

УДК 004.725.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО ПОДХОДА

Ф.Ю.Лозбинеv, Е.В.Колесник, А.А.Гамов

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

Рассмотрены организационные и информационно-технологические особенности объекта исследований. Выполнен анализ принципов построения, процесса создания и эволюции топологической схемы сети. Приведена характеристика используемых радиоэлектронных средств. На основе логико-вероятностного подхода разработаны алгоритмы расчета коэффициента готовности сети по отказам (сбоям). Выполнена расчетная оценка Южной, Северной и Западной магистралей сети при различных вариантах оборудования и топологических схем.

Ключевые слова: телекоммуникационная сеть, радиоэлектронные средства, волоконно-оптическая линия связи, показатели надежности сети, коэффициент готовности оборудования.

Теоретические исследования российских ученых по проблеме создания беспроводных локальных сетей на основе стандартов IEEE 802.11 ранее выполнялись в Институте проблем передачи информации Российской академии наук (ИППИ РАН) под руководством профессора В.М.Вишнеvского. В работах [7-9] изложены принципы построения, логическая и физическая структура беспроводных сетей передачи данных городского и регионального масштабов, показаны особенности беспроводных сетей IEEE 802.11, описана архитектура и принципы организации WiMAX-сетей. Детально показаны технология радиодоступа IEEE 802.16, включая мобильные сети (IEEE 802.16e), и принципы технологии MIMO. Приведены примеры реализации региональных WiMAX-сетей, а также представлены теоретические основы передачи информации (теоремы Шеннона, Котельникова, Найквиста), методы кодирования и модуляции в беспроводных сетях.

Актуальным проблемам построения сетей связи, а также развитию моделей и методов их исследования и проектирования посвящены работы профессора А.Н.Назарова [3, 4]. В работе [3] на основе анализа архитектуры и телекоммуникационных технологий для сетей связи следующего поколения разработаны модели и методы векторной (многокритериальной) оптимизации построения, синтеза сетевых структур по критерию устойчивости, расчета показателей качества функционирования узлов коммутации на основе логико-вероятностного подхода, оптимизации пропускной способности каналов передачи.

Актуальность данной работы обусловлена следующими обстоятельствами. Брянская область является субъектом Российской Федерации, имеющим собственную региональную телекоммуникационную сеть органов власти, построенную на основе комбинированной технологии волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и радиоэлектронных средств (РЭС) наземного радиодоступа [5, 6]. Сеть была создана в 2009-2010 годах. Как каждый конкретный объект связи, сеть обладает своими уникальными особенностями. В процессе её опытной и промышленной эксплуатации был выявлен ряд проблем, требующих осмысленного решения с целью дальнейшего развития и улучшения эксплуатационных характеристик.

Эффективное использование сети органами государственного и муниципального управления на территории региона позволяет достичь существенной экономии финансовых ресурсов консолидированного бюджета в процессе реализации служебных полномочий органов власти всех уровней.

Исследованиям указанного объекта - мультисервисной корпоративной сети связи (МКСС) Правительства Брянской области - посвящен ряд опубликованных работ [5, 6, 10, 11], выполненных под руководством автора настоящей статьи, в которых показаны основные этапы создания сети: системный проект, её начальный кластер, принципы управления сетью и система видеоконференцсвязи. Представлены варианты топологической схемы сети на разных этапах ее создания. Приведены характеристики работы сети в разных топологических схемах и показаны перспективы дальнейшего развития телекоммуникационной ин-

фраструктуры электронного правительства в регионе. Представлены этапы процесса присвоения радиочастот в Российской Федерации, требования к регистрации радиоэлектронных средств органах Роскомнадзора и перечень исходных данных. Приведена информация о разработанной комплексной автоматизированной системе мониторинга, учета и регистрации оборудования телекоммуникационной сети на территории субъекта Российской Федерации.

В 2007 году в процессе разработки целевой программы «Информатизация Брянской области (2007-2010 годы)» [12] рассматривались несколько вариантов технологических схем организации единой телекоммуникационной сети органов власти в регионе: на основе волоконно-оптических линий связи, систем спутниковой связи, мобильной сотовой связи и систем наземного радиодоступа. В результате анализа рассмотренных вариантов было принято решение о построении сети на основе систем наземного радиодоступа. Такой выбор был поддержан Координационным советом по информатизации при администрации Брянской области. В рамках создаваемой сети предполагалось решение следующих основных задач: видеоконференцсвязь (ВКС), электронный документооборот, корпоративная IP-телефония. Проект создания сети по технологии preWiMAX был ориентирован на использование отечественных радиомаршрутизаторов R2-AP1-F5060 и R2-AP1-F5060-T, разработанных в ИППИ РАН [8] и выпускаемых научно-производственным объединением «Рапира» (г. Москва). Обязательным условием эффективной работы выбранного оборудования является следующее: радиомаршрутизаторы участка сети (линка) должны находиться в зоне прямой видимости на расстоянии не более 40 км с жесткими требованиями к юстировке антенн. В таком случае достигается максимальная скорость передачи данных (54 Мбит/с). Предварительная проработка топологической схемы сети приведена на рис. 1а.

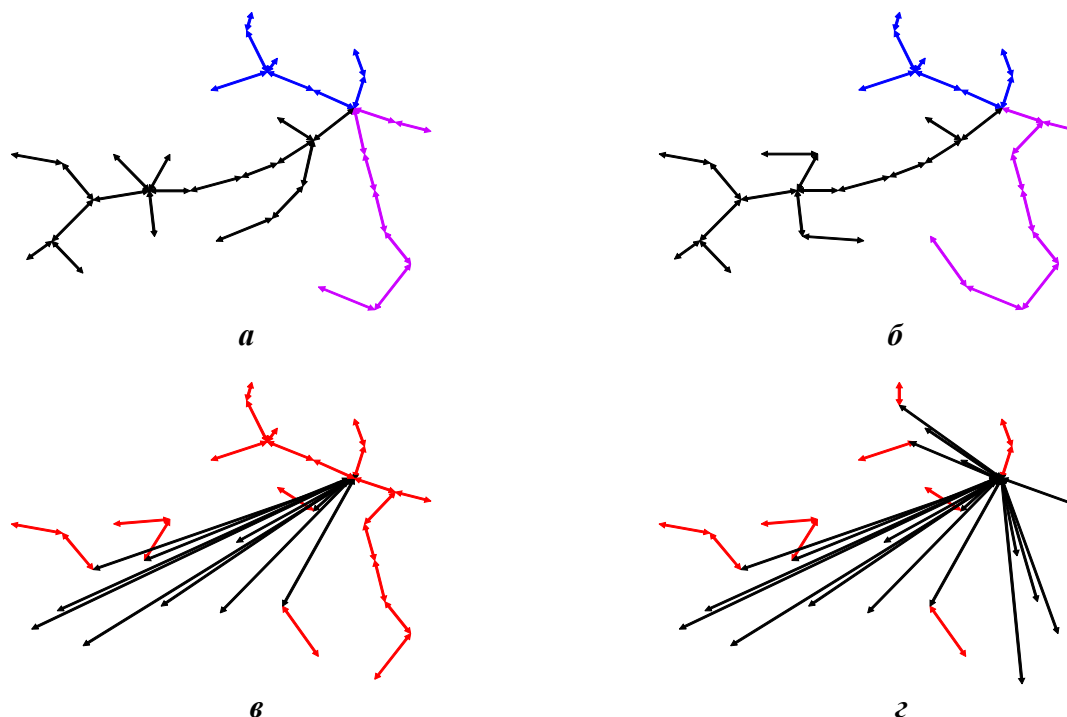


Рис. 1. Эволюция топологической схемы сети:
 а – предварительная; б – системный проект; в – 2012 год; г – 2014 год

В 2008 году был проведен открытый конкурс на разработку системного проекта сети, который выиграла московская компания «Интеллект Телеком». В системном проекте [2] были представлены прогнозные значения показателей надежности и показателей функционирования сети, подтверждающие выполнение требований [1] по организационно-техническому

обеспечению устойчивого функционирования. Проект прошел экспертизу в ИППИ РАН. Топологическая схема сети, предложенная в системном проекте, представлена на рис. 1б.

В декабре 2008 года был реализован пусковой комплекс сети на основе технологии preWiMAX в виде центрального узла связи в г. Брянске, двух районных узлов связи в п. Выгоничи, г. Жуковке и узла ретрансляции в г. Сельцо.

В основе работы preWiMAX-оборудования - стандарт IEEE 802.11. Этот класс оборудования имеет измененные внутренние радиопротоколы, добавленные сервисы, возможности приоритезации, различные частотные диапазоны.

В настоящее время preWiMAX-сети в России имеют широкое распространение. PreWiMAX - беспроводной стандарт, позволяющий передавать данные по радиоканалу с высокой скоростью и на большие расстояния.

В 2009 году был завершён монтаж оборудования Северной магистрали. В сеть были включены администрации Жуковского, Выгоничского, Дятьковского, Дубровского, Клетнянского, Рогнединского районов и г. Фокино. Монтаж Южной и Западной магистралей завершён в 2010 году в рамках топологической схемы, предложенной в системном проекте [2] (рис. 1б).

Одновременно с построением магистральных участков к сети были подключены студии видеоконференцсвязи в администрациях районов и городов области.

В 2011 году было получено разрешение на использование трёх номиналов радиочастот в диапазоне 5,6 ... 5,7 ГГц на территории Брянской области на период 10 лет, и началась опытная эксплуатация всей сети, построенной на основе радиомаршрутизаторов R2-AP1-F5060 и R2-AP1-F5060-T. Размеры сети, в сравнении с начальным кластером, существенно увеличились: фактически была создана уникальная в России preWiMAX-сеть органов власти с охватом достаточно большой территории и большим количеством базовых станций (74 на магистральных участках и 58 на участках «последней мили»).

В результате анализа полученных статистических данных о работе сети руководителем проекта со стороны разработчика проф. В.М.Вишневым было предложено заменить оборудование на ряде участков на более производительное, которое к тому времени уже стало выпускать НПО «Рапира»: радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D с канальной скоростью передачи данных 300 Мб/с. Замена оборудования была осуществлена, устойчивость работы сети улучшилась. Тогда было принято согласованное со всеми участниками проекта решение о переводе на радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D всех оставшихся участков Западной магистрали. К концу 2011 года необходимое оборудование было приобретено и установлено. Устойчивость работы сети заметно улучшилась.

В 2012 году Брянский филиал оператора мобильной связи «Мегафон» предоставил возможность перевести все участки Западной магистрали на ВОЛС. Такая задача была реализована. Топологическая схема сети существенно изменилась (рис. 1в). В это же время все участки Северной и Южной магистралей были переведены на 300-мегабитные радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D. Устойчивость работы сети существенно улучшилась. При этом участки т.н. «последней мили» продолжали функционировать на оборудовании R2-AP1-F5060-T [5]. Также в 2012 году в сеть были подключены службы социальной защиты населения во всех районных центрах для реализации процесса оказания государственных и муниципальных услуг в рамках электронного правительства.

Схема основных участков Западного направления с 2013 года стала представлять собой классический вариант топологии «звезда», что позволило обеспечить более надёжную работу каналов связи.

В 2014 году осуществлён перевод на топологию типа «звезда» большинства опорных точек Южной и Северной магистралей (рис. 1г), что позволило значительно повысить отказоустойчивость и создать дополнительные условия для дальнейшего развития сети на территории региона.

При построении МКСС Правительства Брянской области использованы РЭС отечественного производства R2-AP1-F5060, R2-AP1-F5060-T и DreamStation 5n-24D (рис. 2), разра-

ботанные в ИППИ РАН и серийно выпускаемые научно-производственным объединением «Рапира» (г. Москва).



Рис. 2. Радиоэлектронные средства, используемые в сети:
 а – R2-AP1-F5060; б – DreamStation 5n-24D

Радиомаршрутизатор R2-AP1-F5060 (рис. 2а) производства НПО «Рапира» (г. Москва) – всепогодная базовая станция беспроводной системы абонентского доступа с передачей сигнала на дистанции до 100 км. РЭС R2-AP1-F5060-Т – всепогодная клиентская станция беспроводной системы абонентского доступа с передачей сигнала на дистанции до 50 км, имеющая встроенную направленную антенну.

Краткая характеристика основных параметров используемых РЭС приведена в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики используемых радиомаршрутизаторов

Параметры РЭС	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D
Размеры, мм	200x165x55	370x370x40
Частоты, ГГц	5,0 ... 6,0	5,15 ... 5,825
Скорость передачи, Мб/с	54	300
Эффективная скорость, Мб/с	до 38	до 170
Расстояние, км	до 50	до 50

Корпус устройств, выполненный из алюминиевого сплава, в комплексе с металлическими кабельными вводами обеспечивает надёжную герметизацию всех электронных компонентов.

Встроенная грозозащита построена по трёхконтурному принципу:

1) первый контур отсекает высоковольтные и сильнотоочные импульсы - здесь используются мощные разрядники, имеющие большое время срабатывания и обеспечивающие стекание потенциала на массу устройства;

2) второй контур исключает прохождение высоковольтных импульсов малой мощности – контур выполнен на микросборке, отсекающей импульсы с крутыми фронтами;

3) третий контур – аварийный, срабатывает в случае, если импульс имеет очень высокую мощность, с которой не справились два первых контура; он отключает устройство от источника импульса.

Система термостабилизации обеспечивает функционирование устройств широкополосного беспроводного доступа в самом широком температурном диапазоне от -60 до 55°C, обеспечивая при необходимости холодный пуск устройств. Система холодного пуска функционирует следующим образом: контрольный модуль включает систему, которая обеспечивает про-

грев её элементов до необходимого уровня. После предварительного прогрева и достижения необходимой температуры воздуха внутри устройства, производится отключение нагревателя и подача напряжения на основные узлы радиомаршрутизатора. Если в процессе работы устройства происходит понижение температуры внутреннего объёма, термостабилизатор вновь включается в работу, обеспечивая постоянный температурный баланс. В этом случае устройство стабильно обеспечивается электропитанием вне зависимости от температуры.

При этом успешность холодного старта устройства отслеживается сторожевым таймером (watchdog-таймером), восстанавливающим работу системы: устройство будет временно отключено, если текущий режим не допускает корректной работы радиомаршрутизатора.

Удаленная аудио-визуальная юстировка устройств обеспечивается дополнительно встроенным мощным бипером и позволяет точно настраивать угол места и азимут устройства. Частота звучания бипера меняется прямо пропорционально уровню принимаемого сигнала.

На ряде участков исследуемой МКСС установлены радиомаршрутизаторы DreamStation 5n-24D (рис. 2б) – первая полностью адаптированная к широкому спектру условий эксплуатации линейка продукции для создания базовых станций AirMAX и высокоскоростных магистральных каналов с пропускной способностью более 150 Мбит/с. DreamStation полностью совместим с оборудованием Ubiquiti серии AirMAX и может применяться на сетях операторов в качестве базовых станций фиксированного беспроводного доступа, а также при создании каналов «точка-точка».

DreamStation 5n-24D выполнен в металлическом литом корпусе, интегрированном с высококачественной панельной ММО антенной 24 дБ, а также с двухступенчатой грозозащитой по порту Ethernet и встроенным подогревом с термостатом.

Используемое в сети оборудование отечественного производства обладает следующими ключевыми функциональными возможностями:

1. Создание одно- и многосекторных точек доступа. Использование решений как с интегрированной, так и с внешними антеннами позволяют гибко настраивать инфраструктуру сети, при необходимости устанавливая внешние антенны с различными диаграммами направленности для решения специфических задач.

2. Герметичные алюминиевые корпуса устройств и надежная грозозащита снижают риски, связанные с погодными условиями и повышают «живучесть» сети.

3. Механизмы приоритизации и контроля качества обслуживания дают возможность предоставить надежные каналы для разнородных трафиков.

4. Временное разделение полосы между клиентами позволяет гарантировать качественное обслуживание каждого из них.

5. Система мониторинга решает вопросы управления надежностью сети.

Функционал базовых станций и клиентского оборудования включает в себя все необходимые инструменты для обеспечения быстрой настройки и продолжительной эксплуатации сети без сбоев.

Созданная на территории Брянской области телекоммуникационная сеть с использованием беспроводных технологий, РЭС и ВОЛС может рассматриваться как целостная применительно к установлению соединения и предоставлению пользователям услуг передачи данных, а также услуг мультимедиа.

Отсюда целостность сети в отношении ее способности предоставления той или иной услуги определяется возможностью в любой момент времени предоставить сквозной канал связи (виртуальный или физический) от вызывающего абонента к вызываемому, который будет соответствовать по своим характеристикам запрашиваемой услуге [2].

Основными требованиями по обеспечению целостности сети связи являются её соответствие техническим нормам по показателям функционирования, функциональная и физическая совместимость средств связи, единство измерений в сети связи [1].

Основными требованиями к обеспечению устойчивости являются следующие [1]:

- выполнение требований к построению сетей при их проектировании;
- выполнение мероприятий гражданской обороны;

- разработка мер по обеспечению показателей надежности;
- соблюдение условий эксплуатации, установленных правилами применения соответствующих средств связи и документацией производителя;
- выполнение требований к эксплуатации в части технического обслуживания средств и линий связи;
- выполнение требований к управлению сетями связи в части контроля показателей нагрузки и анализа технических неисправностей для определения показателей надежности в процессе ее эксплуатации (эксплуатационные показатели надежности).

Из перечисленного следует, что к основным системам обеспечения функционирования сети связи для поддержания ее целостности и устойчивости относятся система управления и система восстановления.

Система управления предназначается для обеспечения работы сети связи с заданным качеством обслуживания пропускаемого трафика путем оптимального использования имеющихся ресурсов, а система восстановления — для оперативного создания работоспособных в экстремальных условиях эквивалентов, временно заменяющих неработающие стационарные средства связи, и последующего их восстановления.

Для проведения обобщенных оценок надежности оборудования связи в комплексе и для оценок надежности направлений (соединений) сети связи применяется коэффициент готовности K_g , определяемый показателями T_o и T_g по формуле [3]:

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

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

Коэффициент готовности определяет вероятность того, что объект связи окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых его применение по назначению не предусматривается. Такое определение коэффициента готовности позволяет применить этот показатель, как для отдельных элементов оборудования связи, так и для оценки комплекса оборудования линий связи [3].

В качестве показателя живучести канала связи применяется коэффициент оперативной готовности, определяемый по формуле [3]:

$$K = P(T)K_g, \quad (2)$$

где $P(T)$ – вероятность сохранения работоспособности канала связи при внешнем воздействии; K_g - коэффициент готовности.

Последствия воздействия внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи [3] характеризуется низким, средним и высоким уровнем ущерба, наносимым сети внешним воздействием. Низкий уровень ущерба при воздействии внешних дестабилизирующих факторов на сеть связи характеризуется выходом из строя 10% элементов сети, средний – 30% и высокий уровень ущерба – 50% элементов сети.

Для расчета коэффициента готовности объектов сети разработан следующий алгоритм.

1. Составляется топологическая схема рассматриваемой магистрали сети (в данном случае - Южной магистрали). Осуществляется нумерация всех объектов топологической схемы (рис. 3), построенной на средствах радиодоступа: радиомаршрутизаторов и сетевых коммутаторов.

В рассматриваемой схеме присутствуют 40 объектов - 26 радиомаршрутизаторов: 16 магистральных (номера 1, ..., 16) и 10 последней мили (17, ..., 26), а также 14 коммутаторов: 8 на базовых станциях (b, ..., q) и 6 в оконечных точках магистрали (a, r, ..., y).

2. Для каждого радиомаршрутизатора (объекта магистрали) задается значение T_g - среднее время восстановления объекта после сбоя в зависимости от расстояния от места расположения оператора связи в г. Брянске до объекта. Принимается, что резервные каналы связи отсутствуют, и для восстановления объекта необходимо добраться до него непосредственно.

венно. Приближенные данные по результатам технического обслуживания исследуемой МКСС в 2010-2014 годах представлены в табл. 2.

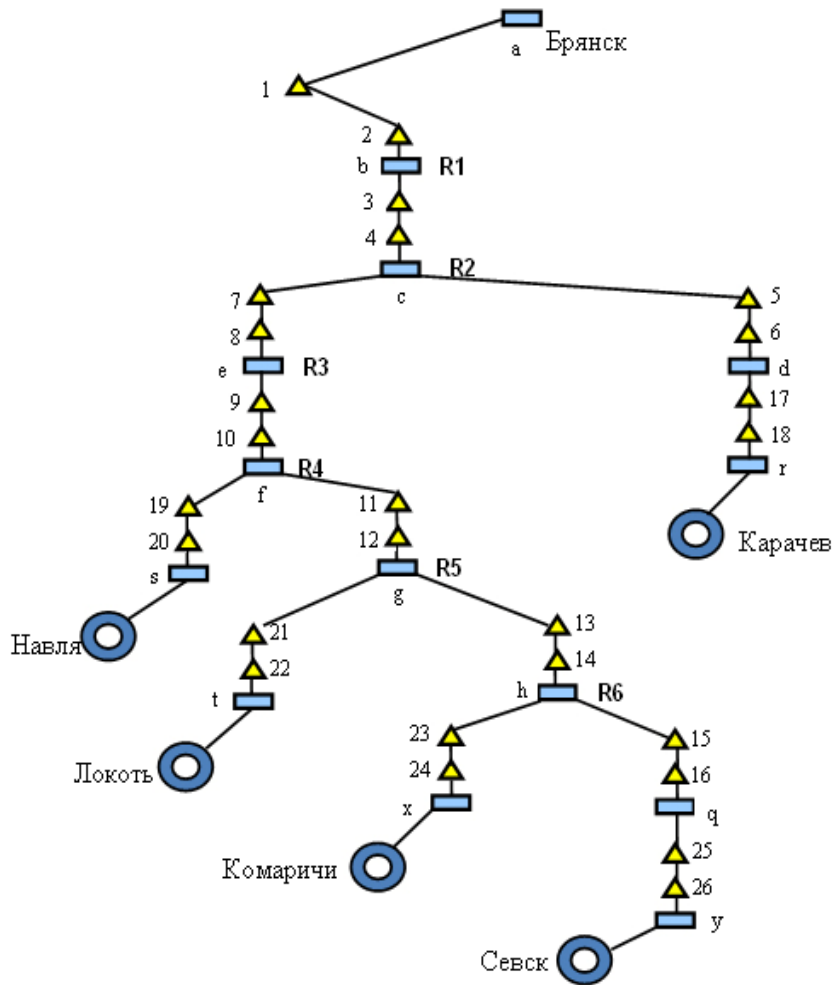


Рис. 3. Топология Южной магистрали корпоративной сети:
R1 ... R6 - узлы ретрансляции

Таблица 2

Среднее время восстановления объекта

Расстояние L от оператора связи до объекта, км	Среднее время восстановления объекта $T_{\text{в}}$, час.
до 10	2
11 ... 30	3
31 ... 60	4
61 ... 90	5
91 ... 120	6
121 ... 150	7
151 ... 180	8
181 ... 210	9
211 ... 230	10
231 ... 260	12

3. Для каждого радиомаршрутизатора задаётся значение l - протяжённость участка трассы (линка) до объекта (в км).

4. Для каждого радиомаршрутизатора задаётся величина L - расстояние от места расположения оператора связи в г. Брянске до объекта (в км).

5. Для каждого радиомаршрутизатора (как объекта сети доступа) вычисляется величина среднего времени между отказами объекта T_o (в часах) [3]

$$T_o = T_{o\ 0200}(200/l), \quad (3)$$

где $T_{o\ 0200}$ – показатель надёжности системы тактовой сетевой синхронизации [3] местной первичной сети (сети доступа); l - протяжённость участка трассы (линка) до объекта.

6. Для каждого радиомаршрутизатора (объекта магистрали) по формуле (1) вычисляется значение коэффициента готовности K_z .

7. Для каждого оконечного пункта магистрали (Карачев, Навля, Локоть, Комаричи, Севск) по схеме на рис. 3 определяется величина n_k - количество коммутаторов до оконечной точки.

8. Для каждого оконечного пункта магистрали по схеме на рис. 3 определяется величина $n_{pэс}$ - количество РЭС до каждой оконечной точки.

9. Для каждого оконечного пункта магистрали осуществляется расчет коэффициента готовности K_z

$$K_{z\ om} = K_{зк}^{n_k} \prod_{i=1}^{i=n_{pэс}} K_{zi}, \quad (4)$$

где $K_{зк}$ – коэффициент готовности системы коммутации (принимается равным 0,99999 [2]); n_k - количество коммутаторов до оконечной точки; $n_{pэс}$ - количество радиомаршрутизаторов до оконечной точки); K_{zi} - коэффициент готовности i -го РЭС.

10. Для каждого варианта построения сети вычисляется величина условного коэффициента готовности $K_{эу}$ для магистрали

$$K_{эу} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^{j=m} K_{эj}, \quad (5)$$

где m - количество абонентов (оконечных точек); $K_{эj}$ - коэффициент готовности j -го абонента (оконечной точки).

11. Рассматривается вариант построения участка сети от центрального узла до оконечной точки с использованием ВОЛС (рис. 4).

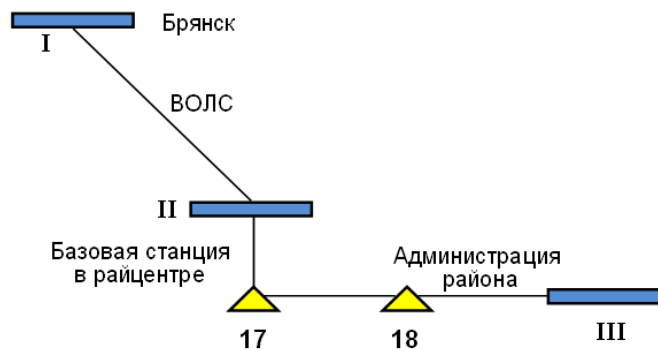


Рис. 4. Фрагмент топологии сети до оконечной точки с использованием ВОЛС

В таком варианте для каждой оконечной точки ($n_k=3$) принимаются следующие исходные данные: коэффициент готовности системы коммутации $K_{зк} = 0,99999$ [2]; коэффициент готовности транспортной сети $K_{z\ mc} = 0,99995$ [2].

12. Для каждого оконечного пункта магистрали определяются номера радиомаршрутизаторов последней мили и их коэффициенты готовности.

13. Для каждого оконечного пункта магистрали вычисляются коэффициенты готовности K_z

$$K_{z\ om} = K_{зк}^3 K_{z\ mc} \prod_{i=1}^{i=2} K_{zi}, \quad (6)$$

где $K_{зк}$ – коэффициент готовности системы коммутации; $K_{z\ mc}$ – коэффициент готовности транспортной сети; K_{zi} – коэффициент готовности i -го РЭС последней мили.

14. По формуле (5) вычисляется величина условного коэффициента готовности магистрали при использовании ВОЛС.

С использованием разработанного алгоритма выполнена расчетная оценка Южной магистрали при различных вариантах оборудования и топологической схемы [5, 6]. В процессе выполнения расчетов приняты следующие допущения.

1. Показатель надёжности системы тактовой сетевой синхронизации местной первичной сети ($T_{o\ 200}$) для РЭС типа R2-AP1-F5060 принят в соответствии с [3] равным 400 часов; для РЭС типа DreamStation 5n-24D по результатам опытной эксплуатации в 2011-2014 годах принят равным 800 часов.

2. Расстояние последней мили для всех районных центров принято равным 2 км.

3. Коэффициенты готовности системы коммутации $K_{зк}$ приняты одинаковыми для всех коммутаторов: 0,99999 [2].

4. Коэффициенты готовности участков транспортной сети на основе использования ВОЛС $K_{z\ mc}$ приняты одинаковыми для всех участков: 0,99995 [2].

Результаты расчетов Южной магистрали сети представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета коэффициентов готовности конечных точек Южной магистрали

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек K_z			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
1. Карачев	0,99436	0,99652	0,99717	0,99972
2. Навля	0,99104	0,99472	0,99552	0,99968
3. Локоть	0,98700	0,99242	0,99351	0,99962
4. Комаричи	0,98400	0,99116	0,99200	0,99956
5. Севск	0,97882	0,98799	0,98938	0,99952
Магистраль	0,98704	0,99256	0,99352	0,99962

Примечания: 1) * - на последней миле используются только R2-AP1-F5060;

2) ** - на последней миле используются только DreamStation 5n-24D.

Также выполнены расчеты Северной и Западной магистралей, которые 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, Клинцы-Рогнедино-Красная Гора).

Вариант топологической схемы Северной магистрали сети, реализованной только на РЭС (радиомаршрутизаторах и сетевых коммутаторах), представлен на рис. 5.

В рассматриваемой схеме присутствуют 35 объектов: 22 радиомаршрутизатора – 12 магистральных (номера 1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 19, 20) и 10 последней мили (3, 4, 7, 8, 13, 14, 17, 18, 21, 22), а также 13 коммутаторов – 7 на базовых станциях (b, c, e, g, m, h, x) и 6 в конечных точках магистрали (a, d, f, l, n, y).

Формула (4) для расчета коэффициента готовности K_z принята в предположении, что все коммутаторы одинаковы и имеют одинаковый коэффициент готовности. Однако в сети могут быть использованы коммутаторы различного типа с различными значениями коэффициента готовности. В этом случае формула (4) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{z\ om} = \prod_{i=1}^{i=n_k} K_{зki} \prod_{i=1}^{i=n_{рэс}} K_{zi}. \quad (7)$$

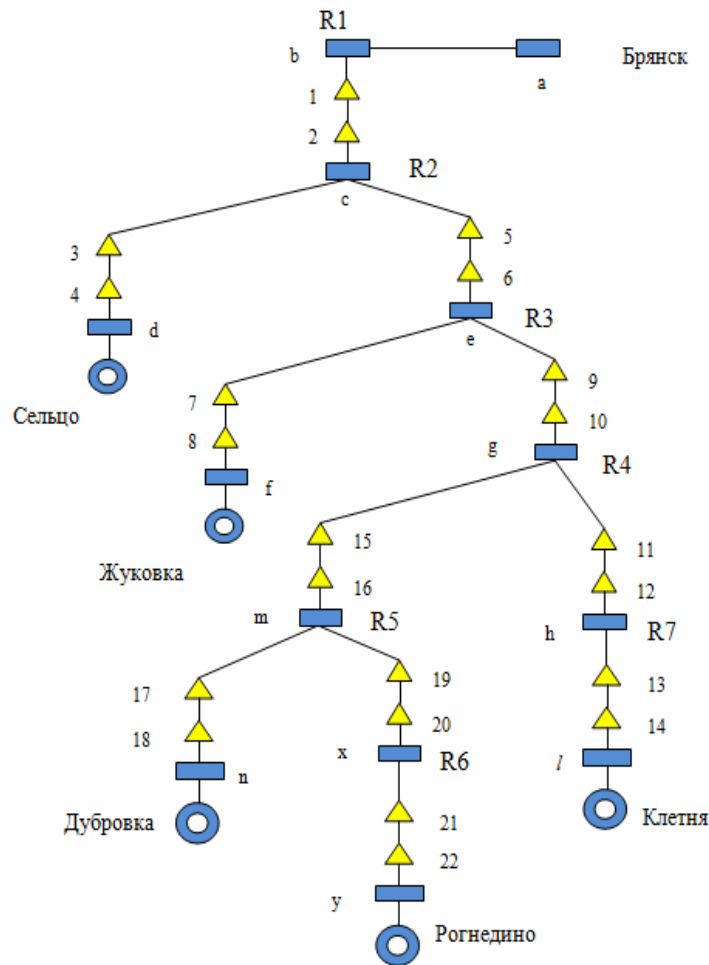


Рис. 5. Топология Северной магистрали корпоративной сети:
R1 ... R7 - узлы ретрансляции

На участках Южной магистрали сети после ВОЛС присутствует только «последняя миля» на РЭС, и для расчёта коэффициента готовности K_{zom} предложена формула (6).

В Северной и Западной магистралях сети в топологической схеме присутствуют «радиолинки» на РЭС помимо «последней мили» (рис. 6), и могут быть использованы коммутаторы различного типа с различными значениями коэффициента готовности, формула (6) должна быть представлена в следующем виде:

$$K_{zom} = \left(\prod_{i=1}^{i=n_k} K_{eki} \right) K_{zmc} \left(\prod_{i=1}^{i=n_{pzc}} K_{zi} \right). \quad (8)$$

Результаты расчетов коэффициентов готовности Северной и Западной магистралей сети представлены в табл. 4-5.

В топологической схеме Западной магистрали присутствуют 104 объекта: 68 радиомаршрутизаторов – 36 магистральных и 32 последней мили, а также 36 коммутаторов – 19 на базовых станциях и 17 в оконечных точках магистрали.

Сводные результаты расчетов коэффициентов готовности по всем магистралям сети при различных вариантах технологической схемы и используемого оборудования представлены в табл. 6.

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

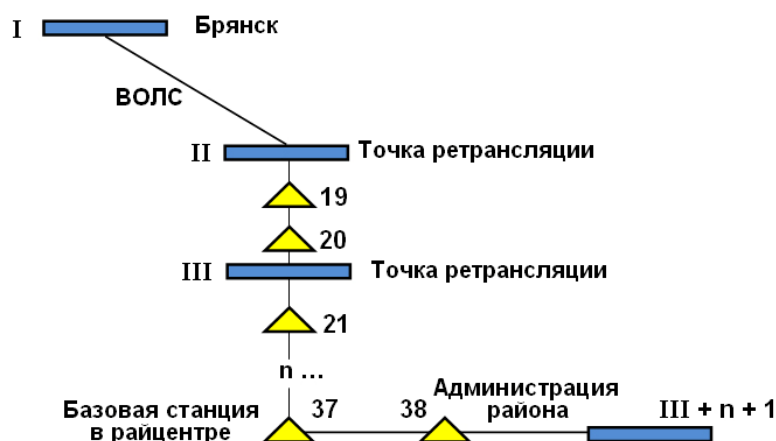


Рис. 6. Фрагмент топологии сети до конечной точки с использованием ВОЛС и радиолинков на магистральных участках

Таблица 4

Результаты расчета коэффициентов готовности конечных точек Северной магистрали

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек K_2			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
1. Сельцо	0,99839	0,99880	0,99917	0,99977
2. Жуковка	0,99534	0,99683	0,99764	0,99967
3. Клетня	0,98942	0,99342	0,99466	0,99270
4. Дубровка	0,99115	0,99472	0,99553	0,99967
5. Рогнедино	0,98963	0,99431	0,99476	0,99751
Магистраль	0,99279	0,99562	0,99635	0,99786

Примечания: 1) * - на последней миле используются только R2-AP1-F5060;
2) ** - на последней миле используются только DreamStation 5n-24D.

Таблица 5

Результаты расчета коэффициентов готовности конечных точек Западной магистрали

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек K_2			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
1. Выгоничи	0,99791	0,99844	0,99894	0,99972
2. Жирятино	0,99521	0,99686	0,99758	0,99577
3. Почеп	0,99324	0,99386	0,99658	0,99967
4. Унеча	0,98482	0,99139	0,99234	0,99957
5. Стародуб	0,97891	0,98777	0,98935	0,99952
6. Погар	0,97121	0,98340	0,98544	0,99947
7. Трубчевск	0,96321	0,97923	0,98137	0,99942
8. Суземка	0,95312	0,97351	0,97620	0,98403
9. Мглин	0,97774	0,98688	0,98876	0,98899
10. Сураж	0,97223	0,98446	0,98596	0,98342
11. Клинцы	0,97891	0,98777	0,98935	0,99952
12. Гордеевка	0,97295	0,98472	0,98633	0,99063
13. Кр. Гора	0,96771	0,98222	0,98366	0,98529

Окончание табл. 5

Оконечная точка	Коэффициенты готовности конечных точек K_2			
	R2-AP1-F5060	DreamStation 5n-24D*	DreamStation 5n-24D**	ВОЛС*
14. Новозыбков	0,97186	0,98389	0,98566	0,99947
15. Злынка	0,96699	0,98194	0,98329	0,99942
16. Климово	0,96602	0,98121	0,98280	0,99942
Магистраль	0,97575	0,98610	0,98772	0,99521

Таблица 6

Результаты расчетов коэффициентов готовности магистралей МКСС

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

Примечания: 1) * - на последней миле используются только R2-AP1-F5060;
2) ** - на последней миле используются только DreamStation 5n-24D.

Таким образом, в результате выполненного исследования впервые применительно к изучаемому конкретному объекту - мультисервисной корпоративной сети органов власти Брянской области - разработаны элементы методики проектирования структуры сетей связи следующего поколения на основе логико-вероятностного подхода к оценке надежности функционирования оборудования.

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать следующие выводы:

1. Разработанные на основе логико-вероятностного подхода алгоритмы позволяют выполнять оценку коэффициентов готовности – как отдельного телекоммуникационного оборудования, так и в комплексе – для магистральных линий связи корпоративной сети органов власти Брянской области.

2. Процесс расчета коэффициента готовности для всех объектов сети является существенно трудоёмким, поэтому для дальнейшей работы его необходимо автоматизировать с учетом возможности решения перечисленных ниже перспективных задач.

3. В дальнейших исследованиях рассматриваемой МКСС представляется целесообразным решить следующие задачи:

- при расчёте среднего времени между отказами объекта T_o получить реальные статистические данные по отказам оборудования;

- оценить влияние на коэффициент готовности конечных точек $K_{2\text{от}}$ уменьшения среднего времени восстановления объектов T_e на магистрали и в конечных точках с целью определения вариантов резервирования каналов связи и организации технического обслуживания сети;

- определить минимально допустимые значения среднего времени между отказами каждого объекта T_o для обеспечения нормативных значений коэффициента готовности в конечных точках $K_{2\text{от}}$;

- оценить влияние на показатели целостности и устойчивости сети дестабилизирующих факторов;

- определить максимально допустимую монтированную ёмкость сети в районных центрах и точках ретрансляции;

- разработать обобщённую математическую модель для оценки показателей целостности и устойчивости сети;

- разработать предложения по совершенствованию объекта исследований и выполнить экономическую оценку предложенных мероприятий.

4. Сочетание ВОЛС на магистральных точках и РЭС (R2-AP1-F5060 и DreamStation 5n-24D) на последней миле позволяет обеспечить нормативные значения коэффициента готовности, в том числе на Южной магистрали - и для сетей следующего поколения [3].

В 2012-2015 годах на базе сети было проведено около 400 региональных совещаний в режиме видеоконференцсвязи, что позволило сэкономить рабочее время руководителей и специалистов, а также бюджетные средства на командировочные расходы, бензин, амортизацию транспортных средств и т.д.

Одновременно создана технологическая и программная основа для обеспечения органам местного самоуправления возможности связи с исполнительными органами государственной власти Брянской области в рамках единой телекоммуникационной сети посредством IP-телефонии, что позволит в дальнейшем существенно снизить расходы на междугородные звонки и сэкономить средства консолидированного бюджета региона.

На данный момент система корпоративной IP-телефонии в органах государственной власти и местного самоуправления Брянской области внедрена в городах Брянск и Стародуб. К системе подключены Правительство Брянской области и все региональные департаменты и управления. Включение в систему IP-телефонии администраций других муниципальных районов (помимо Стародубского) и городских округов, подключенных к МКСС, позволит абонентам совершать бесплатные звонки внутри сети, а также сократить расходы на дальнюю связь. Расчетная стоимость внедрения системы в администрации всех муниципальных районов – около 4,2 млн. рублей. При этом сумма годовой экономии консолидированного бюджета Брянской области составит около 3 млн. рублей. Срок окупаемости затрат на внедрение системы IP-телефонии на территории Брянской области - около 15 месяцев.

Список литературы

1. Требования к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования. Утверждены приказом Мининформсвязи РФ от 27.09.2007 г. № 113.

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, Изд-во ООО «Поликом», 2010. -389 с.

4. Назаров, А.Н. Модели и методы структурно-сетевых параметров АТМ сетей / А.Н. Назаров. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 256 с.

5. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие телекоммуникационной основы формирования электронного правительства в Брянской области / Ф.Ю. Лозбинец // Вестник БГТУ. – 2012. – №3. – С.90-93.

6. Лозбинец, Ф.Ю. Развитие топологии телекоммуникационной сети органов власти в Брянской области / Ф.Ю. Лозбинец // Сб. тр. Международной научно-практ. конф. «Инновации в профессиональном образовании и научных исследованиях вуза». Секция 1. – Брянск: БГТУ, 2014. - С.9-13.

7. Вишневский, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. - М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

8. Вишневский, В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / В.М.Вишневский, С.Л.Портной, И.В.Шахнович. - М.: Техносфера, 2010. - 472 с.

9. Вишневский, В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В.М. Вишневский. - М.: Техносфера, 2003. - 512 с.

10. 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.

11. Телепнёва, Т.Е. Разработка комплексной системы мониторинга, учёта и регистрации радиоэлектронных средств в наземных телекоммуникационных сетях. / Т.Е. Телепнёва, Ф.Ю. Лозбинец // Сб. тр. Международной научно-практ. конф. «Инновации в профессиональном образовании и научных исследованиях вуза». – Брянск: БГТУ, 2014. - С. 24-27.

12. Областная целевая программа «Информатизация Брянской области на 2007-2010 годы». Утв. постановлением администрации Брянской области от 27.08.2007 г., № 583.

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*.

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*.

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*.

IMPROVEMENT OF THE METHODS OF THE ESTIMATION OF RELIABILITY OF MULTIFUNCTION CORPORATIVE TELECOMMUNICATIONS ON BASE OF LOGICIAN-PROBABILISTIC APPROACH

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

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

The organizing and information-technological particularities of the object of the research are considered. The analysis of principles of building, process of the creation and evolutions of the topological scheme of network is executed. The feature of used radio of the electronic facilities is brought. On base of logician-probabilistic approach the algorithms of the calculation of the factor of readiness of the equipment of network on refusal (malfunction) is designed. Estimation of South, North and West pathways with different variants of the equipment and topological schemes is executed.

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

References

1. The Requirements of organizing-technical of the firm operation of telecommunications of the general use. The Approved order Mininformsvyazi RF from 27.09.2007. № 113.
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. Nazarov A.N. *Models and methods of structured-network parameter of ATM networks*. Moscow, Hot line-Telekom, 2002. - 256 p.
5. Lozbinev F.Yu. Development of the telecommunication base of the shaping electronic government in Bryansk region, *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2012, No.3, pp. 90-93.
6. Lozbinev F.Y. The Development of topologies of telecommunication network of organs of government in Bryansk region. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy Konferentsii «New visions on vocational trainings and scientific of study and of the high school»*. Bryansk, BGTU, 2014, pp. 9-13.
7. Vishnevskiy V.M., Lyakhov A.I., Portnoy S.L., Shahnovich I.V. *Broadband without wires of network of the issue of information*. Moscow, Tehnosfera, 2005. 592 p.
8. Vishnevskiy V.M., Portnoy S.L., Shahnovich I.V. *The Encyclopedia WiMAX. The Way to 4G*. Moscow, Tehnosfera, 2010. - 472 p.
9. Vishnevskiy V.M. *Theoretical bases of the designing of the computer networks*. Moscow, Tehnosfera, 2003. - 512 p.
10. 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.
11. Telepneva T.E, Lozbinev F.Yu. Development of the complex system of the monitoring, account and registrations of radio electronic facilities in overland telecommunications. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy Konferentsii «New visions on vocational trainings and scientific of study and of the high school»*. Bryansk, BGTU, 2014, pp. 24-27.
12. *Regional target program «Informatization of Bryansk region on 2007-2010»*. The Approved of resolution of administrations Bryansk region 27.08.2007, № 583.

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*.

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*.

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*.