015.
11. Шмелев, Ю. И. Электропитание и энергосистемы РЭА военной техники. — М.: Радиотехника, 2009.
12. Фролов, Ю. Н. Бортовая аппаратура управления: от анализа отказов к контролю параметров. — М.: Энергия, 2016.
13. Михайлов, С. Н. Вопросы эксплуатации КИПС и контрольной аппаратуры. // Военная мысль. — №4. — 2019.
14. Методика проведения автономной и комплексной проверки ракет-мишеней. — Ведомственный документ, Минобороны РФ, 2020.
15. Программа испытаний и контроля ракет в войсковых частях. — Минобороны, 2021.
16. Вероятность необнаруженного отказа. — URL: <https://spravochnick.ru/definitions/6>. (дата обращения 16.02.2025).
17. Руководство по эксплуатации КИПС-В2. — Производитель: ОАО «Электронтехника», 2017.
18. Основные характеристики систем контроля. — URL: <http://ozlib.com/index-1094738.html>. (дата обращения 23.02.2025).
19. Характеристики контроля. — URL: https://vuzlit.com/1858853/harakteristiki_kontrolya. (дата обращения 23.02.2025).
20. Автоматизация технологических процессов. Системы автоматического контроля <http://spravochnic.ru.html>. (дата обращения 19.03.2025).