

Принципы задания требований к обеспечению готовности радиоэлектронных средств управления сложными технологическими процессами

И. А. Козин¹, А. В. Гришин

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

¹kozinov.ia@mail.ru

Аннотация. Principles of the task of requirements to readiness of radio-electronic control facilities are considered by difficult technological processes. It is shown that the readiness forecast is base for a substantiation of the decision on appointment of a technical resource and allows to realise ресурсосберегающий a principle of management of operation. As a predicted indicator of readiness it is offered to use structurally functional factor of readiness.

Ключевые слова: radio-electronic means; readiness factor; technical resource; operation

I. ВВЕДЕНИЕ

При управлении эксплуатацией сложных технических систем, в том числе и радиоэлектронных средств (РЭС) управления сложными технологическими процессами, оценке и прогнозировании их технического состояния важное значение имеет сбор и учет статистических данных об их штатной эксплуатации. На основе этой информации производятся оценка текущего технического состояния анализируемой системы, и прогнозирование ее состояния в будущие моменты времени. Отсутствие или недостаточный объем статистических данных приводит к некачественным оценкам и, как следствие, к неверным решениям при управлении эксплуатацией технической системы. Важнейшей характеристикой, связанной с обеспечением требуемого качества функционирования РЭС управления сложными технологическими процессами, является готовность радиоэлектронных средств управления.

II. ПРИНЦИПЫ ЗАДАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГОТОВНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

В зависимости от особенностей и условий функционирования РЭС их готовность определяется как свойство, характеризующее приспособленность к переводу из исходного состояния в состояние непосредственного применения по назначению и пребыванию в этом состоянии [1]. В этом определении готовность связана с наступлением двух событий: события, когда РЭС переведена в состояние непосредственного применения по назначению, и события, когда РЭС остается в этом

состоянии при условии, что она была в него переведена. Под состоянием РЭС следует понимать совокупность параметров, отражающих в каждый рассматриваемый момент времени наиболее существенные стороны ее функционирования.

Количественные значения показателей готовности будут зависеть от исходного состояния РЭС, принятой системы технической эксплуатации, режимов и динамики функционирования, а также от квалификации обслуживающего персонала.

Решение проблемы задания требований к готовности РЭС должно базироваться на единых принципах, учитывающих современный уровень развития объектов и систем технической эксплуатации, прогрессивные методы и технологии эксплуатации, перспективы их развития [2]. Основные принципы задания требований к готовности РЭС приведены на рис. 1.



Рис. 1. Принципы задания требований к готовности РЭС

Все перечисленные выше принципы тесно взаимосвязаны и требуют комплексного воплощения при определении требований к готовности РЭС. При этом важным моментом является получение прогноза готовности РЭС. Прогноз готовности РЭС является базой

для обоснования решения о назначении технического ресурса РЭС, особенно за пределами гарантийного срока службы. В настоящее время отсутствуют эффективные методы получения прогнозных оценок готовности РЭС, позволяющие учесть реальную степень сложности систем, а также фактическую информацию об изменении их состояния в процессе эксплуатации.

III. НАЗНАЧЕНИЕ РЕСУРСА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ЗАДАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ГОТОВНОСТИ

В нормативно-технической документации технический ресурс принято называть ресурсом. Ресурс характеризует такое свойство системы, как долговечность – способность сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта [3]. Технический ресурс представляет собой запас возможной наработки системы. Ресурс применительно к конкретно взятой системе априорно является случайной величиной. Конкретное значение ресурса может быть определено лишь после того, как будет достигнуто предельное состояние. Пока это событие не наступило, можно говорить лишь о прогнозировании этой величины с большей или меньшей достоверностью [4].

Проблема назначения (продления) технического ресурса РЭС возникает после истечения гарантийного или назначенного ресурса. В настоящее время порядок назначения ресурса определяется системой категорирования. Целью категорирования является обеспечение наиболее полного использования технического ресурса РЭС, управление их техническим состоянием, определение агрегатов, требующих ремонта или списания, обеспечение своевременного планирования заказов и восполнения РЭС.

Эксплуатация РЭС осуществляется до наступления предельного состояния. Чем позже наступает предельное состояние, тем больше выработанный технический ресурс системы. Так как мы заранее не знаем время наступления предельного состояния, следовательно, и не известен ресурс, который выработает РЭС. Поэтому для обоснованного назначения (продления) технического ресурса следует осуществлять прогнозирование времени наступления предельного состояния.

При продлении ресурса более информативен и содержателен в плане полезности остаточный ресурс. С точки зрения остаточного ресурса условие не достижения предельного состояния РЭС можно представить в виде:

$$R_{ост}(t) = R_0 - (\Delta R(t) + S(t) + \Theta(t)) + V(t) > R_{ост}^{лс}, \quad (1)$$

где $R_{ост}(t)$ – остаточный ресурс после эксплуатации РЭС в течение времени t ; R_0 – ресурс в начале эксплуатации; $\Delta R(t)$ – расход ресурса в режиме применения по назначению; $S(t)$ – расход ресурса в режимах хранения и ожидания; $\Theta(t)$ – расход ресурса при проведении регламентных и ремонтных работ; $V(t)$ – восполнение ресурса при проведении ремонтно-восстановительных работ, доработок и модернизаций; $R_{ост}^{лс}$ – значение

остаточного ресурса, при котором РЭС переходит в предельное состояние.

В результате качественного анализа по выражению (1) можно получить следующие условия существования или отсутствия предельного состояния:

1. Абсолютно надежная система. Предельное состояние отсутствует.

$$R_{ост}(t) = const = R_0 > R_{ост}^{лс}, t \in [0, T_{э}]; \\ \Delta R(t) + S(t) + \Theta(t) = 0, V(t) = 0.$$

2. Ограниченно надежная система с полным восстановлением ресурса. Предельное состояние отсутствует.

$$R_{ост}(t) = const = R_0 > R_{ост}^{лс}, t \in [0, T_{э}]; \\ \Delta R(t) + S(t) + \Theta(t) = V(t).$$

3. Ограниченно надежная система без восстановления ресурса. Нижняя оценка наработки до предельного состояния.

$$R_{ост}(t) = R_0 - [\Delta R(t) + S(t) + \Theta(t)] > R_{ост}^{лс}, t \in [0, t_{мин}^{лс}]; \\ \Delta R(t) + S(t) + \Theta(t) > 0, V(t) = 0.$$

4. Ограниченно надежная система с неполным восстановлением ресурса.

$$R_{ост}(t) = R_0 - [\Delta R(t) + S(t) + \Theta(t)] + V(t) > R_{ост}^{лс}, t \in [0, t_{лс}^{лс}], \\ t_{лс}^{лс} > t_{мин}^{лс}; \Delta R(t) + S(t) + \Theta(t) > 0, V(t) > 0; \\ \Delta R(t) + S(t) + \Theta(t) > V(t).$$

Проанализируем способы увеличения остаточного ресурса $R_{ост}(t)$:

1) уменьшением расхода ресурса при применения РЭС по назначению $\Delta R(t)$, которое можно представить в виде суммы ресурсов при подготовке к сеансу выполнения операций управления и при проведении сеанса: $\Delta R(t) = \Delta R_{подг}(t) + \Delta R_c(t)$; время подготовки к применению за несколько сеансов можно сократить за счет рационального планирования этих сеансов и уменьшения количества включений и выключений аппаратуры;

2) уменьшением расхода ресурса в режимах хранения и ожидания $S(t)$ и при проведении регламентных и ремонтных работ $\Theta(t)$ путем соблюдения условий хранения и уменьшения непроизводительных расходов ресурса; применением технического обслуживания по состоянию;

3) увеличением количества восполненного ресурса $V(t)$ за счет:

- проведения ремонтно-восстановительных работ;
- своевременного ремонта и пополнения ЗИП;
- модернизации элементов РЭС.

4) уменьшением остаточного ресурса $R_{ост}^{лс}$, при котором РЭС переходит в предельное состояние, путем комплексного обследования аппаратуры, последующего контроля и прогнозирования наступления предельного состояния.

Предельное состояние РЭС определяется по какому-то признаку или совокупности признаков, установленных в нормативно-технической или конструкторской документации, то есть по критерию предельного состояния [5].

Процессы, приводящие к переходу в предельное состояние, и специфика задач, решаемых РЭС, обуславливают необходимость введения комплексного критерия предельного состояния. В качестве такого критерия целесообразно выбрать готовность РЭС. Готовность РЭС позволит оценить момент наступления предельного состояния с учетом влияния системы эксплуатации, используемых режимов работы РЭС, интенсивности применения РЭС по назначению.

Сравнивая значение прогноза готовности РЭС с пороговым значением можно рассчитать момент перехода РЭС в предельное состояние. С использованием этой информации организуется выработка управляющих воздействий, обеспечивающих работу РЭС с необходимым качеством в течение выделенного временного интервала. Цель такой эксплуатации – обеспечение максимального использования запаса технического ресурса и сокращение общих затрат на эксплуатацию РЭС.

Технические системы, в том числе РЭС управления сложными технологическими процессами, эксплуатируются в пределах назначенного ресурса или назначенного срока службы (срока эксплуатации), которые устанавливаются предприятием-изготовителем (поставщиком) в часах или календарной продолжительности эксплуатации, по истечении которых их использование по назначению должно быть прекращено (кроме средств автоматизированного управления технологическими процессами) [6].

При достижении назначенного ресурса или назначенного срока службы (срока эксплуатации) РЭС на них могут проводиться работы по продлению назначенных показателей ресурса (срока службы) без вывода их из эксплуатации. Порядок назначения ресурса или срока службы РЭС с выработанными назначенными ресурсами или истекшими сроками службы определяется нормативными техническими и руководящими документами по эксплуатации космических средств.

В случае выработки РЭС установленного ресурса (срока службы) проводится их категорирование. Под категорией принимается условная учетная характеристика системы, устанавливаемая по определенным правилам в зависимости от ее технического состояния и необходимости проведения того или иного ремонта или списания [6]. Одной из задач категорирования является установление (продление) ресурса и (или) срока службы на основе оценки технического состояния системы. Однако категория РЭС не в полной мере отражает реальное техническое состояние и степень готовности аппаратуры. Это утверждение подтверждается опытом эксплуатации различных РЭС управления сложными технологическими процессами.

Анализ фактического запаса остаточного ресурса систем и продление технического ресурса (срока службы) в случае наличия достаточно обоснованных предпосылок являются частью ресурсосберегающей стратегии эксплуатации РЭС, направленной на обеспечение заданных требований к готовности и эффективности функционирования радиоэлектронных систем.

Ресурсосберегающий принцип управления эксплуатацией РЭС подразумевает организацию эксплуатации РЭС на основе управления техническим состоянием по текущим и прогнозным оценкам. До настоящего времени внедрение ресурсосберегающей стратегии эксплуатации РЭС затруднялось отсутствием эффективных методов получения прогнозных оценок остаточного ресурса РЭС, позволяющих учесть реальную степень сложности объектов прогнозирования и фактическую информацию об изменении их состояния в процессе эксплуатации. Метод прогнозирования готовности РЭС позволяет уточнить их остаточный ресурс и реализовывать ресурсосберегающий принцип управления эксплуатацией РЭС.

Система включает:

- подсистему комплексного контроля эксплуатации РЭС;
- подсистему оценки и прогнозирования готовности РЭС;
- подсистему оценки технического состояния РЭС;
- подсистему управления эксплуатацией РЭС.

В систему комплексного контроля эксплуатации РЭС поступают параметры состояния, эксплуатационных процессов и показателей результатов функционирования – вектор $[X]$. После обработки и группировки эти параметры разделяются на два вектора: $[X1]$ – вектор параметров, необходимых для оценивания и прогнозирования показателей готовности и $[X2]$ – вектор параметров, необходимых для оценивания технического состояния, поступающие соответственно на систему оценки и прогнозирования готовности РЭС и систему оценки технического состояния РЭС.

Система оценки и прогнозирования готовности РЭС формирует вектор прогнозных показателей готовности и ресурса – вектор $[G]$. Система оценки технического состояния РЭС формирует вектор параметров, характеризующих техническое состояние – вектор $[S]$. На основе оценки технического состояния и прогнозных оценок показателей готовности и ресурса, а также планов эксплуатации РЭС (вектор $[P]$), система управления эксплуатацией формирует управляющие воздействия – вектор $[U]$:

$$U = \langle S, G, P, T \rangle,$$

где $[T]$ – вектор моментов времени.

Важное место в рассмотренной системе занимает система оценки и прогнозирования готовности, одной из задач которой является прогнозирование готовности и остаточного ресурса РЭС. Система реализует метод

прогнозирования величины остаточного ресурса и научно-обоснованного назначения технического ресурса РЭС при их эксплуатации за пределами гарантийного срока службы. Данный метод применим к сложно-структурным системам, для которых отсутствуют эффективные методы получения прогнозных оценок готовности и остаточного ресурса в процессе эксплуатации.

Рассмотренная ресурсосберегающая система эксплуатации РЭС управления сложными технологическими процессами направлена на повышение эффективности их применения на основе оценивания и прогнозирования показателя готовности. В качестве прогнозируемого показателя готовности РЭС можно использовать структурно-функциональный коэффициент готовности $K_{\Gamma}(t_{cy})$, определяемый как вероятность того, что система работоспособна, подготовлена к сеансу выполнения операций управления и не занята выполнением другого сеанса.

Коэффициент готовности является составной частью показателя эффективности применения РЭС – вероятности выполнения сеанса управления – РСУ. Вероятность выполнения сеанса управления определяется выражением

$$P_{cy}(t_{cy}, \tau_{cy}) = P_{\Gamma}(t_{cy}) P_{\text{Б}}(\tau_{cy} | t_{cy}) \quad (2)$$

и представляет собой вероятность совместного наступления двух событий:

- РЭС подготовлена к сеансу управления - $P_{\Gamma}(t_{cy})$;
- РЭС не отказала за время проведения сеанса управления при условии подготовленности к этому сеансу – $P_{\text{Б}}(\tau_{cy} | t_{cy})$.

Из анализа выражения (2) видно, что для РЭС управления показателем эффективности является коэффициент оперативной готовности за время проведения сеанса управления $K_{op}(\tau_{cy} | t_{cy})$, а первый множитель в правой части равенства представляет собой коэффициент готовности на момент начала сеанса управления $K_{\Gamma}(t_{cy})$.

Если вероятность безотказной работы за время проведения сеанса не зависит от времени начала сеанса, а только от его длительности, то формула (2) упрощается:

$$K_{op}(\tau_{cy} | t_{cy}) = K_{\Gamma}(t_{cy}) P_{\text{Б}}(\tau_{cy}) \quad (3)$$

В выражении (3) $P_{\text{Б}}(\tau_{cy})$ для РЭС управления представляет величину, близкую к единице, поэтому показатель эффективности в основном определяется готовностью системы к выполнению сеанса управления –

структурно-функциональным коэффициентом готовности $K_{\Gamma}(t_{cy})$, который и предлагается использовать при определении остаточного ресурса и планировании процессов эксплуатации РЭС.

IV. ВЫВОДЫ

Таким образом, готовность радиоэлектронных средств управления сложными технологическими процессами является одной из важнейших характеристик связанной с обеспечением требуемого качества функционирования РЭС управления сложными технологическими процессами. Количественные значения показателей готовности зависят от исходного состояния РЭС, принятой системы технической эксплуатации, режимов и динамики функционирования, а также от квалификации обслуживающего персонала. Прогноз готовности РЭС является базой для обоснования решения о назначении технического ресурса РЭС, особенно за пределами гарантийного срока службы. Сравнивая значение прогноза готовности РЭС с пороговым значением можно рассчитать момент перехода РЭС в предельное состояние. Прогнозирование готовности РЭС позволяет уточнять остаточный ресурс и реализовывать ресурсосберегающий принцип управления эксплуатацией РЭС. В качестве прогнозируемого показателя готовности РЭС можно использовать структурно-функциональный коэффициент готовности определяемый как вероятность того, что РЭС работоспособна, подготовлена к сеансу выполнения операций управления и не занята выполнением другой задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Гришин В.В. Модель готовности сложной технической системы управления // Информационно-управляющие системы. 2004. №6. С. 8-11.
- [2] Каракаев А.Б., Луканин А.В., Хекерт Е.В. Разработка методологии, методов и моделей анализа влияния различных вариантов построения структуры и режимов поддержания и восстановления работоспособности судовых электроэнергетических систем (часть 1) // Эксплуатация морского транспорта. 2016. № 3 (80). С. 54-60.
- [3] ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.
- [4] Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. 2 изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 704 с.
- [5] ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности.
- [6] Жизненный цикл и эксплуатационное качество космических средств: учебник. Часть I / В.И. Звягин, Г.Д. Петров, А.И. Птушкин, Е.Н. Шаповалов. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2010. 294 с.