

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ МНОГОСАЙТОВЫХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ

И.Кубасов, д.т.н., главный научный сотрудник
НИИСТ ФКУ НПО "Специальная техника и связь" МВД России /
igorak@list.ru,

Ю.Пучков, к.т.н., ведущий научный сотрудник
НИИСТ ФКУ НПО "Специальная техника и связь" МВД России /
pqu7@yandex.ru

УДК 004.052.32, DOI: 10.22184/2070-8963.2022.107.7.56.59

Обосновывается важность и актуальность рассмотрения вопросов повышения надежности функционирования многосайтовых цифровых систем подвижной радиосвязи в условиях цифровой трансформации государственного управления и бизнеса. На основе результатов проведенных теоретических исследований по обеспечению работоспособности таких систем выведены математические зависимости, позволяющие разработать математическую модель оценки надежности функционирования и обоснованно выработать практические рекомендации по повышению эффективности управления мобильными абонентами.

ВВЕДЕНИЕ

Цифровая трансформация государственного управления и бизнеса предполагает переход на проектное управление для решения весьма важных и сложных задач по разработке и внедрению сквозных технологий (в том числе, и технологий беспроводной связи), гарантирующих существенное повышение эффективности управления ресурсами (материальными, техническими, людскими и др.). Все больше российских компаний стремятся перенести бизнес-процессы в цифровую среду, тем самым существенно снизив транзакционные издержки и значительно увеличив объемы экономической деятельности [1].

Одним из важных направлений цифровой трансформации бизнеса является повышение эффективности управления мобильными ресурсами крупных корпораций и холдингов, абоненты которых постоянно перемещаются по территории обслуживания. Для решения данной задачи в настоящее время используются многосайтовые цифровые системы

профессиональной подвижной радиосвязи (далее – МЦС ПР), которые могут обеспечить радиосвязь с мобильными абонентами на территориях крупных мегаполисов и субъектов Российской Федерации [2].

В данной статье исследованы теоретические аспекты обеспечения работоспособности МЦС ПР в целях разработки методических основ математической модели оценки надежности функционирования этих систем, позволяющей обосновать практические рекомендации по повышению эффективности управления мобильными абонентами.

СРЕДНЯЯ НАРАБОТКА ДО КРИТИЧЕСКОГО ОТКАЗА И ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ КАК ЧАСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ МЦС ПР

Надежность функционирования многосайтовой цифровой системы подвижной радиосвязи следует рассматривать как свойство системы сохранять во времени в установленных пределах

значения всех параметров, характеризующих способность системы выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования [3]. Это свойство является комплексным и включает в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих частных свойств. Поэтому целесообразно оценивать надежность данной системы, как интегральное (комплексное) свойство, используя частные параметры.

В рамках данной статьи рассмотрим расчет лишь основных частных параметров надежности – безотказности, долговечности и ремонтпригодности систем, – формирующих методическую основу создания математической модели оценки надежности МЦС ПР.

Для МЦС ПР как сложных технических систем практически характерна низкая интенсивность полных отказов, причем на надежность функционирования оказывает существенное влияние не столько сам отказ, сколько его длительность. Для каждой конкретной системы можно определить допустимое время отказа τ_d , за которое изменения параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, не приводят к критическим прямым и/или косвенным потерям, или критической трудоемкости устранения таких отказов и, соответственно, к критическому снижению эффективности управления мобильными абонентами.

При этом на практике эксплуатации МЦС ПР, учитывая незначительное превышение или значительное превышение допустимого времени отказа τ_d , можно различать критические и некритические отказы. Следовательно, представляет практический интерес расчет средней наработки до критического отказа МЦС ПР. Поэтому выведем формулу для расчета этого частного параметра надежности функционирования МЦС ПР.

Среднее число критических отказов МЦС ПР за длительное время эксплуатации t с учетом восстанавливаемости системы можно рассчитать из следующего соотношения:

$$n(V) = n - nV_i(\tau_o) = n[1 - V_i(\tau_o)], \quad (1)$$

где $n = \Lambda t$ – среднее общее число отказов (критических и некритических) системы за время t без учета продолжительности их устранения;
 Λ – интенсивность отказов МЦС ПР;

$V_i(\tau_o)$ – вероятность восстановления работоспособности МЦС ПР за время t , не превышающее допустимого времени τ_d .

Далее среднюю наработку до критического отказа можно определить следующим образом:

$$T_o(V) = \frac{T_p}{n(V)} = \frac{T_p}{n[1 - V_i(\tau_o)]} = \frac{t}{n[1 - V_i(\tau_o)]}, \quad (2)$$

где $T_p = nT_o = t$ – суммарное время эксплуатации МЦС ПР,

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} - \text{средняя наработка до любого}$$

(критического или некритического) отказа МЦС ПР,

t_i – время исправной работы МЦС ПР между $(i-1)$ -м и i -м отказами.

Полученное соотношение (2) можно легко преобразовать, подставив вместо t его значение, равное nT_o :

$$T_o(V) = \frac{T_o}{1 - V_i(\tau_o)}. \quad (3)$$

Объективность полученной формулы (3) подтверждают следующие частные случаи:

- в наилучшем случае, когда вероятность восстановления системы равна единице ($V_i(\tau_o)=1$), средняя наработка системы до полного отказа $T_o(V)$ стремится к бесконечности, то есть возможные отказы МЦС ПР не будут критическими в течение всего времени эксплуатации t ;
- в наихудшем случае, когда $V_i(\tau_o)=0$ получаем равенство: $T_o(V) = T_o$, то есть уже самый первый отказ будет критическим отказом МЦС ПР.

Также представляет практический интерес количественная оценка выигрыша от восстанавливаемости системы в сравнении с ее невозстанавливаемостью:

$$\eta = \frac{T_o(V)}{T_o}. \quad (4)$$

Следовательно, в практике эксплуатации МЦС ПР следует учитывать, что повышение значений восстанавливаемости является одной из форм повышения надежности, что подтверждают ранее проведенные исследования [4, 5, 6].

Теперь, допуская экспоненциальный закон распределения случайной наработки системы до отказа, с учетом полученной формулы (3), можно вывести следующую формулу расчета другого частного

параметра надежности – вероятности безотказной работы восстанавливаемой МЦС ПР за время t :

$$P_i(t, V) = \exp\left[-\frac{1 - V_i(\tau_0)}{T_0} t\right]. \quad (5)$$

Таким образом, выведенные формулы (2-5) представляют собой оценки частных параметров надежности МЦС ПР, характеризующих восстанавливаемость (а в общем случае – ремонтпригодность) и безотказность системы.

Далее рассмотрим частные параметры надежности, характеризующие долговечность систем.

ВЕРОЯТНОСТЬ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КАК ЧАСТНЫЙ ПАРАМЕТР НАДЕЖНОСТИ МЦС ПР

Как показывает практика эксплуатации МЦС ПР, за время между плановыми техобслуживаниями вероятность более одного отказа систем пренебрежимо мала, то есть практически исключается ресурсный отказ (отказ, в результате которого система достигает предельного состояния). МЦС ПР будет в состоянии, заключающемся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособности путем технического обслуживания и ремонта, в следующих ситуациях:

- МЦС ПР работоспособна весь период времени t ;
- МЦС ПР неработоспособна к началу функционирования, но восстановилась за допустимое время τ_d ($\tau < \tau_d$) и полностью выполнила свои функции за оставшееся время $(t - \tau)$;
- МЦС ПР работоспособна или неработоспособна к началу функционирования и происходит ряд отказов за период времени t , однако МЦС ПР обладает способностью восстановиться за допустимое время и выполнить полностью заданные функции.

Тогда, пренебрегая членами высших порядков, вероятность долговечности – вероятность нормального функционирования $P_{нф}(t)$, как вероятность того, что отказов МЦС ПР не будет до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта системы [7, 8, 9], можно вычислить по формуле:

$$P_{нф}(t) \approx P_0 P(t) + (1 - P_0) V_i(\tau_0) P(t - \tau), \quad (6)$$

где $P_0 = K_r$ – вероятность того, что МЦС ПР работоспособна к началу функционирования (стационарный коэффициент готовности МЦС ПР);

$P(t) = e^{-\Lambda t}$ – вероятность безотказной работы МЦС ПР за время t (для

простейших потоков отказов и восстановлений МЦС ПР);

$P(t - \tau)$ – вероятность безотказной работы МЦС ПР за время $(t - \tau)$, которого достаточно для выполнения требуемых функций.

При этом следует заметить, что стационарный коэффициент готовности МЦС ПР вычисляется по формуле:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P_0(t) = \frac{\mu}{\Lambda + \mu} = \frac{T_0}{T_0 + T_B} = K_r, \quad (7)$$

где T_0 – средняя наработка до отказа МЦС ПР;

T_B – среднее время восстановления МЦС ПР;

Λ – интенсивность отказов МЦС ПР;

μ – интенсивность восстановлений МЦС ПР.

Так как практика эксплуатации МЦС ПР свидетельствует о том, что $T_0 \gg T_B$, то вторым слагаемым формулы (6) можно пренебречь.

Тогда с учетом зависимости (7) показатель долговечности МЦС ПР вычисляется по следующей формуле:

$$P_{нф}(t) = K_r P(t) = \frac{T_0}{T_0 + T_B} e^{-\Lambda t}. \quad (8)$$

Объективность полученного выражения (8) подтверждают следующие частные случаи:

- когда среднее время безотказной работы МЦС ПР равно нулю ($T_0 = 0$), вероятность долговечности также равна нулю ($P_{нф}(t) = 0$);
- когда среднее время восстановления функционирования равно нулю ($T_B = 0$), вероятность долговечности будет максимальной, зависимой только от интенсивности отказов Λ , а в случае $\Lambda = 0$ принимает значение, равное единице.

Таким образом, частный параметр надежности МЦС ПР, вычисляемый по формуле (8), свидетельствует о том, что повышение надежности достигается увеличением T_0 (среднего времени безотказной работы МЦС ПР) и уменьшением T_B (среднего времени восстановления МЦС ПР), при этом наибольший эффект достигается в случае одновременного увеличения T_0 и уменьшения T_B .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Надежность функционирования МЦС ПР является одной из форм повышения эффективности управления мобильными

абонентами, что является весьма актуальным и важным в современных условиях цифровой трансформации государственного управления и бизнеса.

2. Оперативная восстанавливаемость, устойчивая безотказность и долговечность функционирования МЦС ПР, в основном и прежде всего, обеспечивают надежность данных систем.
3. Разработаны методические основы создания математической модели оценки надежности функционирования МЦС ПР, с учетом выведенных математических зависимостей для расчета параметров восстанавливаемости, безотказности и долговечности (см. формулы 1-8). Создаваемая математическая модель позволит обосновать практические рекомендации по повышению эффективности управления мобильными абонентами, направленные на:
 - ▶ одновременное увеличение среднего времени безотказной работы МЦС ПР и уменьшение среднего времени ее восстановления;
 - ▶ повышение средней наработки до критического отказа и повышение вероятности безотказной работы МЦС ПР.
4. Предлагаемый методический подход к расчету частных параметров надежности многосайтовых цифровых систем подвижной радиосвязи также позволит осуществить нормирование надежности данных систем, включая обоснование набора нормируемых параметров надежности; задание критериев критических отказов; разработку методов контроля надежности МЦС ПР.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахимова З.Н. Цифровая трансформация бизнеса // Журнал У. Экономика. Управление. Финансы. 2021. № 4(26). С. 89–96.
2. Абдуллин А.Г., Киян А.И., Пучков Г.Ю. Новые возможности цифровой системы радиосвязи АПЕКС, полученные в результате доработок, проведенных по результатам ее эксплуатации в реальных условиях // Научно-технический портал МВД России. 2020. № 1(33). С. 3–7.
3. ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения.
4. Кубасов И.А. О влиянии восстанавливаемости на безаварийность // Стратегическая стабильность. 2006. № 1(34). С. 41–45.
5. Дедков В.К., Бобр О.А., Кубасов И.А. Особые случаи оценивания надежности при испытаниях технических объектов // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". 2006. Т. 1. С. 75–77.
6. Кубасов И.А., Бобр О.А., Швед Е.В. Определение количества элементов запаса по условиям безопасности функционирования системы // Двойные технологии. 2006. № 1(34). С. 68–72.
7. Труханов В.М. Краткий курс по теории надежности и технике эксперимента. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2015.
8. Кубасов И.А. Методика расчета требуемого количества элементов запаса инфокоммуникационных систем // Информационные системы и технологии. 2020. № 6(122). С. 44–51.
9. Кубасов И.А., Стрельников Ф.И. Методика оптимизации резерва при ограничениях комплекта элементов запаса инфокоммуникационных систем // Вестник Воронежского института ФСИИ России. 2020. № 2. С. 98–104.

В Пермском политехе усовершенствовали процесс изготовления преформ для вытяжки ОВ

Чтобы обеспечить качество будущих оптических волокон (ОВ), процесс производства необходимо контролировать на каждом этапе. Ученые Пермского политеха с коллегами из Уральского отделения РАН разработали автоматизированный комплекс, который отслеживает равномерность осаждения таких металлов. Это позволяет использовать для вытяжки оптического ОВ только высококачественные заготовки (преформы).

"Производство волоконных световодов является сложным и дорогостоящим из-за цен на сырье и затрат на эксплуатацию оборудования. На начальном этапе изготовления используют кварцевые заготовки. На них

наносят примеси из редкоземельных металлов. Важно отслеживать, равномерно ли они распределяются на кварцевой трубе. Для этого используют автоматизированный комплекс люминесцентной фотометрии, который определяет концентрацию металлов. Мы разработали для него вычислительную систему и систему управления. Это позволило впервые создать высокоточный измерительный комплекс для определения качества заготовок на начальном этапе их производства", – пояснил один из разработчиков, старший преподаватель кафедры "Общая физика" ПНИПУ Константин Латкин.

Технологии, которые ранее использовали для этих целей, позволяли исследовать только волокна или отслеживали качество не на начальных производственных этапах.

Установки были собраны в лаборатории ПФИЦ УРО РАН и могут применяться на предприятиях, которые выпускают ОВ. Результаты исследования уже используют в реальной системе на производстве в составе кластера "Фотоника" (г. Пермь).

По информации ПНИПУ