

# Методика оценки и повышения надежности функционирования узлов электросвязи мультисервисных инфокоммуникационных сетей связи

*Мультисервисная инфокоммуникационная сеть связи - это сеть связи, обеспечивающая абонентам предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и созданию новых услуг за счет унификации сетевых решений и включающая в свой состав средства доставки, хранения, обработки и поиска информации.*

**Ключевые слова:** методика оценки, надежность, узел электросвязи, сеть связи, абонент.

Михайлов М.Ю.,  
ФГУП "НИИ "Рубин"

Стремительный рост в области инфокоммуникационных технологий, а также необходимость удовлетворения постоянно растущих потребностей абонентов привело к необходимости интеграции разнородных сетей в единую мультисервисную инфокоммуникационную сеть связи, предоставляющую пользователям (абонентам) разнообразный спектр услуг.

Мультисервисная инфокоммуникационная сеть связи (МИСС) — это сеть связи, обеспечивающая абонентам предоставление неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и создания новых услуг за счет унификации сетевых решений и включающая в свой состав средства доставки, хранения, обработки и поиска информации [5].

Одним из самых важных составляющих МИСС являются узлы электросвязи (УЭС), выполняющие различную роль в структуре МИСС — узлы доступа, ретрансляционные пункты и т.д. Постоянное увеличение потребностей абонентов в услугах связи влечет за собой расширение функций оборудования и повышение требований к его устойчивости и работоспособности.

Усложнение схмотехнических решений построения УзСС и входящего в их состав оборудования ведет к повышению требований по его надежности. В настоящее время в научнотехнической литературе надежность выделяется как один из сложных и основных показателей качества функционирования УЭС. Составляющим надежности являются [2, 4, 5]:

1. Безотказность.
2. Долговечность.
3. Ремонтопригодность.

Исследования в области надежности функционирования УЭС показывают, что в целом решающее значение имеет лишь первая характеристика. Следовательно, оценка надежности функционирования УЭС сводится к оценке его безотказности. Под безотказностью УЭС МИСС понимается его свойство непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение определенного периода времени [4, 5].

УЭС МИСС представляет собой совокупность элементов, предназначенных для выполнения определенной функции или функций. Расчленение УЭС на элементы достаточно условная задача. В работе под элементом УЭС понимается техническое устройство, выполняющее определенную функцию, включая автоматизированные рабочие места. Характерной особенностью современных УЭС является то, что входящие в его состав элементы неремонтопригодны и при выходе из строя подлежат замене.

При построении модели надежности УЭС МИСС предполагается, что его элементы, как и весь узел, могут находиться только в одном из двух возможных состояний - работоспособном или неработоспособном. Под работоспособностью УЭС понимается его состояние, при котором он способен выполнять свое целевое предназначение с параметрами, установленными требованиями эксплуатационно-технической документации, в течение расчетного срока службы.

## Technique of assessment and reliability augmentation of nodes functioning of multiservice electric communication in communication networks

Mikhailov M.Yu.,  
The Federal State Unitary Enterprise  
"Scientific Research Institute "Rubin"

### Abstract

The Multiservice infocommunication communication network is the communication network providing to subscribers provision of an unlimited set of services with flexible opportunities for their control, personalisation and creations of new services due to standardization of network decisions and including in the composition of a delivery system, storage, processing and information search.

**Keywords:** assessment technique, reliability, electric communication node, communication network, subscriber.

Для оценки надежности УЭС в первую очередь необходимо оценить влияние каждого элемента на его работоспособность в целом. С этой точки зрения целесообразно разделить все элементы УЭС на группы [1, 4]:

1. Элементы, отказ которых практически не влияет на работоспособность УЭС.

2. Элементы, работоспособность которых за время эксплуатации практически не изменяется и вероятность безотказной работы близка к единице.

3. Элементы, отказ которых сам по себе или в сочетании с отказами других элементов может привести к отказу УЭС в целом.

Наибольшее влияние на формирование надежности будут оказывать элементы последней группы.

Для описания модели оценки надежности функционирования УЭС МИСС применяется ряд случайных величин: коэффициент оперативной готовности –  $K_{OP}$ , коэффициент готовности –  $K_G$ , наработка на отказ (среднее время безотказной работы) –  $T_0$ , вероятность безотказной работы –  $p(t)$ , интенсивность отказов –  $\lambda(t)$ , плотность вероятности отказов (частота отказов) –  $f(t)$  [1, 8, 37].

Коэффициент оперативной готовности УЭС – это вероятность того, что узел окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени  $t$ , кроме планируемых периодов, в течение которых его применение по назначению не предусматривается, и, начиная с этого момента, будет работать безотказно в течение заданного интервала времени  $\tau$ .

$$K_{OP} = K_G p(\tau), \quad (1)$$

где  $p(\tau)$  – вероятность безотказной работы узла за интервал времени  $\tau$ .

Коэффициент оперативной готовности характеризует надежность УЭС, необходимость применения которого возникает в произвольный и непредсказуемый момент времени  $t$ , после которого требуется определенная безотказная работа.

Коэффициент готовности УЭС – это вероятность того, что узел окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых его применение по назначению не предусматривается [1, 4].

Коэффициент готовности представляет собой отношение времени наработки на отказ к сумме времени наработки на отказ и среднего времени восстановления [1, 4].

$$K_G = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (2)$$

где  $T_B$  – среднее время восстановления (суммарное время замены и настройки оборудования).

Наработкой на отказ (средним временем безотказной работы) УЭС МИСС называют технический параметр, характеризующий надежность узла и показывающий продолжительность его работы [4]. Для невосстанавливаемых (неремонтируемых) элементов и систем, к которым относится УЭС – это математическое ожидание времени работы системы до отказа [33, 37]:

$$T_0 = M[T_0] = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = - \int_0^{\infty} t dp(t), \quad (3)$$

где  $t$  – текущее значение наработки;  $f(t)$  – плотность вероятности возникновения отказа УЭС в целом или невосстанавливаемого элемента;  $p(t)$  – вероятность безотказной работы в интервале времени  $0 < t < T$ . В начальный момент вероятность  $p(t)$  равна единице. В конце времени работы системы вероятность  $p(t)$  равна нулю.

Проинтегрировав выражение (3) для  $T_0$  по частям, получим:

$$T_0 = \int_0^{\infty} p(t) dt, \quad (4)$$

Вероятность безотказной работы УЭС – это вероятность того, что в пределах заданной наработки или заданном интервале времени  $t$  отказ узла (нарушение его работоспособности) не возникает [1, 3, 4]. Показатель вероятности безотказной работы определяется статистической оценкой:

$$p(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0} = 1 - \int_0^t f(t) dt, \quad (5)$$

где  $N_0$  – исходное число работоспособных элементов УЭС;  $n(t)$  – число отказавших элементов УЭС за время  $t$ .

Вероятность противоположного события называется вероятностью отказа и дополняет вероятность безотказной работы до единицы:

$$q(t) = 1 - p(t) = F(t), \quad (6)$$

$F(t)$  представляет собой интегральную функцию распределения наработки до отказа. Вероятность  $p(t)$  связана с плотностью вероятности возникновения отказа узла или его невосстанавливаемых элементов следующим образом:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{dq(t)}{dt} = \frac{d[1 - p(t)]}{dt} = - \frac{dp(t)}{dt}, \quad (7)$$

Плотность вероятности отказов является характеристикой, показывающей частоту возможных отказов УЭС и характеризует скорость уменьшения вероятности безотказной работы [2, 3, 4].

Под интенсивностью отказов УЭС понимают соотношение числа отказавших в единицу времени элементов узла к среднему числу элементов исправно работающих в данный отрезок времени при условии, что отказавшие устройства не восстанавливаются и не заменяются исправными.

$$\lambda(t) = \frac{n(t)}{N_{cp} \Delta t} = \frac{\alpha(t)}{[N - n(t)] \Delta t} = \frac{f(t)}{p(t)} = \frac{1}{p(t)} \frac{dp(t)}{dt}, \quad (8)$$

где  $N$  – общее число рассматриваемых технических устройств УЭС;  $f(t)$  – плотность вероятности возникновения отказов (частота отказов элементов УЭС;  $p(t)$  – вероятность безотказной работы элементов УЭС;  $n(t)$  – число отказавших элементов в интервале времени от  $t - \frac{\Delta t}{2}$  до  $t + \frac{\Delta t}{2}$ ;  $\Delta t$  – рассматриваемый интервал времени;  $N_{cp}$  – среднее число исправно работающих элементов УЭС в интервале  $\Delta t$ .



$N_{\text{оп}}$  определяется выражением:

$$N_{\text{оп}} = \frac{N_i + N_{i+1}}{2}, \quad (9)$$

где  $N_i$  – число исправно работающих элементов УЭС в начале интервала  $\Delta t$ ;  $N_{i+1}$  – число исправно работающих элементов УЭС в конце интервала  $\Delta t$ .

Интенсивность отказов характеризует условную плотность вероятности возникновения отказа элементов узла при условии, что к моменту  $t$  отказ не возник.

Проинтегрировав (8) вероятность безотказной работы будет определена выражением:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right], \quad (10)$$

Выражение (10) является основным законом надежности, позволяющий установить временное изменение вероятности безотказной работы при любом характере изменения интенсивности отказов во времени. В частном случае постоянства интенсивности отказов при  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$  выражение (10) переходит в экспоненциальное распределение:

$$\left. \begin{aligned} p(t) &= \exp(-\lambda t) \\ F(t) &= 1 - \exp(-\lambda t) \\ f(t) &= \lambda \exp(-\lambda t) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

и поток отказов называется простейшим. Именно такой вид потока отказа реализуется в большинстве современных радиоэлектронных средств в течении периода нормальной эксплуатации от окончания приработки до начала старения и износа.

На основании (3) и (11) среднее время безотказной работы будет определяться выражением:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda}, \quad (12)$$

т.е. при простейшем потоке отказов среднее время безотказной работы  $T_0$  обратно интенсивности отказов  $\lambda$ . При времени средней наработки равной среднему времени безотказной работы ( $t = T_0$ ), вероятность безотказной работы УЭС будет равна:

$$P(t) = \frac{1}{e}, \quad (13)$$

где  $e = 2,71828\dots$

В последнее время в научной литературе для построения моделей надежности функционирования технических устройств используют показатель, называемый гамма-процентной наработкой до отказа. Под данным термином понимается такая наработка, в течении которой отказ технического устройства не возникнет с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах [4].

В соответствии с (11) вероятность наступления отказа и время наработки до отказа будут определяться выражениями:

$$F(t_\gamma) = 1 - P(t_\gamma) = 1 - \frac{\gamma}{100}, \quad (14)$$

$$T_\gamma = -\frac{\ln P_\gamma}{\lambda} = -T_0 \ln P_\gamma, \quad (15)$$

Значение  $\gamma$  задают исходя из условий функционирования УЭС (обычно задается на уровне 95-98%) [2, 4].

Порядок оценки надежности функционирования УЭС МИСС будет выглядеть следующим образом:

1. Анализ существующей структуры УЭС и его комплектации элементами различного назначения.
2. Определение элементов, оказывающих наибольшее влияние на боеготовность УЭС и надежность его функционирования в целом.
3. Расчет показателей надежности для элементов и УЭС в целом.
4. Выработка предложений по формированию структуры УЭС и его комплектации различными техническими устройствами.

На основании вышесказанного, можно предположить, что повышение надежности функционирования УЭС МИСС возможно за счет:

- применения телекоммуникационного оборудования с вероятностью наступления отказа близкими к 1;
- проведения плановых работ по техническому обслуживанию, ремонту и своевременной замены применяемого оборудования.

В зависимости от поставленной задачи конечной целью оценки надежности функционирования УЭС МИСС помимо выработки предложений по формированию его структуры могут быть сформулированы предложения по формированию ЗИП, порядку и правилам проведения регламентных работ и технического обслуживания [2].

## Литература

1. Какуев А.Г. Расчет надежности технических систем: методическое пособие. – Астрахань: Издательство государственного университета, 2007. – 22 с.
2. Надежность технических систем: Справочник / Под ред. Ушакова И.А. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. Надежность и живучесть систем связи / Под ред. Дудника Б.Я. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.
4. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 19 с.
5. Легков К.Е. Процедуры и временные характеристики оперативного управления трафиком в транспортной сети специального назначения пакетной коммутации // Т-Сопт: Телекоммуникации и транспорт, 2012. – №6. – С. 22-26.