
УДК 621.396

А.Л. Ткаченко, Л.А. Бондаренко, В.П. Кучер, К.В. Андреев

Военный институт телекоммуникаций и информатизации ГУТ, Киев

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К НАДЕЖНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Рассматривается проблема обоснования требований к надежности элементов информационно-телекоммуникационных сетей. Предложен методический подход к выбору количественных значений показателей надежности объектов информатизации, узлов и направлений связи телекоммуникационной сети. Представлен алгоритм распределения требований по надежности, предъявляемых к тракту обмена информацией между элементами телекоммуникационных сетей.

Ключевые слова: *информационно-телекоммуникационная сеть, узлы связи, линии связи, надежность сети, коэффициент готовности.*

Введение

Определим надежность как свойство системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих ее спо-

собность выполнять основное назначение при воздействии неисправностей (отказов и сбоев) технических средств, ошибок в программах и данных, ошибок персонала и пользователей в заданных режимах и условиях эксплуатации при известных характери-

стиках системы технического обслуживания и ремонта [1].

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта может включать безотказность, ремонтпригодность и долговечность или сочетание этих свойств. [1, 2, 3]

Надежность отражает влияние на работоспособность системы главным образом внутрисистемного фактора – случайных отказов аппаратно-программных комплексов.

При формировании тактико-технического задания на создание информационно-телекоммуникационных сетей (ИТКС) требования по надежности задаются, чаще всего, в виде требований к надежности ее трактов обмена информацией между заданной парой абонентов. При проектировании возникает задача распределения требований по надежности, предъявляемых к тракту обмена информацией между элементами ИТКС (объектами информатизации, узлами телекоммуникационной сети, направлениями связи).

В общем виде такая задача для больших систем является сложной вследствие неоднозначной зависимости надежности системы от ее структуры. В статье предлагается следующий приближенный подход к ее решению.

1. Выбор показателей надежности и метода расчета

Выбор показателей надежности является конкретной задачей, зависящей от требований к результатам функционирования ИТКС. Показатели надежности, в зависимости от уровня рассматриваемой системы удобно разделять на оперативные и технические. Оперативные показатели характеризуют качество функционирования системы с точки зрения потребителя, а технические носят „технологический” характер и нужны для технических расчетов и статистических оценок [4].

Оперативным показателем надежности системы целесообразно выбрать коэффициент готовности системы (K_T), определяемый как отношение времени, в течении которого система находится в работоспособном состоянии к общей длительности рассматриваемого периода. Это комплексная характеристика безотказности и ремонтпригодности системы, которая характеризуется показателями ремонтпригодности: T_o – среднее время наработки на отказ и T_v – среднее время восстановления после отказа. Предполагается, что рассматривается установившийся процесс эксплуатации, математической моделью которого является стационарный случайный процесс [4].

Оценка надежности функционирования сложных систем на практике часто вызывает много затруднений в связи с большой трудоемкостью расче-

тов из-за необходимости анализа большого числа состояний. Для упрощения расчетов прибегнем к методу декомпозиции – анализу надежности отдельных подсистем (ветвей) ИТКС.

Для решения классической задачи расчета надежности ИТКС возможно применение одного из трех методов: статистического, аналитического или аналитико-статистического, который соединяет достоинства как аналитического, так и статистического методов. [5]

В классической задаче надежности рассматриваются системы следующего вида. Система состоит из n элементов. Каждый элемент случайно может находиться либо в рабочем состоянии, либо в состоянии отказа. Совокупность состояний элементов удобно выражать двоичным вектором X :

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1.1)$$

где x_i – состояние i -го элемента, $x_i \in \{0, 1\}$.

При этом $x_i = 1$ означает, что i -й элемент находится в состоянии отказа, $x_i = 0$ – что он работает. Случайные величины x_i независимы, так как элементы отказывают независимо друг от друга. Известны вероятности отказа элементов: $p_i = P\{x_i = 1\} = M(x_i)$. Обозначим набор вероятностей через P :

$$P = (p_1, p_2, \dots, p_n). \quad (1.2)$$

Так как вектор P полностью задает закон распределения случайных величин X , то примем $X \sim P$.

Система в целом также либо работает, либо находится в состоянии отказа. Состояние системы однозначно определяется совокупностью состояний элементов, т.е. является логической функцией вида

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_n) = y(X), \quad (1.3)$$

где $y \in \{0, 1\}$ – состояние системы: $y = 1$ – состояние отказа, $y = 0$ – рабочее состояние системы.

Обозначим через Q вероятность отказа системы, т.е. $Q = P\{y = 1\} = M(y)$.

В классической задаче надежности требуется найти вероятность отказа системы Q при известных вероятностях отказа элементов (1.2). Таким образом, чисто формально условие классической задачи надежности может быть изложено таким образом.

Даны n -мерная двоичная случайная величина $X \sim P$ и логическая функция $y = y(X)$. Требуется найти значение $Q = M(y)$. Как видим, данная задача вполне может рассматриваться как типовая задача статистического эксперимента.

В основе статистического моделирования лежит процедура, применяемая для моделирования случайных величин и функций и носящая название метода статистических испытаний (метод Монте-Карло). Результат ищется как математическое ожидание некоторой случайной величины Y , которая чаще всего является неслучайной функцией случайной величины X , имеющей распределение $p(x)$. Таким образом, испытания реальной системы замене-

ны на испытания математической модели, где каждое испытание сопровождается расчетом. Основным недостатком статистического расчета: получение приближенного, и только для конкретных числовых значений вероятностей отказов p_1, \dots, p_n . Если нужно исследовать зависимость отказа Q от этих параметров, то приходится повторять расчет для их новых значений, что требует больших временных затрат, особенно при проведении расчетов высоконадежных систем. Эксперименты трудно осуществлять даже на мощных современных компьютерах.

Аналитическое решение классической задачи надежности в значительной степени опирается на представление зависимости $y(X)$ в виде надежности графа. Например, на рис. 1.1 представлен граф некоторой системы, состоящей из 4 элементов. Считается, что отказу i -го элемента соответствует пропадание i -го ребра графа (ребра изображаются в виде прямоугольников). Система в целом считается отказавшей в тех случаях, когда между полюсами А, В не остается ни одного пути. Такой граф определяет состояние системы для любых состояний элементов, т.е. полностью определяет функцию $y(X)$.

Если все элементы в графе параллельны (рис. 1.2), то система отказывает тогда и только тогда, когда отказывают все элементы (все $x_i = 1$), т.е.

$$y = \prod x_i \quad (1.4)$$

Следовательно, для параллельного соединения

$$Q = M(y) = M(\prod x_i) = \prod M(x_i) = \prod p_i, \quad (1.5)$$

где \prod – символ произведения,

$$M(\prod x_i) = \prod M(x_i),$$

в силу независимости $x_i, i = 1 \dots n$.

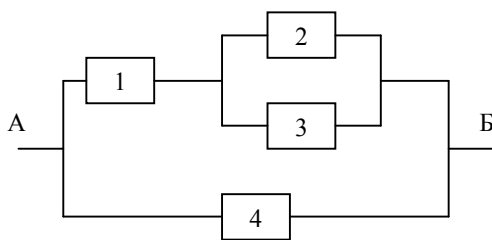


Рис. 1.1. Пример приводимого графа

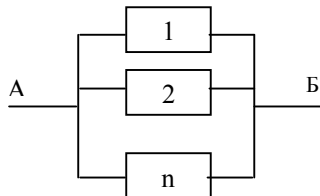


Рис. 1.2. Параллельное соединение элементов

Если элементы соединены последовательно (рис. 1.3), то система работает ($y = 0$) тогда и только тогда, когда работают все элементы (все $x_i = 0$). Этот факт можно выразить формулой

$$y = 1 - \prod (1 - x_i). \quad (1.6)$$

Следовательно, для такого построения сети $Q = M(y) = 1 - \prod M(1 - x_i) = 1 - \prod (1 - p_i) = 1 - \prod q_i, \quad (1.7)$ где $q_i = 1 - p_i$ – вероятность работоспособного состояния i -го элемента, $i = 1 \dots n$.

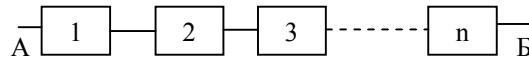


Рис. 1.3. Последовательное соединение

Используя (1.5) и (1.7), можно рассчитать надежность любой системы, изображенной в виде параллельно-последовательного (т.е. так называемого приводимого) графа.

Например, для рис. 1.1 "параллельная" формула (1.5) применяется к параллельному соединению ребра 4 и группы ребер 1, 2, 3. При этом вероятность отказа для групп 1, 2, 3 выражается с помощью "последовательной" формулы через p_1 и через вероятность отказа группы 2, 3. А последняя вероятность – прямо через вероятности p_2, p_3 :

$$Q = M(y) = p_4 p_{123} = p_4 (1 - q_1 q_{23}) = p_4 (1 - q_1 (1 - p_{23})) = p_4 (1 - q_1 (1 - p_2 p_3)). \quad (1.8)$$

Эта формула, полученная для рис. 1.1, содержит четыре вхождения аргументов. Будем говорить, что ее длина равна 5. Длина расчетной формулы для приводимого графа из n элементов составит n . Как видим, формулы приводимых графов получаются весьма компактными и простыми для вычислений.

Кроме того, процесс получения расчетной формулы здесь также весьма прост. Он не требует анализа функции $y(X)$ или путей А, В. Вместо этого выполняется разбиение графа на подграфы. В результате расчетов надежности упрощенной модели сети могут быть выработаны рекомендации и критерии по выбору топологии и структуры, которые помогут достичь более высокой надежности сети в целом.

ИТКС представляет собой иерархическую многоуровневую территориально распределенную ведомственную информационно-телекоммуникационную систему, организационно-техническая и функциональная структуры которой соответствуют структуре органов управления ведомства [5 – 8]. Вариант схемы такой ИТКС представлен на рис. 1.4.

В таких сетях информационное взаимодействие органов управления обеспечивается в порядке непосредственной подчиненности (на рисунке обозначено \leftrightarrow). Взаимодействие через инстанцию (на рисунке обозначено \longleftrightarrow) вниз (вверх) организуется с использованием телекоммуникационного узла (иногда и комплекса средств автоматизации) на промежуточном объекте.

При необходимости взаимодействие через две инстанции вниз (вверх) организуется с использованием двух промежуточных объектов информатизации. При обосновании требований к надежности элементов ТКС для таких сетей возможно несколько случаев:

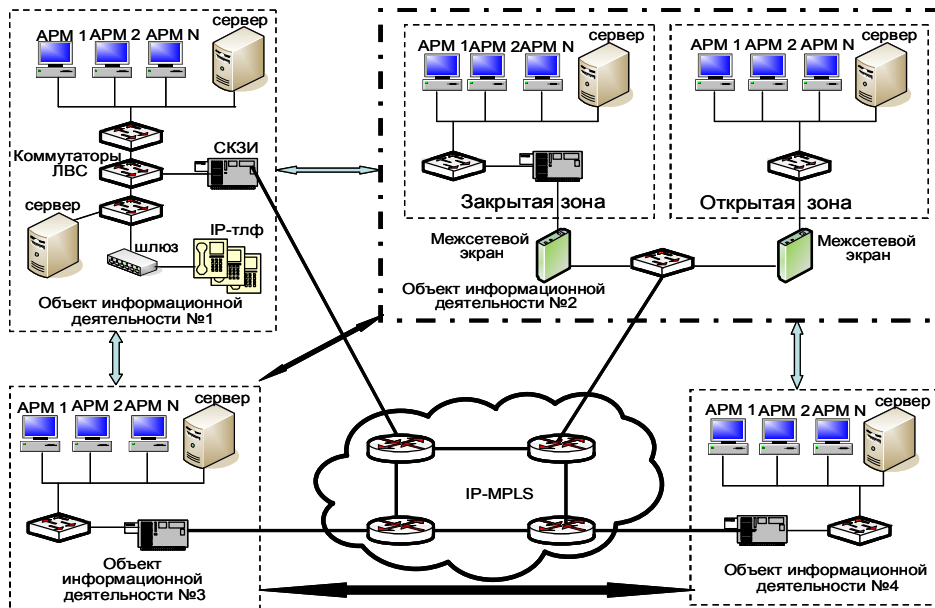


Рис. 1.4. Вариант схемы ИТКС

1. Дополнительные требования к надежности тракта, при передаче информации через инстанцию вниз (вверх), не предъявляются.

В этом случае результирующий коэффициент готовности ($K_{Г1,3}$) тракта обмена информацией между объектами информатизации 1 и 3 (рис. 2.1) может быть определен как $K_{Г1,3} \approx K_{ГТКС3} \cdot K_{Гоп}$.

Коэффициент готовности между объектами 1 и 4

$$K_{Г1,4} \approx K_{ГТКС3} \cdot K_{Гоп2},$$

где $K_{Гоп}$ – коэффициент готовности промежуточного объекта (чаще всего $K_{Гоп} = K_{Г0}$). Требования к узлам и линиям связи телекоммуникационной сети определяются так же, как и в предыдущем случае;

2. Заданные требования к надежности тракта обмена информацией ($K_{ГТ}$) должны выполняться между любой парой объектов ИТКС. Выполнение этого требования обеспечивается путем реализации одного из следующих вариантов:

а) требования к узлам и линиям связи телекоммуникационной сети задаются с учетом необходимости обеспечить выполнение требований к надежности трактов обмена информацией при передаче информации через инстанцию вниз (вверх), в этом случае вычисления показателя готовности следует производить по формулам:

– при обмене информацией через инстанцию вниз (вверх):

$$K_{Гоп} = K_{ГТКС} \geq \sqrt[3]{K_{ГТ}};$$

– при обмене информацией через две инстанции вниз (вверх) –

$$K_{Гоп} = K_{ГТКС} \geq \sqrt[7]{K_{ГТ}},$$

например, пусть требуется обеспечить $K_{ГТ} = 0,99$; тогда показатели надежности узлов телекоммуникационной сети должны быть не менее $K_{Гус} \geq 0,97$ (при обмене информацией через инстанцию),

$K_{Гус} \geq 0,985$ (при обмене информацией через две инстанции);

б) между корреспондирующими объектами сети организуются прямое информационное взаимодействие с использованием ресурсов собственной ведомственной телекоммуникационной сети, аренды каналов и трактов общегосударственной сети электросвязи, либо аренды услуг.

Требования к узлам и линиям связи телекоммуникационной сети, в этом случае, определяются в соответствии с требованиями ведомственных, общегосударственных норм или норм, определяемых МСЭ.

Выбор варианта обоснования требований к надежности узлов и линий связи телекоммуникационной сети зависит, в первую очередь, от требований к надежности доставки информации между объектами сети. Однако следует иметь в виду, что реализация высоких требований по надежности связана с существенными материальными затратами (резервирование технических средств и программного обеспечения, аренда дополнительных каналов и (или) услуг связи). Поэтому обоснование требований к надежности узлов и линий связи следует производить по критерию эффективность–стоимость. На практике, чаще всего, при обосновании требований к надежности узлов и линий связи телекоммуникационной сети применяется первый подход, когда дополнительные требования к надежности тракта передачи информации через инстанцию вниз (вверх), не предъявляются.

2. Методический подход к оценке надежности элементов тракта обмена информацией в ИТКС

Параметры надежности часто зависят от вектора нагрузок (список значений нагрузок каналов, влияющих на доступ и качество обслуживания). По

этої причине, формулюючи задачу оцєнки надєжності, нужно определити, какие из параметров важны: связность, пропускная способность, время восстановления связности или минимизация задержек. [6]

Рассмотрим методический подход к оценке надежности элементов тракта обмена информацией (объектов информатизации, информационно-телекоммуникационных узлов (ИТУ), и направлений связи). В их состав входят ИТУ, которые, с одной стороны (в части оборудования ЛВС объекта), являются составными элементами объектов информатизации, с другой, они являются составными элементов направлений привязки объекта информатизации к телекоммуникационной сети. Поэтому, при оценке надежности элементов тракта обмена информацией часть оборудования ИТУ будет учитываться при оценке надежности объекта информатизации, а другая часть при оценке надежности направления привязки.

2.1. Оценка надежности объектов информатизации

В общем случае уровень надежности объектов ИТКС определяют следующие факторы:

- уровень надежности используемых технических средств и их взаимосвязи в общей структуре объекта;
- уровень надежности используемых программных средств с учетом их взаимосвязи в структуре программного обеспечения;
- уровень квалификации (надежности действий) персонала;
- режимы и организационные формы технической эксплуатации;
- степень использования различных видов резервирования (структурного, информационного, временного, алгоритмического, функционального);
- степень использования методов и средств технической диагностики, охвата контроля и условий функционирования.

Расчет показателей надежности объектов производится в последовательности, рассмотренной в работах [4, 7, 8]:

- выбираются оцениваемые показатели надежности и формулируется критерий отказа при нормальном функционировании;
- подготавливаются исходные данные для расчета;
- составляется эквивалентная схема для расчета надежности;
- осуществляется расчет показателей надежности в соответствии с разработанными методиками;
- полученные результаты анализируются и обобщаются для проведения последующих расчетов.

При разработке методики приняты следующие допущения:

- распределение времени безотказной работы подчиняется экспоненциальному закону;

- отказы элементов являются независимыми и случайными событиями;

- рассматриваются наиболее критичные варианты функционирования системы с точки зрения выполнения им основных функциональных задач объекта.

Под отказом объекта будем понимать событие, заключающееся в прекращении выполнения объектом основных функциональных задач по причине неисправности аппаратно-программных средств и требующее для восстановления процесса функционирования проведения восстановительных работ с привлечением обслуживающего персонала.

В качестве основных показателей надежности комплексов средств автоматизации (КСА) объекта используются коэффициент готовности (K_G) и среднее время восстановления работоспособности (T_B). В качестве дополнительного показателя надежности используется среднее время наработки объекта на отказ (T_O) [9]. Оценка показателей надежности объекта проводится с использованием эквивалентных схем для расчета надежности, расчетным методом по формулам (1.4 – 1.8). Коэффициент готовности (K_G) системы определяется по формуле:

$$K_G = \frac{T_O}{T_O + T_B} \quad (2.1)$$

Полагая, что $T_O \gg T_B$ и отказы элементов системы в эквивалентной схеме расчета для расчета надежности независимы между собой, то расчеты будем проводить по методу аналитического решения классической задачи надежности (формулы 1.4 – 1.8). При оценке надежности будем считать, что:

- технические средства аппаратно-программных комплексов объектов в соответствии с классификацией показателей надежности (ГОСТ В 20.39.303-76) относятся к виду 1, категории А (аппаратура многократного применения, ремонтируемая, восстанавливаемая непосредственно после обнаружения отказа);
- аппаратно-программные средства (АПС) объектов функционируют круглосуточно;
- в эквивалентную схему для расчета надежности включено оборудование, обеспечивающее выполнение основных функций объекта. Выход из строя оборудования, не влияющего на выполнение этих функций, не оказывает существенного влияния на выполнение основной задачи комплексов средств автоматизации в схему для расчета надежности не включается;
- во всех ИТУ серверы попарно резервируют друг друга в режиме „горячего резерва” и выход из строя одного сервера не окажет существенного влияния на процессы функционирования КСА в целом;
- ряд автоматизированных рабочих мест, по выполняемым функциям, дублируют друг друга и могут рассматриваться в качестве взаимного резерва.

Пример составления эквивалентной схемы для расчета надежности объекта информатизации представлен на рис. 1.1 – 1.3.

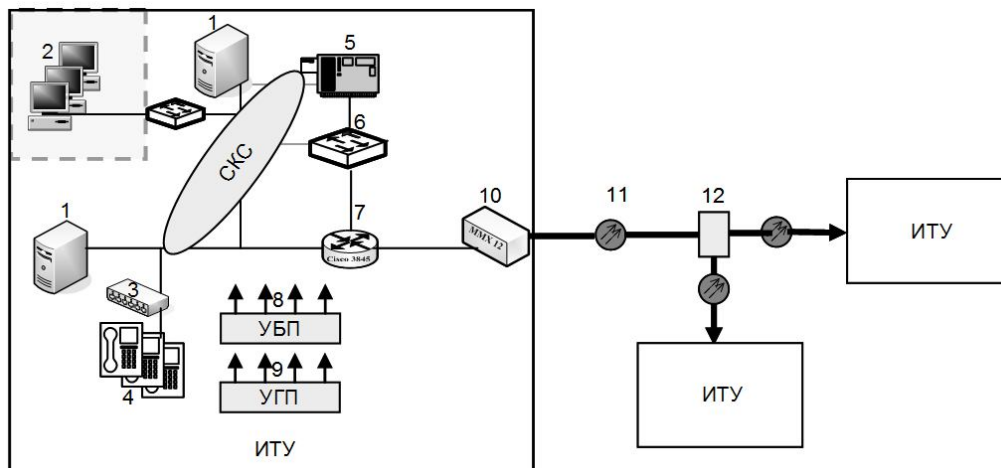
Показатели надежности функционирования технических средств (среднее время наработки на отказ и среднее время восстановления работоспособности) указывается в формулярах (паспортах) на технические средства. При отсутствии таких данных можно воспользоваться другими доступными источниками.

2.2. Оценка надежности узлов и направлений связи ИТКС

Предложенный подход к оценке надежности объектов ИТКС может быть применен и к оценке надежности узлов и направлений связи ТКС. На рис. 2.1 приведен фрагмент типовой структурной схемы телекоммуникационной сети. В ней можно выделить оборудование, относящееся к каналной части – каналообразующее (9 - 13) и оборудование, являющееся общеузловым (1, 5, 6, 8, 9), функционирующим в интересах нескольких (или всех) каналов связи, организуемых на данном ИТУ.

При выходе из строя канального оборудования фиксируется отказ только одного канала (направления) связи. При выходе из строя узлового оборудования отказ фиксируется на нескольких (или на всех) каналах (направлениях) связи. При оценке надежности направления привязки ИТУ в состав эквивалентной схемы для расчета надежности направления привязки включается канальная часть оборудования объекта информатизации, линия привязки, соединяющая их между собой.

При оценке надежности магистральных направлений в состав эквивалентной схемы для расчета надежности направления связи включается канальные части оборудования узлов связи и магистральная линия связи (10, 11, 12), соединяющая ИТУ. При оценке надежности узла связи телекоммуникационной сети в состав эквивалентной схемы для расчета надежности включается общеузловое оборудование, отказ которого приводит к невозможности обеспечить транзит информации между каналами (направлениями) связи (1, 6, 7, 8, 9).



- ИТУ - информационно-телекоммуникационный узел,
 СКС - структурированная кабельная сеть,
 1 - серверы,
 2 - автоматизированные рабочие места,
 3 - шлюзы,
 4 - IP аппараты,
 5 - аппаратура криптозащиты,
 6 - коммутаторы,
 7 - маршрутизаторы,
 8 - устройство бесперебойного питания,
 9 - устройство гарантированного питания,
 10 - оптический мультиплексор,
 11 - ВОЛС,
 12 - регенераторный пункт,
 13 - станция спутниковой связи

Рис. 2.1. Фрагмент типовой структурной схемы телекоммуникационной сети

3. Методика решения задачи оценки надежности ИТКС

В качестве модели надежности будем использовать логическую схему надежности ИТКС. Решение задачи перехода от графовой модели к логической схеме надежности заключается в следующем. В результате анализа функционирования ИТКС определяются события, приводящие к потере работоспособности сети, т.е. потере связи между серверами. Такими событиями могут быть отказ одного или множества каналов передачи данных и (или) обще-

узловых устройств. Выделенные элементы, приводящие к отказу сети, включаются последовательно в схему надежности сети. Элементы, отказ которых не приводит к потере работоспособности, образуют параллельные соединения в схеме надежности. Сеть способна продолжать передачу данных при отказе ее отдельных каналов, если топология архитектуры содержит цепи, позволяющие обойти отказавшие каналы связи.

Таким образом, отказом ИТКС является событие, приводящее к тому, что графмодель сети становится несвязной.

Изложенное выше позволяет сформулировать следующую методику решения задачи оценки надежности ИТКС:

- составляется топологическая модель исследуемой сети с выделением в ней отдельных функциональных элементов;
- производится структуризация сети, построение сетевой модели, построение функциональных моделей элементов сети;
- создается эквивалентная схема для расчета надежности сети;
- каждому элементу сети ставятся в соответствие параметры, характеризующие надежность элементов ИТКС и различные виды ее избыточности;
- определяются значения выбранных параметров (путем их аналитического расчета или в результате обработки статистических данных);
- выбирается метод оценки надежности с учетом принятой в ИТКС системы обслуживания заявок, характера исходных данных и заданных точности и времени получения оценки;
- производится расчет и оценка надежности исследуемой ИТКС в целом.

Заклучение

При обосновании требований к надежности информационно-телекоммуникационной сети необходимо учитывать, что выполнение этих требований связано с существенными материальными затратами по организации резервирования технических средств и программного обеспечения, аренде каналов связи или услуг. Поэтому требуется взвешенный системный подход, поскольку завышенные требования ведут к неоправданным затратам, а заниженные требования приводят к невозможности выполнить сетью возложенные на нее задачи.

В связи с этим, уже на стадии формирования технического задания необходимо выполнить пред-

варительный расчет с распределением общесистемного требования к сети по ее элементам.

Предложенный в статье подход к оценке надежности элементов тракта обмена информацией в ИТКС позволяет обоснованно подходить к выбору количественных значений показателей надежности объектов информатизации, узлов и направлений связи телекоммуникационной сети и может применяться, как на различных этапах создания ИТКС, так и в процессе ее эксплуатации.

Список литературы

1. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения.
2. Проект МС МЭК 61907 «Руководство по обеспечению надежности коммуникационных сетей».
3. Стандарты МЭК 60300-3-4: Менеджмент надежности — Часть 3-4: Руководство по применению — Руководство по заданию требований к надежности/
4. Надежность технических систем. Справочник под ред. И.А.Ушакова. — М.: Радио и связь, 1985. — 608 с.
5. Курузов О.И. Моделирование телекоммуникационных сетей. Учебн. пос. [Электронный ресурс] / О.И. Курузов, Т.М. Татарников. — Режим доступа: <http://dvo.sut.ru/libr/ius/w101kutu/index.htm>.
6. Проблемы построения информационно-телекоммуникационных систем интегрированного типа / И.А. Соколов, А.В. Полянский, Э.В. Киселев, И.Н. Синицин, А.И. Темнов // Системы и средства информатики. — Вып. 11. — М.: Наука, 2001. — С. 5 — 23.
7. Шмалько А.В. Цифровые сети связи. Основы планирования и построения / А.В. Шмалько. — М.: Экотрендз, 2001. — 282 с.
8. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пос. Т. 3.- Мультисервисные сети / Под. ред. В.П. Шувалова. — М.: Горячая линия—Телеком, 2005. — 592 с.

Поступила в редколлегию 2.04.2014

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Кувшинов, Военный институт телекоммуникаций и информатизации Государственного университета телекоммуникаций, Киев.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО НАДІЙНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

А.Л. Ткаченко, Л.О. Бондаренко, В.П. Кучер, К.В. Андреев

Запропонований методичний підхід до вибору кількісних значень показників надійності об'єктів информатизації, вузлів і напрямів зв'язку телекомунаційної мережі. Представлений алгоритм розподілу вимог по надійності, що проявляються до тракту обміну інформацією між елементами телекомунаційних мереж.

Ключові слова: інформаційно-телекомунаційна мережа, вузли зв'язку, лінії зв'язку, надійність мережі, коефіцієнт готовності.

GROUND OF REQUIREMENTS TO RELIABILITY OF INFORMATION-TELECOMMUNICATION NETWORKS

O.L. Tkachenko, L.O. Bondarenko, V.P. Kucher, K.V. Andreev

The methodical going is offered near the choice of quantitative values of reliability of objects of informatization, sites and directions connection of telecommunication network indexes. The algorithm of distributing of requirements on reliability, produced to the highway of exchange information between the elements of telecommunication networks is presented.

Keywords: information-telecommunications network, communication sites, link, network reliability, coefficient of readiness.