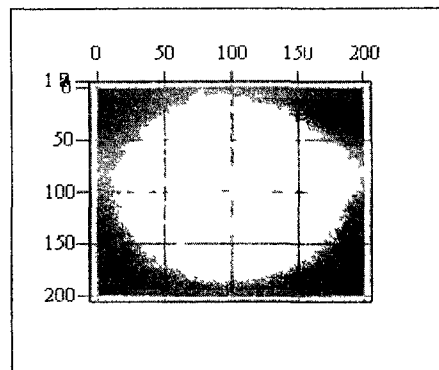


М



М

Рис 1 Томографические (интонационные) портреты вокализованных (а) $T_0=2$ мс, (б) $T_0=14$ мс и невокализованного (в) сегментов речи

A MODEL OF AUDITORY PERCEPTION OF SPEECH SIGNAL ON THE BASIS OF RESTORATIVE TOMOGRAPHY

V.G.Sannikov

The article considers statistical theory of reconstruction of a voice message in observable speech signals based on a hypothesis that auditory system is constructed on the principle of restorative tomography. The authors show the correlation of the function of auditory nerve impulse density as a prototype of the sought voice message in Radon space, with current spectrum of density of the observed speech signal power. The authors give an inversion formula to reconstruct voice messages in observable speech signals.

УДК 519.233.2

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАДЕЖНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Кузнецов В.В.¹, Кузьменко Г.Н.², Межуев Н.В.³

1 – профессор кафедры «Радиосистемотехника» ГОУ МАРТИТ

2 – директор Белгородского филиала ОАО «ЦентрТелеком»

3 – директор Московского филиала ОАО «ЦентрТелеком»

В статье приводятся материалы по подходам и оценке функциональной надежности мультисервисных сетей связи. Намечаются направления разработки научных и инженерных методик, которые могут быть применимы как при создании, так и при развитии мультисервисных сетей связи (МСС) региональными операторами электросвязи.

Надежность функционирования сложных систем (сетей) связи таких, как МСС находится в прямой зависимости от информационной нагрузки, то есть от параметров потоков заявок, поступающих в систему. Ошибки (сбои) работы таких систем обусловлены не только и не столько отказами технических средств, а во многом и

ошибками в комплексе алгоритмов и программ, сбоями в работе операторов, ошибками во входной информации [7]. Следует отметить важную особенность МСС, существенно влияющую на функциональную надежность, - это естественная избыточность (структурная, временная, функциональная). Это объясняется тем, что в МСС, рассчитанной в том числе и на обработку пиковых нагрузок, имеются свободные ресурсы в случайные интервалы времени.

Ниже приводятся научные материалы исследования функциональной надежности МСС, в которых основу положены результаты работ [6].

Объект и предмет исследований функциональной надежности

Объектом исследований традиционной теории надежности являются технические системы или технические устройства. Предмет её исследований – процессы отказов и восстановлений изделия. Поэтому, согласно ГОСТ 27.002-89, приняты следующие показатели надежности: среднее время до отказа, частота отказов, вероятность безотказной работы, среднее время восстановления, коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности. Эти показатели позволяют спрогнозировать, рассчитать, оценить объем суммарного времени работоспособности изделия, времени затрачиваемого на ремонты изделия в течение длительного интервала работы, вычислить количество отказов и восстановлений, вероятность отказа и др. В целом традиционные классические методы теории надежности ограничиваются расчетами нерезервированных и резервированных систем и позволяют выбрать рациональную стратегию обеспечения безотказности и восстанавливаемости изделия [1,4].

Известные методы теории надежности не предназначены для расчетов оценки правильности функционирования системы в целом, выполнения информационных и вычислительных процессов, эффективности применения тех или иных способов защиты от ошибок.

Опираясь на общие признаки МСС, а также на анализ характера отказов, сбоев, ошибок операторов, ошибок во входной информации, программных ошибок, характерных для информационных систем, к которым принадлежит МСС, приведенных, например, в [7], можно утверждать, что в МСС центр тяжести обеспечения надежности находится в области проблем расчета и обеспечения правильности и своевременности выполнения функциональных задач, а не только в области обеспечения безотказности и восстанавливаемости технических средств.

Поэтому наряду с обеспечением безотказности и восстанавливаемости технических средств МСС, необходимо обеспечивать функциональную надежность МСС. Исходя из этого, можно сказать, что – объектом исследования является многофункциональная иерархическая информационная система – мультисервисная система связи.

Предметом исследования являются процессы возникновения, обнаружения и устранения ошибок в выходных и промежуточных результатах работы системы, вызванных собственными и принесенными извне ошибками и связанными с характеристиками потока заявок, поступающих на обслуживание (на выполнение предусмотренных функциональных задач).

Обобщенным критерием функциональной надежности можно считать время активного сохранения работоспособности сети связи при заданной интенсивности отказов её элементов. Под активным сохранением работоспособности целесообразно понимать возможность противостоять отказам с помощью системы управления работоспособностью сети, в частности за счет восстановления структуры и функций сети связи, управления потоками, нагрузкой, маршрутизацией и т.д.

Определения функционального отказа

Пусть МСС в текущий момент времени выполняет n функциональных задач. Каждая задача реализуется какой-то группой технических средств и программ и описывается набором параметров. Совокупность возможных значений параметров i -ой задачи ($i \in n$, где n – количество решаемых задач) обозначим r_i . Множество r_i включает в себя подмножество x_i параметров надежности технических средств, привлекаемых для выполнения i -ой задачи, и подмножество y_i параметров надежности программ, обеспечивающих реализацию данной задачи, то есть $x_i \subset r_i$ и $y_i \subset r_i$.

Множество $R=(r_1, r_2, \dots, r_n)$ значений параметров всех задач, выполняемых в текущий момент времени, представляет собой мгновенный образ среды МСС, характеризующий состояние её функционирования в этот момент времени. Обработка этого образа может осуществляться различными способами. Типичный вариант обработки – это нахождение центра тяжести \bar{R} образа. В простейшем случае центр тяжести может быть вычислен как средневзвешенное значение мгновенных характеристик r_i . Координаты центра тяжести \bar{R} образа определяют состояние функционирования среды МСС. Они зависят от возможных значений параметров $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ технических средств, привлекаемых для текущего выполнения n задач, и от возможных значений параметров $Y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$ реализуемых программ.

Вследствие возникновения и устранения ошибок при выполнении любой из n функциональных задач координаты центра тяжести меняются во времени – имеет место случайный процесс $\bar{R}(t)$.

Отдельные реализации этого процесса будем называть траекториями процесса смены состояний g , а множество траекторий обозначим G , т.е. $g \in G$. Отсутствие ошибок в результате выполнения любой из функциональных задач на всем интервале времени t соответствует траектория g_0 .

Рассмотрим теперь множество $U=(u_1, u_2, \dots, u_n)$ значений параметров информационного процесса, выполняемого в МСС в текущий момент времени. К этим параметрам относятся скорость передачи информации, искажения информационных посылок вследствие помех, количество битов в пакетах, временные задержки в информационных обменах и др. Информационный процесс представляет собой случайный процесс $U(t)$.

Помимо образов R и U , характеризующих свойства функциональной надежности МСС, следует учитывать параметры внешних факторов, обусловленные воздействием внешней среды на систему. К ним относятся: параметры потока заявок, которые в случайные моменты поступления определяют требуемое количество технических и программных средств для обслуживания заявок, каналов для передачи информации; параметры оперативности обработки и передачи информации и т.д. Совокупность возможных значений параметров j -го внешнего фактора ($j \in m$, где m – количество учитываемых внешних факторов) обозначим Z_j . Вектором $Z=(z_1, z_2, \dots, z_m)$ определяются значения параметров внешних факторов, которые известны в текущий момент времени.

Введем функцию работоспособности $\Phi(R, U, Z, t)$, которая определяет способность МС в течение времени t правильно выполнять различные группы функциональных задач, правильно принимать и передавать все виды информации, циркулирующей в МСС, в соответствии с изменяющимися во времени параметрами внешних факторов.

Все множество состояний S системы разделяется на два подмножества $S_\Phi \cup \bar{S}_\Phi = S$, где S_Φ – подмножество состояний функционирования МСС, а \bar{S}_Φ – подмножество состояний с уровнями работоспособности МСС ниже допустимого. В свою очередь подмножество S_Φ также разделяется на два подмножества $S_0 \cup S_1 = S_\Phi$, где S_0 – состояния, в которых обеспечивается номинальная работоспособность МСС, так как

правильно принималась, и передавалась вся предусмотренная информация и все запрошенные задачи выполнялись правильно и в полном объеме. Это объясняется отсутствием отказов и ошибок в системе или хотя бы в тех средствах, которые привлекались для выполнения поступивших заявок. S_1 – состояния пониженной работоспособности МСС. Состояния S_1 также можно разделить на группы подмножеств, упорядочив их по степени снижения уровней работоспособности

$$S_{11} \supset S_{12} \supset S_{13} \dots \supset S_{1k},$$

где S_{11} и S_{12} – граничные с подмножествами S_0 и \bar{S}_Φ подмножества состояний пониженной работоспособности.

В принятых терминах под функциональным отказом МСС понимается переход процессов $K(t)$ и (или) $U(t)$ из одного подмножества S_{1k} в другое S_{1j} ($S_j \subset S_{1k}$) (или даже в \bar{S}_Φ) с худшим значением функции работоспособности $\Phi_j < \Phi_k$. Уровню номинальной работоспособности Φ_0 соответствует подмножество состояний S_0 .

Частично функциональные отказы имеют место в тех случаях, когда переходы $K(t)$ и (или) $U(t)$ из одного подмножества в другие с пониженным уровнем работоспособности осуществляется в пределах множества S_Φ .

Полный функциональный отказ МСС наступает при её переходе из подмножества состояний $S_j \subset S_\Phi$ в подмножество состояний $S_j \subset \bar{S}_\Phi$, когда уровень работоспособности системы меньше допустимого $\Phi_j < \Phi_{\text{доп}}$.

Итак, функциональная надежность МСС есть её способность выполнять предусмотренные целевые задачи в условиях взаимодействия с внешними объектами.

Показатели функциональной надежности

Показатели функциональной надежности предназначены для количественной оценки способности МСС правильно выполнять предусмотренные задачи в процессе функционирования. Их целесообразно разделить на показатели правильного выполнения информационных и вычислительных процессов. Система показателей должна отвечать ряду естественных требований:

- каждый показатель функциональной надежности должен быть измерим;
- должен допускать возможность экспериментальной проверки;
- система показателей должна быть удобной в практическом применении, наглядной, сравнимой, а каждый показатель – простым в физическом смысле и естественным с точки зрения оценки выполняемых в МСС вычислительных и информационных процессов,
- система показателей должна быть гибкой, чтобы обеспечить свертывания результатов расчета от низшего уровня к высшему;
- она должна содержать как единичные, так и комплексные показатели.

При этом единичные показатели предназначены для оценки качества отдельных процессов, а комплексные показатели – для оценки достигнутого уровня функциональной надежности МСС в целом.

Можно предложить перечень показателей функциональной надежности сложной системы (сети) связи:

- коэффициент функциональной готовности;
- коэффициент оперативной функциональной готовности;
- коэффициент технического использования – отношения математического ожидания времени пребывания системы связи в рабочем состоянии за некоторый период эксплуатации к продолжительности этого периода;
- математическое ожидание времени перестройки структуры сети для обеспечения выполнения её функций при отказе некоторых элементов;
- вероятность безотказного выполнения задачи;

- математическое ожидания времени передачи пакета информации;
- вероятность искажения передаваемых данных;
- вероятность трансформации данных;
- коэффициент обеспеченности вызовов – математическое ожидание отношения числа обеспеченных вызовов (то есть без потерянных) к общему числу вызовов, поступивших за тот же период времени;
- вероятность того, что все вызовы будут реализованы в заданный период времени;
- вероятность того, что между выделенными узлами (абонентами) будет обслужен поток с качество не хуже заданного в заданный период времени;
- вероятность сохранения заданного числа каналов между выделенными узлами сети до определенного момента времени;
- вероятность существования связи одного абонента и всеми абонентами (выделенным множеством) одновременно и т.д.

Выбор системы показателей прежде всего определяется основной целью (целями), поставленными перед системой связи, а также задачами, стоящими перед разработчиками, владельцами и пользователями системы связи.

Приведенный перечень не претендует на полноту, возможны и другие варианты критериев. Выбор конкретной системы критериев определяется той конкретной ситуацией, которая возникает при создании и эксплуатации сети связи. Вычисление показателей, соответствующих приведенным критериям, является весьма сложной задачей.

Ниже приводятся подходы к оценке некоторых показателей функциональности надежности.

Показатели правильности выполнения вычислительных процессов

Вероятность безотказного выполнения задачи P_3 . Это вероятность того, что в процессе выполнения задачи не возникнет ни одного функционального отказа. Пусть в течении длительного времени t задачи выполнялась n раз, а количество функциональных отказов равно $k \leq n$. Тогда оценка вероятности выполнения задачи равна $\hat{P} = \frac{n-k}{n}$ (1)

Вероятность безотказного выполнения в течение времени t вычислительных процессов.

Это вероятность безотказного выполнения в течение времени t потоков процессов и вложенных в них потоков задач. Она определяется как вероятность того, что либо не поступила заявка и задача не выполнялась, либо поступила одна заявка и задача выполнена безотказно, либо в общем случае поступило равно i заявок и по каждой из них задачи выполнения безотказно. Суммируя вероятность указанных событий, получим по формуле полной вероятности

$$P_{\text{вп}} = P(0,t)(P_3)^0 + P_1(1,t)(P_3)^1 + P(2,t)(P_3)^2 + \dots + P(i,t)(P_3)^i + \dots = \sum_{i=0}^{\infty} P(i,t)(P_3)^i,$$

где $P(i,t)$ – вероятность того, что в течение времени t поступит ровно i заявок, а P_3 – вероятность правильного однократного выполнения задачи.

$$\text{Таким образом, } P_{\text{вп}}(t) = \sum_{i=0}^{\infty} P(i,t)(P_3)^i. \quad (2)$$

Средняя наработка до функционального отказа.

Это показатель может быть вычислен с использованием следующего выражения

$$T_{\text{вп}} = \int_0^{\infty} P_{\text{вп}}(t) dt \quad (3)$$

Среднее время восстановления вычислительного процесса.

Обозначим длительность устранения i -го функционального отказа τ_{B_i} . Если в результате длительного наблюдения установлено, что при n выполнении задач имели место $k \leq n$ функциональных отказов, то оценка среднего времени восстановления

$$\text{следующая: } \hat{\tau}_{\text{ВВП}} = \frac{\sum_{i=1}^k \tau_{B_i}}{K} \quad (4).$$

Показатели правильного выполнения информационных процессов

Вероятность возникновения ошибки при передаче сообщения (пакета) P_c .

Данный показатель – это вероятность искажения, трансформации или потери сообщения (пакета). В некоторых информационных процессах весьма критичным является трансформация какой-либо части или всего сообщения (пакета). Для этой величины обычно задаются более жесткие требования, чем к вероятности простого искажения информации. Поэтому вероятность трансформации может рассматриваться, как отдельный показатель, хотя подходы к его определению одинаковы с подходами определения вероятности возникновения ошибки.

Пусть в результате длительного наблюдения установлено, что из n переданных сообщений правильно принято $m \leq n$, тогда оценка вероятности возникновения ошибки

$$\text{при передаче сообщения (пакета) определяется в виде: } \hat{P}_c = \frac{m}{n} \quad (5)$$

Вероятность безотказного выполнения в течение времени t информационных процессов $P_{\text{УП}}(t) = \sum_{i=0}^{\infty} P_{\text{ИП}}(i, t) (P_c)^i$, (6)

где $P_{\text{ИП}}(i, t)$ – вероятность поступления в течение времени t ровно i заявок на передачу сообщения (пакета).

Средняя наработка до функционального отказа МС относительно информационных процессов $T_{\text{ИП}}$: $T_{\text{ИП}} = \int_0^{\infty} P_{\text{УП}}(t) dt$ (7)

Среднее время восстановления информационного процесса в МСС.

Отказы в передаче информации могут быть вследствие отказов аппаратуры каналов передачи данных (отказы портов, маршрутизаторов, концентраторов, станций и др.), а также ошибок в передаваемой информации.

Поэтому интенсивность отказов канала передачи данных равна $\lambda_k = \lambda_1 + \lambda_2$,

где $\lambda_1 = \lambda_A$ – интенсивность отказов аппаратуры цифровых каналов, а $\lambda_2 = P_c / \Delta t$ – период передачи пакета (сообщения) – интенсивность ошибок в передаваемых сообщениях.

Тогда среднее время восстановления информационного процесса определяется выражением

$$T_{\text{ВИП}} = \frac{\lambda T_{\text{В1}} + \lambda_2 T_{\text{В2}}}{\lambda_k}, \quad (8)$$

где $T_{\text{В1}}$ – среднее время восстановления аппаратуры канала передачи данных, $T_{\text{В2}}$ – среднее время восстановления искаженных или утерянных сообщений (пакетов).

Комплексные показатели функциональной надежности

Коэффициент функциональной готовности МСС.

Этот показатель определяет вероятность того, что в произвольной момент времени МС готова к выполнению вычислительных и информационных процессов.

$$K_{\text{фг}} = \frac{T_{\text{вп}} T_{\text{ип}}}{(T_{\text{вп}} + T_{\text{ввп}})(T_{\text{ип}} + T_{\text{вип}})} \quad (9)$$

Коэффициент функциональной оперативной готовности МСС.

Этот показатель оценивает готовность к функционированию в произвольный момент времени и правильность выполнения в течение требуемого времени (τ) заданных процессов обработки и передачи информации в соответствии с предусмотренными алгоритмами $K_{\text{фг}}(\tau) = K_{\text{фг}} \cdot P_{\text{вп}}(\tau) P_{\text{ип}}(\tau)$ (10)

Основы аналитического расчета показателей функциональной надежности

Расчет показателей вычислительных процессов

Расчет вероятности безотказного выполнения задачи P_3 возможен с помощью одного из следующих двух подходов: детализированный (с помощью строгих математических моделей, подробных граф-схем) и прогнозирующий (приближенный).

Для сложных процессов, которые имеют место в МСС, применение детализированных методов затруднено из-за большой размерности графов алгоритмов задач. Тогда уместно применить следующий подход. Пусть V_i – отношения количества команд i -го вида к среднему количеству команд I , выполняемых в процессе однократной реализации программ задачи, где $i=1, M$ и M -число разновидностей команд, применяемых в вычислительных средствах, на которых реализуется данная программа. Тогда вероятность P_3 оценивается по формуле $\bar{P}_3 = P_k^{\bar{I}_3 / \bar{I}_k t}$, (11)

где $P_k = \sum_{i=1}^M V_i P_i$ – вероятность безотказного выполнения средней команды, P_i – вероятность безотказного выполнения i -го команды; веса V_i определяются либо экспериментально, либо при помощи известных методов смеси операций, например, метода Гибсона; $\bar{I}_k = \sum_{i=1}^M V_i \tau_i$ – время выполнения средней команды, причем τ_i – среднее время выполнения команды программы задачи.

В (11.) степень \bar{I}_3 / \bar{I}_k [есть округленное сверху до целочисленного значения количество реализаций средней команды.

Расчет вероятности безотказного выполнения в течение времени t вычислительного процесса $P_{\text{вп}}(t)$ основывается на результатах вычисления или оценки показателя P_3 и на конкретной математической модели, описывающей поток заявок на выполнение задачи. В большинстве практических случаев можно принять поток заявок пуассоновским (простейшим). Это объясняется большим количеством неприоритетных факторов, вызывающих заявки. Отсюда отсутствие последствия и, как правило, ординарность и стационарность потока, т.е. те свойства, которые присущи простейшему потоку. Тогда вероятность того, что в течение времени t поступит ровно i заявок, задается выражением

$$P(i, t) = \frac{(\eta t)^i}{i!} t^{-\eta t}$$

$$\text{Следовательно } P_{\text{вп}} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\eta t)^i}{i!} e^{-\eta t} \cdot P_3^i = e^{-\eta t} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{t^i}{i!} = e^{-\eta t} \cdot e^z$$

где $z = \eta t P_3$

$$\text{Окончательно получаем } P_{\text{вп}} = e^{-\eta t} e^z = e^{-\eta(1-P_3)t} = \exp[-\eta(1-P_3)t]. \quad (12)$$

Средняя наработка до функционального отказа.

Это показатель относительно вычислительных процессов равен

$$T_{\text{ВП}} = \int_{t=0}^{\infty} P_{\text{ВП}}(t) dt = \int_{t=0}^{\infty} \exp[-\eta t(1 - P_3)] dt = \frac{1}{\eta(1 - P_3)}, \quad (13)$$

Таким образом, средняя наработка до функционального отказа относительно вычислительных процессов обратно пропорционально вероятности потока заявок на выполнение задач.

Расчет показателей функциональной надежности информационных процессов

Вероятность безотказного выполнения в течение времени t информационных процессов рассчитывается по формуле (12.), с той лишь разницей, что вместо интенсивности η в эту формулу подставляется интенсивность поступления заявок на передачу сообщений γ , а вместо вероятности безотказного выполнения задачи P_3 подставляется вероятность P_c ошибки при передаче сообщения (пакета).

Аналогичные замены производятся и в формуле (13.) при расчете среднего времени до функционального отказа относительно информационных процессов.

Методы обеспечения функциональной надежности

Известны различные методы повышения надежности технических средств и систем. Прежде всего, это резервирование аппаратуры и временное резервирование. Применительно к функциональной надежности эффективность структурного резервирования проблематична. Это объясняется тем, что ошибки в вычислительном процессе нельзя устранить переключением на резерв, если эти ошибки вызваны случайными сбоями, программной ошибкой или ошибками во входной информации. Временное резервирование может дать ощутимый эффект в повышении функциональной надежности, однако применение традиционных методов двойного – тройного счета применимо так, где нет слишком жестких ограничений по времени выполнения задач.

Из этих соображений следует необходимость комплексного применения гибких стратегий обеспечения функциональной отказоустойчивости МСС. К таким стратегиям наряду с вышеотмеченными можно отнести введение контрольных точек при реализации вычислительных и информационных процессов. Подход известен, однако если интервалы времени между контрольными точками выбрать таким образом, чтобы в интервалах времени между заявками обеспечить обнаружение и устранение функциональных частичных отказов, то содержание и эффективность такой стратегии в корне меняется [5]. Другой эффективной стратегией повышения функциональной надежности – это использование естественной временной, функциональной и структурной избыточности в МСС.

Для парирования функциональных отказов целесообразно ввести специальные механизмы рационального использования избыточности. Эти механизмы совместно с избыточными средствами образуют средства обеспечения функциональной отказоустойчивости (СОО).

Назначение СОО:

- обнаружение факта ошибки в программе или в функционировании технических средств;
- локализация неисправности;
- классификация неисправности;
- принятие решения о характере неисправности и прерывания процесса выполнения задачи;
- обнаружение местонахождения неисправности;
- реконфигурация МС и (или) маскирования неисправности;

➤ восстановления процесса выполнения задачи.

Таким образом, СОО предназначены для обеспечения адаптации МСС к функциональным отказам. Некоторые способы и технические решения по построению СОО приведены в [3,4,7]. Однако основное слово по определению состава и структуры СОО за разработчиками МС.

Показатели эффективности СОО является вероятность β успешной адаптации МСС с СОО к функциональным отказом.

$$\beta = P\{\Omega \leq \Omega_g\},$$

где Ω - ресурс (структурный, временной и т.д.), который возможно использовать без ухудшения других показателей эффективности МСС для защиты от отказов; Ω_g – допустимый расход ресурса, при котором один или несколько показателей эффективности МСС достигают предельно допустимого значения.

Так, если ресурс есть время, а допустимый расход ресурса есть в частном случае допустимое время перерыва в работе МС t_g , то $\beta = P\{V \leq t_g\} = \int_0^{t_g} f_V(t) dt$,

где V – интервал времени от момента возникновения неисправности до её устранения и восстановления процесса функционирования, а $f_V(t)$ – функция плотной распределения случайного времени V .

Если же допустимое время перерыва в работе системы случайно и распределено по экспоненциальному закону с параметром ρ_g , то по формуле полной вероятности

$$\text{находим, что } \beta = \int_0^{\infty} P\{V \leq V_g\} \rho_g e^{-\rho_g t} dt = \int_0^{\infty} f_V(t) e^{-\rho_g t} dt = [f_V * (S)]_{S=\rho_g},$$

где $f_V * (s)$ – преобразование Лапласа функции $f_0(t)$.

Оценим вероятность того, что в процессе выполнения задачи либо не возникнут функциональные отказы, либо возникшие функциональные частичные отказы успешно нейтрализованы средствами обеспечения отказоустойчивости на основе допустимых затрат избыточных ресурсов. Обозначим вероятность безотказного выполнения задачи как P_3 и вероятность того, что внутри СОО в процессе выполнения задачи не возникли функциональные отказы как P_1 . Тогда вероятность безотказного выполнения задачи под прикрытием СОО будет: $P_{31} = p_3 p_1 + (1-p_3) p_1 \beta_1 = 1 - g_3 - g_1 + g_3 g_1 + \beta_1 (g_3 - g_3 g_1)$,

где β_1 – вероятность успешной адаптации первого уровня защиты (защиты процесса выполнения задачи без защиты СОО); $g_1 = 1 - p_1$; $g_3 = 1 - p_3$.

Поскольку $g_1 \leq 1$ и $g_3 \leq 1$, то с погрешностью, не превышающей второго порядка малости, справедливо выражение $P_{31} = 1 - g_1 - g_3 (1 - \beta_1)$ (14)

Между вероятностью успешной адаптации МСС к функциональным отказом β_1 и вероятностями g_1, g_3 функциональных отказов СОО и задачи существует прямая связь. По аналогии с работой [2] примем $\beta_1 = 1 - \exp[-\delta \xi]$, где $S \approx 5 \dots 10$ – нормировочный

$$\text{коэффициент: } \xi = \frac{g_1}{g_3 + g_1}.$$

С помощью данной зависимости моделируется влияние вероятности отказов (а следовательно, и объема) аппаратно-программных средств СОО на эффективность адаптации МС к функциональным отказам.

Оценим с помощью формулы (14.) и приведенной зависимости для β_1 характер уменьшения вероятности функционального отказа в результате применения защиты. Рассмотрение показывает, что при сравнительно небольшом объеме средств защиты ($g_1/g_3 \leq 0.5$) эффективность защиты наибольшая (имеется в виду пропорциональная зависимость между вероятностью отказа в выполнении задачи g_3 или вероятностью отказа в функционировании средств защиты g_1 и объемами задач и средств обеспечения отказоустойчивости соответственно). По мере увеличения объема средств защиты

увеличивается вероятность успешной адаптации к функциональным отказам. Однако при этом возрастает вероятность возникновения функциональных отказов в самой СОО. Отсюда следует необходимость решения задачи определения допустимой ненадежности средств защиты МСС от функциональных отказов.

Определим допустимые границы ненадежности средств защиты (а это означает также допустимые объемы средств защиты) в зависимости от их эффективности и от ненадежности основных средств.

Рассмотрим вначале одноуровневую защиту. Она имеет смысл только в том случае, если выполняется условие $P_{31} > P_3$,

где P_{31} – вероятность правильного выполнения задачи с одноуровневой защитой от отказов; P_3 – вероятность правильного выполнения задачи без применения защиты. С учетом выражения (14) указанное условие преобразуется в неравенство $g_1 < g_3 \beta_1$ (15.)

Выражение (15.) устанавливает, что объем средств обеспечения отказоустойчивости не должен превышать объема аппаратно-программных средств МСС, реализующих данную задачу. Из этого выражения также следует, что чем больше объем решаемой задачи, тем более разветвленными и эффективными должны быть средства СОО. Так если $\beta_1 \rightarrow 1$, то $W_1 \rightarrow W_3$, где W_1 и W_3 – объемы средств обеспечения отказоустойчивости и выполнения задачи соответственно. В свою очередь, если СОО неэффективны ($\beta_1 \rightarrow 0$), то очевидно, нет смысла в их применении.

Решим задачу защиты от функциональных отказов средств защиты, которая известна как задача «сторожить сторожей». Пусть в МСС предусмотрено два уровня защиты от функциональных отказов таким образом, что первый уровень защищает средства выполнения задачи и функционирует с вероятностью правильной работы $P_1 = 1 - g_1$, а второй уровень защищает средства первого уровня защиты с вероятностью адаптации к отказам β_2 и функционирует с вероятностью правильной работы $P_2 = 1 - g_2$, при этом сам работает без прикрытия средств защиты. Тогда показатель правильности выполнения задачи имеет следующий вид:

$$P_{32} = p_3 p_2 (p_2 + g_1 \beta_2) + (1 - p_3) p_2 (p_1 + g_1 \beta_2) \quad \beta_1 = p_2 (p_1 + g_1 \beta_2) (p_3 + g_3 \beta_1).$$

При n уровнях защиты показатель правильности выполнения задачи определяется выражением:

$$P_{3n} = p_n (p_{n-1} + g_{n-1} \beta_n) \times (p_{n-2} + g_{n-2} \beta_{n-1}) \dots (p_1 + g_1 \beta_2) (p_3 + g_3 \beta_1) = (1 - g_n) \prod_{i=0}^{n-1} (p_i + g_i \beta_{i+1}),$$

где $p_0 = p_3$; $g_0 = g_3$.

Очевидно, что на каждом уровне защиты должно выполняться условия, определенное неравенством (15.).

$$g_i < g_{i-1} \beta_i, \quad \text{где } i = \overline{1, n} \quad (16.)$$

На основании условия (16) получим неравенство $g_i < g_3 \prod_{j=1}^i \beta_j$, (17)

где $g_0 = g_3$, которое определяет границу целесообразности построения многоуровневой защиты.

Таким образом, неравенство (17.) говорит, что введение в МСС дополнительных аппаратно-программных средств, необходимых для создания нескольких уровней защиты (контроля, диагностики, исправления ошибок) приводит к повышению вероятности правильного выполнения задачи.

Заключение

Для мультисервисных систем связи (МСС) в материалах статьи показано, что в МСС центр тяжести обеспечения надежности находится в области решения задач расчета и обеспечения правильности и своевременности выполнения функциональных задач, а не только в области обеспечения безотказности и восстанавливаемости технических средств.

1. Показано что функциональная надежность сложных систем таких как мультисервисная система связи находится в прямой зависимости от информационной нагрузки.

2. В данной статье рассмотрены подходы к оценке функциональной надежности МСС, приведены соответствующие аналитические выражения и модели. Для защиты МСС от функциональных отказов целесообразно иметь в ее составе средства обеспечения отказоустойчивости, которые предназначаются для рационального использования имеющихся в составе МСС естественных и дополнительно введенных ресурсов. Установлены граничные условия, определяющие объем дополнительных средств для защиты МСС от функциональных отказов.

3. В ходе дальнейших исследований по мнению авторов целесообразно направить усилия по анализу и синтезу МСС как многофункциональных систем с структурной и временной избыточностью.

Библиографический список

1. Б.Я. Дудник, В.Ф. Овчаренко, В.К. Орлов и др. Надежность и живучесть систем связи, М.: Радио и связь, 1984, 216 с
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности/Пер. с англ.; Под ред. Б.В. Гнеденко. – М.: Советское радио, 1969. – 488 с.
3. Гадасин В.А., Ушаков И.А. Надежность сложных информационно управляющих систем. – М.: Сов. Радио, 1975 – 192 с.
4. Кузьменко Г.Н., Межуев Н.В., Чудинов С.М. Оптимальные пути реализации базовых информационных услуг (Triple Play) с использованием сетевой структуры операторов ОАО «ЦентрТелеком», М.: Вестник МАРТИТ № 21, 2005г., стр. 21-35
5. Липаев В.В. Надежность программного обеспечения – М.: Энергоиздат, 1989
6. Мишарин А.С., Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационно-управляющих систем на федеральном железнодорожном транспорте. Известия А.Н. Теория и системы управления, 2004, №1, с.155-162
7. Шубинский И.Б., Николаев В.И., Колганов С.К. и др. Активная защита от отказов управляющих модульных вычислительных систем/под. Ред. И.Б. Шубинского. С -Петербург: Наука, 1993.
8. Межуев Н.В. Концепция развития сети связи и телекоммуникаций Московского филиала ОАО «ЦентрТелеком». М.: Весь Мир, 2004, 612 с.
9. Кузьменко Г.Н., Кузнецов В.В., Чудинов С.М. Принципы построения и методы оценки надежности мультисервисных сетей. г. Белгород, 2005, стр.224.

METHODS OF INVESTIGATION OF FUNCTIONAL RELIABILITY OF MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORKS.

V.V.Kuznetsov, G.N.Kuzmenko, N.V.Mezev

The authors of the article give information on approaches to evaluation of functional reliability of multiservice communication networks. They outline possible ways of working out scientific and engineering methods which can be applied while creating and developing of multiservice communication networks by regional telecoms operators.