

УДК 004.725.7

РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕМЕНТНОЙ И СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ  
КОРПОРАТИВНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ  
НА ТЕРРИТОРИИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ф.Ю.Лозбинец, А.А.Гамов, Е.В.Колесник

Российская академия народного хозяйства и государственной службы  
при Президенте Российской Федерации, Брянский филиал

Представлен вариант доработанной методики расчетной оценки коэффициента готовности мультисервисной корпоративной сети связи органов власти Брянской области. Предложены методика проектной оценки элементной надёжности на основе нормативных значений структурной надёжности её магистралей и методика оценки влияния на коэффициент готовности магистралей времени восстановления объектов связи. 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 сети, коэффициент готовности оборудования.

Материалы, представленные в настоящей работе, получены в результате продолжения исследований реального объекта - мультисервисной корпоративной сети связи (МКСС) органов государственного и муниципального управления на территории Брянской области. Как каждый конкретный объект связи, исследуемая сеть обладает своими уникальными особенностями: распределена на достаточно большой территории субъекта Российской Федерации, включает четыре магистрали, построена на основе комбинированной технологии волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и наземных радиоэлектронных средств (РЭС) отечественного производства.

В составе сети присутствуют четыре магистрали, краткая информация о составе которых приведена в табл. 1.

Таблица 1

Состав основных магистралей МКСС органов власти Брянской области

Магистраль	Количество РЭС	Количество коммутаторов	Всего объектов	Число оконечных точек <sup>1</sup>	Число узлов ретрансляции
Южная	26	14	40	5	6
Северная	22	13	35	5	7
Западная	68	36	104	16	18
Брянск-Дятьково	8	5	13	2	2
Всего	124	68	192	28	33

Из табл. 1 видно, что наиболее сложным компонентом сети является Западная магистраль, включающая 104 объекта: 68 РЭС, 36 коммутаторов, 16 оконечных точек и 18 узлов ретрансляции.

Топологические схемы Южной и Северной магистралей и их характеристики приведены в работе [5]. Вариант топологической схемы Западной магистрали<sup>2</sup>, реализованной только на средствах радиодоступа (радиомаршрутизаторах и сетевых коммутаторах), представлен на рис. 1.

<sup>1</sup> В администрациях муниципальных районов и городских округов.

<sup>2</sup> Топологическая схема Западной магистрали составлена при участии Р.О.Кирюшина и К.Р.Собенкова [6].

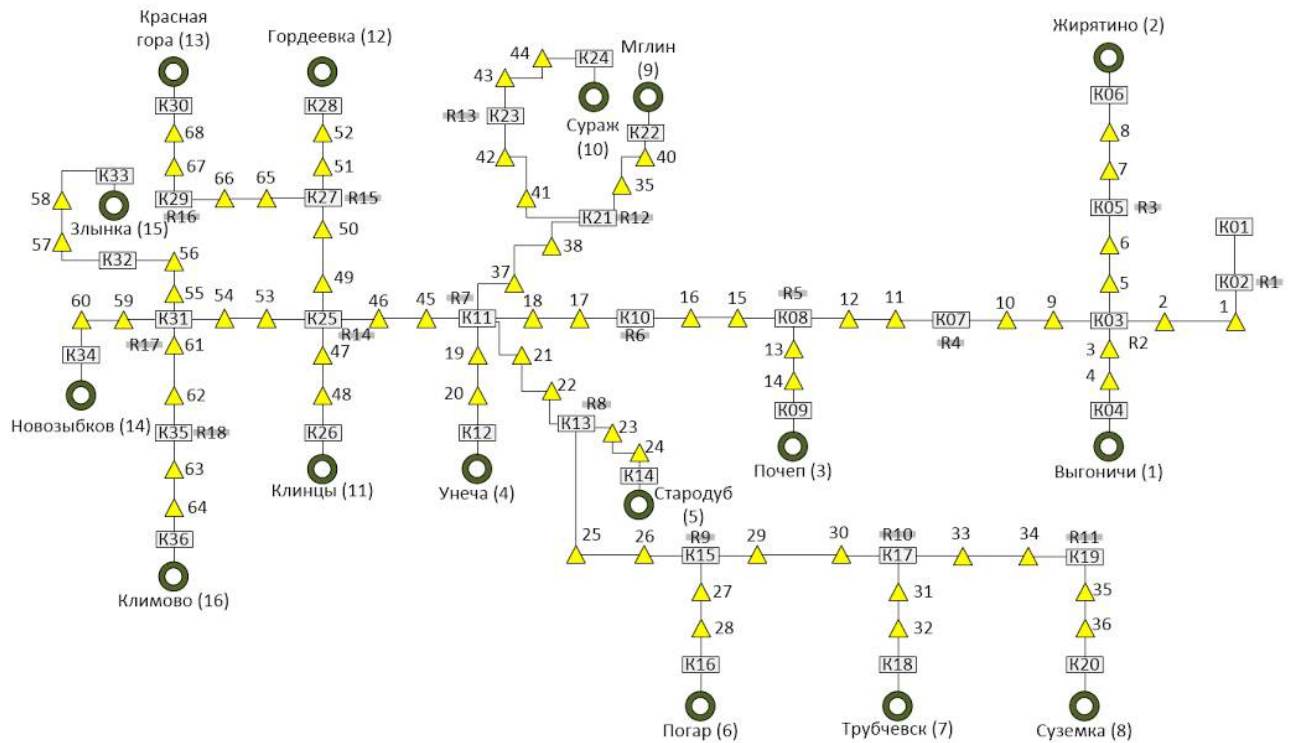


Рис. 1. Топологическая схема Западной магистрали корпоративной сети (R1 ... R18 – узлы ретрансляции)

В опубликованных ранее работах авторов настоящей статьи [1, 4, 5] предложена методика оценки коэффициента готовности элементов исследуемой сети на основе логико-вероятностного подхода.

В результате выполненных исследований обозначены перспективные направления, в числе которых - проблема определения минимально допустимых значений среднего времени между отказами каждого объекта для обеспечения нормативных значений коэффициента готовности в оконечных точках, а также расчетная оценка влияния времени восстановления объектов связи на коэффициент готовности магистралей мультисервисной корпоративной сети.

В работе [3] проф. А.Н.Назарова 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 заданного 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 аппаратурной 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  $K_g$ , определяемый показателями  $T_o$  и  $T_e$  [3]:

$$K_g = T_o / (T_o + T_e), \quad (1)$$

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

Для проектной оценки необходимой надёжности элементов сети связи следует принять следующее допущение: коэффициенты готовности всех конечных точек магистрали  $K_{z\text{om}}$  одинаковы и равны коэффициенту готовности магистрали  $K_{zy}$ .

В этом случае при использовании в сети только РЭС с одинаковыми коммутаторами коэффициент готовности магистрали  $K_{zy}$  определяется следующим образом:

$$K_{zy} = K_{zk} n_k \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi} \quad (2)$$

где  $K_{zk}$  - коэффициент готовности системы коммутации, принимается равным 0,99999 [2];  $n_k$  - количество коммутаторов до конечной точки;  $n_{pэс}$  - количество радиомаршрутизаторов до конечной точки;  $K_{zi}$  - 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:

$$K_{z\text{om}} = \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi} \quad (3)$$

где  $K_{zki}$  - коэффициент готовности  $i$ -го коммутатора.

Для дальнейших исследований следует ввести новый показатель - коэффициент синхронизации готовности конечных точек магистрали  $K_c^*$  на основе нормативного коэффициента готовности магистрали в целом  $[K_z]$ .

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

$$K_c^* = \left( [K_z] / \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \right)^{1/n_{pэс}} \quad (4)$$

При использовании ВОЛС в сочетании с РЭС коэффициент синхронизации готовности конечных точек будет определяться следующим образом:

$$K_c^{**} = \left[ [K_z] / \left( K_{zmc} \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{zki} \right) \right]^{1/n_{pэс}} \quad (5)$$

Здесь  $[K_z]$  - нормативные значения коэффициента готовности для действующих сетей (0,997) и для сетей связи следующего поколения (0,9994) [3];  $K_{zki}$  - коэффициент готовности  $i$ -го сетевого коммутатора;  $K_{zmc}$  - коэффициент готовности транспортной сети, принимаемый равным 0,99995 [2].

Тогда из формулы (1) с учётом изложенного получаются формулы для расчёта необходимого времени наработки на отказ объекта связи (от начала эксплуатации до возникновения отказа):

$$T_o = K_c^* \frac{T_g}{1 - K_c^*} \quad (6)$$

$$T_o = K_c^{**} \frac{T_g}{1 - K_c^{**}} \quad (7)$$

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.

С использованием разработанной методики выполнена проектная оценка времени между отказами радиомаршрутизаторов Южной, Северной и Западной магистралей 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 ( $[K_z] = 0,997$ ) и для сетей связи следующего поколения ( $[K_z] = 0,9994$ ) без учёта воздействия дестабилизирующих факторов. Результаты приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

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

Варианты 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 3

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

Варианты 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. 2 и 3, позволяют сформулировать следующие выводы.

1. Для обеспечения нормативного коэффициента готовности  $[K_2] = 0,997$  при используемой в настоящее время технологической схеме (ВОЛС в сочетании с РЭС) и существующем варианте технического обслуживания (устранение отказов оборудования на местах производится специалистами, выезжающими из областного центра), необходимо иметь оборудование, обладающее следующим временем наработки между отказами:

- для Южной магистрали - не менее 5500 ч (около 7,5 месяцев);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 8200 ч (11 месяцев).

Если устранение отказов оборудования производить 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 ( $\approx 1$  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 конечной 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 ( $\approx 6$  суток);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 200 ч ( $\approx 8$  суток).

2. Для сетей связи следующего поколения нормативный коэффициент готовности  $[K_2] = 0,9994$  при используемой в настоящее время технологической схеме (ВОЛС в сочетании с РЭС) и существующем варианте технического обслуживания (устранение отказов обо-

рудования на местах производится 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 лет);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 46,1 тыс. ч (более 5 лет).

Если устранение отказов оборудования производить 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 ( $\approx 5$  мес.);
- для Северной и Западной магистралей - не менее 5800 ч ( $\approx 8$  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 ( $\approx 1$  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:

$$K_{om} = K_{mc} \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{eki} \prod_{i=1}^{i=n_{psc}} K_{ci} , \quad (8)$$

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. 4-6.

Рассмотрены следующие варианты технического обслуживания сети:

- существующий вариант, когда устранение отказов оборудования на местах производится специалистами, выезжающими из областного центра (табл. 4);
- вариант, когда устранение отказов оборудования производится специалистами на местах отказов, при этом время восстановления принимается равным 1 ч (табл. 5);
- вариант, предусматривающий обязательное резервирование каналов связи до каждой оконечной точки, при этом время восстановления принимается равным 0,2 ч (табл. 6).

Таблица 4

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов

Магистраль	Коэффициенты готовности магистралей, $K_{cy}$				
	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

Примечания: \* - на последней миле только R2-AP1-F5060; \*\* - на последней миле только DreamStation 5n-24D.

Таблица 5

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов

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

Примечания: \* - на последней миле только R2-AP1-F5060; \*\* - на последней миле только DreamStation 5n-24D.

Таблица 6

Влияние на коэффициент готовности магистралей сети среднего времени восстановления объектов

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

Примечания: \* - на последней миле только R2-AP1-F5060; \*\* - на последней миле только DreamStation 5n-24D.

Результаты, представленные в табл. 4-5, 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 как требованиям для существующих сетей связи ( $K_2 = 0,997$ ), так и для сетей связи следующего поколения ( $K_2 = 0,9994$ ) [3]. Расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии при этом составляет 2...3 ч/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 ( $K_2 = 0,997$ ). Расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии при этом составляет 10...19 ч/год.

Для выполнения требований к сетям следующего поколения ( $K_2 = 0,9994$ ) необходимо предусмотреть либо техническое обслуживание сети специалистами на местах (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии 3...4 ч/год), либо резервирование каналов связи (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии 1 ч/год).

3. Для Западной магистрали сети при использовании ВОЛС на магистральных направлениях и средств радиодоступа на последней миле выполняются требования к коэффициенту готовности для существующих сетей ( $K_2 = 0,997$ ) только при условии использования на последней миле исключительно радиомаршрутизаторов типа DreamStation 5n-24D. При этом суммарное время конечных точек в нерабочем состоянии составит 21 ч/год.

Для выполнения требований к сетям следующего поколения ( $K_2 = 0,9994$ ) 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 ч/год), либо резервирование каналов связи (расчётное время нахождения конечной точки в нерабочем состоянии составит 1...2 ч/год).

4. Снижение значений  $K_2$  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 варьированием расстояния «последней мили» показали, что разницей в расстоянии можно пренебречь: при изменении расстояния «последней мили» в несколько раз (в большую или меньшую стороны) величина  $K_2$  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.: ОАО «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: ООО «Поликом», 2010. - 389 с.

4. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие логико-вероятностного подхода к оценке надёжности корпоративных сетей связи / Ф.Ю. Лозбинец // Вестник славянских вузов. – 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. <http://ntv-brgu.ru/index.php/ntv-bgu-2015-02-07/>.

6. Кирюшин, Р.О. Оценка дестабилизирующих факторов и подход к автоматизации показателей надёжности телекоммуникационных сетей / Р.О. Кирюшин, К.Р. Собенков, Ф.Ю. Лозбинец // Ступени. Альманах научных работ. Вып. 8. – Брянск: Брянский филиал РАНХиГС, 2015. - С. 214-217.

### **Сведения об авторах**

Лозбинец Фёдор Юрьевич - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой математики и информационных технологий, Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», [flozbinev@yandex.ru](mailto:flozbinev@yandex.ru).

Гамов Александр Анатольевич - магистрант направления подготовки «Государственное и муниципальное управление», Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», [gaa@br.ranepa.ru](mailto:gaa@br.ranepa.ru).

Колесник Елена Владимировна - магистрант направления подготовки «Прикладная информатика», Брянский филиал ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации», [elen\\_100@mail.ru](mailto:elen_100@mail.ru).

## THE ACCOUNTING ESTIMATION OF ELEMENT AND STRUCTURED RELIABILITY OF CORPORATIVE TELECOMMUNICATION NETWORK ON TERRITORY OF BRYANSK REGION

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

The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial

The variant of methods of the accounting estimation of the factor to readiness of multiservice corporative telecommunications of organs of government is presented. The methods of the design estimation of element reliability on base of normative importances structured reliability her pathways and methods of the estimation of the influence on factor of readiness of the pathways of time of the reconstruction of objects of communication are offered. The results of calculation of South, North and West pathways under different variants of equipment and topological scheme, as well as under different manners of the technical maintenance of network are broughted.

**Keywords:** *telecommunication network, radio electronic facilities, fiber-optic communication links, factors of reliability of network, the factors of readiness of the equipment.*

### References

1. Lozbinev F.Yu., Kobyshev A.P. Methods of the estimation of readiness of the telecommunication networks of organs of administration on example of the territory of Bryansk region, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 110-115.
2. *System project on creation of multi-services corporative network on territory of Bryansk region*. Moscow, OAO "Intellect Telekom", 2008. 117 p.
3. Nazarov A.N., Sychev K.I. *Models and methods of the calculation of the factors quality operating the node equipment and structured-network parameter telecommunications following generation*. Krasnoyarsk, publishers OOO "Polikom", 2010. 389 p.
4. Lozbinev F.Yu. Development of logician-probabilistic approach of estimation of reliability of corporative telecommunications. *The Herald of slavonic high school. Annual international scientifically-practical journal*. Tiraspol, Izd. Pridnestrovskogo state university, 2015, pp.130-136
5. Lozbinev F.Yu., Kolesnik E.V., Gamov A.A. Improvement of the methods of the estimation of reliability of multifunction corporative telecommunications on base of logician-probabilistic approach, *Nauchno-tekhnicheskij vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 52-66.
6. Kiryushin R.O., Sobenkov K.R., Lozbinev F.Yu. Estimation of destructor factor and approach of automations of the factors of reliability of the telecommunication networks, *The Steps. Almanac of the scientific works*, issue 8. The Bryansk filial of Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, 2015. pp.214-217.

### Authors' information

Fedor Yu. Lozbinev - Doctor of the Technical Sciences, Professor, Head of chair of mathematics and information technology at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *flozbinev@yandex.ru*.

Alexander A. Gamov - Master of directions of preparation «State and municipal management» at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *gaa@br.ranepa.ru*.

Elena V. Kolesnik - Master of directions of preparation «Applied informatics» at The Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Bryansk filial, *elen\_100@mail.ru*.