

УДК 004.725.7
DOI: 10.12737/23240

Ф.Ю. Лозбинец, Е.В. Колесник, А.А. Гамов

ЭЛЕМЕНТНАЯ И СТРУКТУРНАЯ НАДЕЖНОСТЬ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Представлен доработанный вариант методики расчетной оценки коэффициента готовности мультисервисной корпоративной сети связи органов власти Брянской области. Предложена методика проектной оценки элементной надёжности сети на основе нормативных значений структурной надёжности её магистралей. Приведены результаты расчетов Южной, Северной и Западной магистралей

при различных вариантах оборудования и топологической схемы, а также при различных способах технического обслуживания сети.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, радиоэлектронные средства, волоконно-оптическая линия связи, показатели надёжности, коэффициент готовности оборудования, элементная надёжность, структурная надёжность.

F.Yu. Lozbinetv, E.V. Kolesnik, A.A. Gamov

ELEMENT AND STRUCTURAL RELIABILITY OF MULTISERVICE CORPORATE COMMUNICATIONS NETWORK

In the paper there is offered a method for the design evaluation of hardware reliability in communications network elements in terms of standard values of its trunk structural reliability. To carry out a generalized assessment of communications equipment reliability in general and for the evaluation of network directions reliability there is considered such an index as availability. With the use of the procedure developed the design assessment of time between failures of southern, northern and western trunks in the telecommunications network at different kinds of equipment and a topology and also at different methods of maintenance works is carried out. The computations are carried out in terms of standard coefficients of readiness for existing networks and communications networks of the following generation without taking into account the influence of destabilizing factors. The

assessment of the influence of time for reconstruction of communications facilities upon a coefficient of network trunks availability is fulfilled. The following options of maintenance works are considered: an existing choice when equipment failures at the places are eliminated by experts coming from a regional center; a choice providing for trunks obligatory reservation of communication channels up to each endpoint. On the basis of results obtained the conclusions on purposeful methods of maintenance to ensure standard values of readiness coefficients for existing networks and communication networks of the following generation are formulated.

Key words: telecommunication network, radio-electronic means, fiber-optic communication trunk, reliability indices, coefficient of equipment readiness, element reliability, structural reliability.

В опубликованных ранее работах [1; 4; 5] предложена методика оценки коэффициента готовности элементов мультисервисной корпоративной сети связи органов власти Брянской области на основе логико-вероятностного подхода.

В результате выполненных исследований обозначены перспективные направления, в числе которых – определение минимально допустимых значений среднего времени между отказами каждого объекта для обеспечения нормативных значений коэффициента готовности в конечных точках, а также расчетная оценка влияния времени восстановления объектов связи на

коэффициент готовности магистралей мультисервисной корпоративной сети.

В работе профессора А.Н.Назарова [3] обозначены различия между элементной и структурной надёжностью сетей связи. *Надёжность сети связи* – способность сохранять работоспособность в условиях, создаваемых воздействием внутренних дестабилизирующих факторов (ДФ). В задаче анализа надёжности сетей связи выделяют аспекты элементной (аппаратурной) и структурной надёжности. *Элементная надёжность* – свойство, присущее элементу системы связи, сохранять работоспособность с качеством не хуже заданно-

го на некотором интервале времени. Под *структурной надёжностью* понимается свойство сети связи обеспечивать связность пользователей (элементов сети связи) с качеством не хуже заданного на некотором интервале времени [3].

В рамках настоящей работы предлагается способ проектной оценки аппаратной надёжности элементов сети связи

на основе нормативных значений структурной надёжности её магистралей.

Для проведения обобщенной оценки надёжности оборудования связи в комплексе и оценки надёжности направлений (соединений) сети связи применяется коэффициент готовности K_2 , определяемый показателями T_o и $T_в$ [3]:

$$K_2 = T_o / (T_o + T_в), \tag{1}$$

где T_o – время наработки на отказ объекта связи (наработка от начала эксплуатации до возникновения отказа); $T_в$ – время восстановления объекта связи (продолжительность восстановления до работоспособного состояния).

Для проектной оценки необходимой надёжности элементов сети связи следует принять следующее допущение: коэффици-

циенты готовности всех конечных точек магистрали $K_{2\ om}$ одинаковы и равны коэффициенту готовности магистрали $K_{2\ y}$.

В этом случае при использовании в сети только радиоэлектронных средств (РЭС) с одинаковыми коммутаторами коэффициент готовности магистрали $K_{2\ y}$ определяется следующим образом:

$$K_{2\ y} = K_{2\ к}^{n_k} \prod_{i=1}^{n_{рэс}} K_{2\ i}, \tag{2}$$

где $K_{2\ к}$ – коэффициент готовности системы коммутации, принимается равным 0,99999 [2, с. 79]; n_k – количество коммутаторов до конечной точки; $n_{рэс}$ – количество радиомаршрутизаторов до конечной точки; $K_{2\ i}$ – коэффициент готовности i -го РЭС.

При использовании в сети коммутаторов различного типа с различными значениями коэффициента готовности формула (2) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{2\ om} = \prod_{i=1}^{n_k} K_{2\ к\ i} \cdot \prod_{i=1}^{n_{рэс}} K_{2\ i}, \tag{3}$$

где $K_{2\ к\ i}$ – коэффициент готовности i -го коммутатора.

Для дальнейших исследований следует ввести новый показатель – коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали K_c^* на основе нормативно-

го коэффициента готовности магистрали в целом $[K_2]$.

При использовании в сети только РЭС этот коэффициент будет определяться следующим образом:

$$K_c^* = ([K_2] / \prod_{i=1}^{n_k} K_{2\ к\ i})^{1/n_{рэс}}.$$

При использовании волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в сочетании с РЭС коэффициент синхронизации

готовности конечных точек будет определяться следующим образом:

$$K_c^{**} = ([K_2] / (K_{2\ mc} \prod_{i=1}^{n_k} K_{2\ к\ i}))^{1/n_{рэс}}.$$

Здесь $[K_2]$ – нормативные значения коэффициента готовности для действующе-

щих сетей (0,997) и сетей связи следующего поколения (0,9994) [3, с.141]; $K_{2\ к\ i}$ – ко-

эффицент готовности i -го сетевого коммутатора; K_{2mc} – коэффициент готовности транспортной сети, принимается равным 0,99995 [2, с.79].

$$T_o = K_c^{**} (T_g / (1 - K_c^{**})),$$

$$T_o = K_c^{***} (T_g / (1 - K_c^{***})).$$

Здесь K_c^{**} – коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали при использовании в сети только РЭС; K_c^{***} – коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали при использовании в сети ВОЛС в сочетании с РЭС; T_g – время восстановления объекта связи.

С использованием разработанной методики выполнена проектная оценка времени между отказами радиомаршрутизаторов Южной, Северной и Западной маги-

Тогда из формулы (1) с учётом изложенного получаются формулы для расчёта необходимого времени наработки на отказ объекта связи:

стралей телекоммуникационной сети органов власти Брянской области при различных вариантах оборудования и топологической схемы, а также при различных способах технического обслуживания. Расчёты выполнены на основе нормативных коэффициентов готовности для существующих сетей ($[K_2]=0,997$) и сетей связи следующего поколения ($[K_2]=0,9994$) без учёта воздействия дестабилизирующих факторов. Результаты приведены в табл. 1,2.

Таблица 1

Время T_o (в часах) между отказами объектов в течение года при нормативном коэффициенте готовности магистралей $[K_2] = 0,997$

Вариант технического обслуживания	Южная магистраль		Северная магистраль		Западная магистраль	
	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС
Существующий вариант	43914	5467	24617	8204	74618	8201
Техобслуживание на местах ($T_g=1$ ч)	5489	683	3077	1025	9327	1025
Резервирование каналов ($T_g=0,2$ ч)	1098	137	615	205	1865	205

Таблица 2

Время T_o (в часах) между отказами объектов в течение года при нормативном коэффициенте готовности магистралей $[K_2] = 0,9994$

Вариант технического обслуживания	Южная магистраль		Северная магистраль		Западная магистраль	
	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС	РЭС	ВОЛС+РЭС
Существующий вариант	250888	30755	138411	46135	440649	46132
Техобслуживание на местах ($T_g=1$ ч)	31361	3844	17301	5767	55081	5766
Резервирование каналов ($T_g=0,2$ ч)	6272	769	3460	1153	11016	1153

Результаты, представленные в табл. 1 и 2, позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Для обеспечения нормативного коэффициента готовности $[K_2] = 0,997$ при используемой в настоящее время техноло-

гической схеме (ВОЛС в сочетании с РЭС) и существующем варианте технического обслуживания (отказы оборудования на местах устраняются специалистами, выезжающими из областного центра) необходимо иметь оборудование, обладающее следующим временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали – не менее 5500 ч (около 7,5 мес.);

- для Северной и Западной магистралей – не менее 8200 ч (11 мес.).

Если отказы оборудования устраняются специалистами на местах отказов (при этом время восстановления объекта принимается равным 1 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали – не менее 680 ч (≈ 1 мес.);

- для Северной и Западной магистралей – не менее 1000 ч ($\approx 1,5$ мес.).

В случае использования варианта, предусматривающего обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки (при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали – не менее 140 ч (≈ 6 суток);

- для Северной и Западной магистралей – не менее 200 ч (≈ 8 суток).

2. Для сетей связи следующего поколения нормативный коэффициент готовности $[K_z] = 0,9994$ при используемой в настоящее время технологической схеме (ВОЛС в сочетании с РЭС) и существующем варианте технического обслуживания (отказы оборудования на местах устраняются специалистами, выезжающими из областного центра) обеспечить невозможно, поскольку требуемое время наработки между отказами составляет:

- для Южной магистрали – не менее 30,7 тыс. ч (около 3,5 года);

- для Северной и Западной магистралей – не менее 46,1 тыс. ч (более 5 лет).

Если отказы оборудования устраняются специалистами на местах отказов (при этом время восстановления объекта принимается равным 1 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали – не менее 3800 ч (≈ 5 мес.);

- для Северной и Западной магистралей – не менее 5800 ч (≈ 8 мес.).

В случае использования варианта, предусматривающего обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки (при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч), необходимо иметь оборудование с временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали – не менее 770 ч (≈ 1 мес.);

- для Северной и Западной магистралей – не менее 1150 ч ($\approx 1,6$ мес.).

3. Представляется целесообразным выполнить оценку затрат на восстановление объектов связи для всех рассмотренных здесь вариантов.

В работе [1] в числе актуальных задач обозначена оценка влияния времени восстановления объектов связи на коэффициент готовности магистралей мультисервисной корпоративной сети. В настоящей работе такая оценка выполнена. Для её проведения усовершенствована методика, предложенная в [1; 4; 5].

Северная и Западная магистрали исследуемой сети в сочетании с ВОЛС имеют и участки (радиолинки), построенные на основе использования средств наземного беспроводного радиодоступа (Летошники-Клетня, Дубровка-Рогнедино, Выгоничи-Жирятино, Трубчевск-Суземка, Унеча-Мглин-Сураж, Клиницы-Рогнедино-Красная Гора). В сети также могут быть использованы коммутаторы различного типа с различными значениями коэффициента готовности. В таком случае формула (3) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{z\text{om}} = \prod_{i=1}^{n_k} K_{zki} K_{zmc} \prod_{i=1}^{n_{pэс}} K_{zi},$$

где K_{zki} – коэффициент готовности i -го

коммутатора; K_{zmc} – коэффициент готов-

ности транспортной сети; K_{2i} – коэффициент готовности i -го РЭС последней мили; n_k – количество коммутаторов; $n_{pэс}$ – количество радиомаршрутизаторов.

Процесс расчётной оценки коэффициентов готовности по изложенной уточнённой методике автоматизирован в рамках возможностей табличного процессора Excel.

При выполнении расчётной оценки влияния на коэффициент готовности оконечных точек МКСС времени восстановления объектов связи (без учёта воздействия дестабилизирующих факторов) получены результаты, представленные в табл. 3-5.

Рассмотрены следующие варианты технического обслуживания сети:

- существующий вариант, когда отказы оборудования на местах устраняются специалистами, выезжающими из областного центра (табл. 3);

- вариант, когда отказы оборудования устраняются специалистами на местах отказов (при этом время восстановления принимается равным 1 ч) (табл. 4);

- вариант, предусматривающий обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки (при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч) (табл. 5).

Таблица 3

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов. Существующий вариант техобслуживания (выезд специалистов из Брянска по вызову на отказы оборудования)

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей K_{2y}				
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*	ВОЛС**
Южная	0,98707	0,99252	0,99347	0,99962	0,99977
Северная	0,99279	0,99562	0,99635	0,99786	0,99889
Западная	0,97575	0,98610	0,98772	0,99521	0,99755

Таблица 4

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов. Вариант техобслуживания № 1 (обслуживание сети специалистами на местах отказов, восстановление в течение 1 часа)

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей K_{2y}				
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*	ВОЛС**
Южная	0,99698	0,99828	0,99845	0,99987	0,99990
Северная	0,99812	0,99886	0,99903	0,99950	0,99971
Западная	0,99590	0,99768	0,99790	0,99936	0,99964

Таблица 5

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов. Вариант техобслуживания № 2 (резервирование каналов связи, восстановление в течение 0,2 часа)

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей K_{2y}				
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*	ВОЛС**
Южная	0,99934	0,99960	0,99963	0,99991	0,99992
Северная	0,99957	0,99972	0,99976	0,99983	0,99987
Западная	0,99911	0,99946	0,99951	0,99980	0,99986

* На последней миле – только R2-AP1-F5060.

** На последней миле – только DreamStation 5n-24D.

Результаты, представленные в табл. 3-5, позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Для Южной магистрали при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле изменений в организации технического обслуживания сети и резервирования каналов связи не требуется. При этом коэффициенты готовности конечных точек соответствуют требованиям как для существующих сетей связи ($K_c = 0,997$), так и для сетей связи следующего поколения ($K_c = 0,9994$) [3]. Расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии при этом составляет 2-3 часа в год.

2. Для Северной магистрали сети при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле выполняются требования к коэффициенту готовности для существующих сетей ($K_c = 0,997$). Расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии при этом составляет 10-19 часов в год.

Для выполнения требований к сетям следующего поколения ($K_c = 0,9994$) необходимо предусмотреть либо техническое обслуживание сети специалистами на местах (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии 3-4 часа в год), либо резервирование каналов связи (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии 1 час в год).

3. Для Западной магистрали сети при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле требования к коэффици-

енту готовности для существующих сетей ($K_c = 0,997$) выполняются только при условии использования на последней миле исключительно радиомаршрутизаторов типа DreamStation 5n-24D. При этом суммарное время нахождения конечных точек в нерабочем состоянии составит 21 час в год.

Для выполнения требований к сетям следующего поколения ($K_c = 0,9994$) необходимо предусмотреть либо техническое обслуживание сети специалистами на местах, при условии использования на последней миле только радиомаршрутизаторов DreamStation 5n-24D (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии составит 3 часа в год), либо резервирование каналов связи (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии составит 1-2 часа в год).

4. Снижение значений K_c конечных точек Западной магистрали объясняется наличием дополнительных радиолинков до последней мили (по одному в Жирятино, Суземке, Мглине и Гордеевке и по два в Сураже и Красной Горе).

5. Численные эксперименты с варьированием расстояния последней мили показали, что разницей в расстоянии можно пренебречь: при изменении расстояния последней мили в несколько раз (в большую или меньшую сторону) величина K_c конечной точки изменяется в пределах тысячных или десятых долей процента. Объяснить этот результат можно тем, что изменение расстояния последней мили не имеет значения для используемых типов радиомаршрутизаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лозбинец, Ф.Ю. Методика оценки готовности телекоммуникационных сетей органов власти на примере территории Брянской области / Ф.Ю.Лозбинец, А.П. Кобышев //Вестник Брянского государственного технического университета. –2015. –№2. –С. 110-115.
2. Системный проект на создание мультисервисной корпоративной сети на территории Брянской области. — М.: Интеллект Телеком, 2008. –117 с.
3. Назаров, А.Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А.Н.Назаров,

К.И.Сычев. - Красноярск: Поликом, 2010. –389 с.

4. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие логико-вероятностного подхода к оценке надёжности корпоративных сетей связи / Ф.Ю.Лозбинец //Вестник славянских вузов.–Тирасполь: Изд-во Приднестр. гос. ун-та, 2015. –С.130-136.
5. Лозбинец, Ф.Ю. Совершенствование методов оценки надёжности мультисервисной корпоративной сети связи на основе логико-вероятностного подхода / Ф.Ю.Лозбинец, Е.В.Колесник, А.А.Гамов //Научно-технический вестник Брянского государственного университета. –2015. –№ 2. –С.52-66.

1. Lozbinev, F.Yu. Procedure of assessment of telecommunications networks readiness of local authorities by the example of Bryansk region/ F.Yu. Lozbinev, A.P. Kobyshev// *Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2015. - №2. - pp. 110-115.
2. System project for creation of multiservice corporate network in Bryansk region. - M.: *Intellect Telecom*, 2008. – pp. 117.
3. Nazarov, A.N. *Models and Methods for Computation of Functioning Quality Indices in Junction Equipment and Structural-Networks Parameters of Communications Networks of Future Generation*/ A.N. Nazarov, K.I. Sychyov. - Krasnoyarsk: Polycom, 2010. – pp. 389.
4. Lozbinev, F.Yu. Development of logic-probabilistic approach to assessment of corporate communications networks reliability / F.Yu. Lozbinev// *Bulletin of Slavic Colleges*. - Tiraspol: Publishing House of Pridnesrovsky State University, 2015. - pp.130-136.
5. Lozbinev, F.Yu. Improvement of assessment methods of multiservice corporate communications networks reliability based on logic-probabilistic approach/ F.Yu. Lozbinev, E.V. Kolesnik, A.A. Gamov// *Scientific-Engineering Bulletin of Bryansk State Technical University*. - 2015. - № 2. - pp. 52-66.

Статья поступила в редколлегию 03.03.2016.

*Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Аверченков В.И.*

Сведения об авторах:

Лозбинеv Фёдор Юрьевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математика и информационные технологии» Брянского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, профессор кафедры «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета, e-mail: dpts@bryanskobl.ru.

Колесник Елена Владимировна, магистрант Брянского филиала Российской академии народно-

Lozbinev Fyodor Yurievich, D.Eng., Prof., Head of the Dep. of Mathematics and Information Techniques of Bryansk Branch of FSBEI HE “Russian Academy of National Economy and State Service” under the President of the Russian Federation, Prof. of the Dep. “Computer Systems & Techniques” of Bryansk State technical University, e-mail: dpts@bryanskobl.ru.

Kolesnik Elena Vladimirovna, undergraduate of the training direction “Applied Mathematics”, Bryansk

го хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, e-mail: dpts@bryanskobl.ru.

Гамов Александр Анатольевич, магистрант Брянского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, e-mail: dpts@bryanskobl.ru.

Branch of FSBEI HE “Russian Academy of National Economy & State Service” under the President of the Russian Federation, e-mail: dpts@bryanskobl.ru.

Gamov Alexander Anatolievich, undergraduate of the training direction “State & Municipal Management”, Bryansk Branch of FSBEI HE “Russian Academy of National Economy and State Service” under the President of the Russian Federation, e-mail: dpts@bryanskobl.ru.