

УДК 621.396

DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-11-55-61

К.А. Деньжонков, А.Г. Коркин, А.А. Невров

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ СЕТИ БЕСПРОВОДНОГО ДОСТУПА

Рассматривается модель зоны обслуживания сети беспроводного доступа при концентрическом делении на субзоны, учитывающая регулирование скорости передачи данных за счет адаптивного выбора схемы модуляции и кодирования. Деление на субзоны предлагается осуществлять при условии

обеспечения одинаковых вероятностей уверенного приема на их внешних границах.

Ключевые слова: зона обслуживания, беспроводной доступ, скорость передачи данных, базовая станция.

К.А. Denzhonkov, A.G. Korokin, A.A. Nevrov

MODELING OF BASIC STATION SERVICE AREA OF WIRELESS ACCESS NETWORK

The purpose of the work consists in the model development of basic station service area in the wireless wideband access network unambiguously connecting information reception quality with spatial-energetic characteristics of radio-signals. The investigation method is a simulation.

There is presented a mathematical apparatus allowing the fulfillment of the service area estimation of a basic station at data rate control at the expense of the use of adaptive circuits of modulation and enciphering with the fulfillment of requirements to service quality

on the basis of initial data on parameters of the equipment used and conditions of its application.

A service area model allows estimating quantitatively a basic station range at different data rates and the fulfillment of service quality requirements for different conditions of wireless access network functioning. With the aid of the model offered it is also possible to define power parameters of wireless access equipment required for the fulfillment of the specified values of service quality on the service area required.

Key words: service area, wireless access, data rate, basic station.

Введение

В кризисных ситуациях и при проведении специальных мероприятий в интересах органов государственной власти из районов, неподготовленных в отношении связи, требуется развертывание системы связи. Для оперативного предоставления услуг абонентам системы связи при отсутствии кабельной инфраструктуры все большее применение находят технологии беспроводного широкополосного доступа (БШД). Основными преимуществами беспроводных сетей являются быстрота их развертывания, высокая гибкость при внесении изменений в построение сети и возможность масштабирования.

Основным вариантом построения сети БШД является отдельная сота в месте расположения абонентов. С помощью сети БШД осуществляется подключение как отдельных абонентских станций (АС), так

и локальных вычислительных сетей, развертываемых на пункте управления.

Для планирования беспроводных сетей выпускается дорогое и сложное программное обеспечение, но для обоснования применения оборудования БШД в условиях кризисных ситуаций очевидна необходимость наличия простого инструмента для оценки зоны обслуживания базовой станции (БС) с выполнением требований по качеству обслуживания на основе исходных данных о параметрах применяемого оборудования и условий его применения. Для решения данной задачи необходима разработка модели функционирования сети БШД, однозначно связывающей качество приема информации с пространственно-энергетическими характеристиками радиосигналов.

Деление зоны обслуживания на субзоны

Для повышения пропускной способности и регулирования скорости передачи в современных технологиях БШД приме-

няют различные механизмы адаптации, основными из которых являются гибридный автоматический запрос повторной пе-

редачи и адаптивные схемы модуляции и помехоустойчивого кодирования (АМС – Adaptive Modulation and Coding) [1]. Комбинации различных схем модуляций и скоростей кодирования, формируя дискретный набор скоростей, обеспечивают удобную настройку скоростей передачи данных. При определении подходящего режима работы с определенной скоростью передачи, в зависимости от заданных показателей качества обслуживания, также необходимо количественное определение пространства (зоны) для работы каждого из возможных режимов передачи.

Качество обслуживания абонентов в сетях связи с подвижными объектами определяется вероятностью связи с требуемой достоверностью, или вероятностью уверенного приема сигналов в предоставленном канале [2]. Для оценки вероятности уверенного приема сигналов в зоне обслуживания станции радиодоступа используются два показателя. Первый из них характеризует вероятность уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания (ЗО) круговой формы, т.е. вероятность уверенного приема на предельной дальности зоны обслуживания. Второй показатель

характеризует усредненную по ЗО вероятность уверенного приема сигналов.

Для современных систем мобильной связи (ИМТ-2000) вероятность обеспечения связи с требуемой достоверностью в ЗО базовой станции, т.е. усредненная по зоне обслуживания вероятность уверенного приема $F_{u\text{кр}}(0, R)$, определяемая как доля площади ЗО БС, на которой обеспечивается прием сигналов с требуемой достоверностью, задается в соответствующих руководящих документах для данных технологий. Например, для систем мобильной связи ИМТ-2000, согласно рекомендации МСЭ М.1225 [3], должен обеспечиваться уровень уверенного приема на 95 % площади ЗО в течение 95 % времени, т.е. $P_{\text{св ЗО зад}} = F_{u\text{кр}}(0, R) = 0,95$.

Рассмотрим ЗО, оцениваемую вероятностью электромагнитной доступности, с концентрическим делением на субзоны.

Как известно [2; 4], вероятность уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания $P_{\text{св гр}}(r_i)$ определяется выражением

$$P_{\text{св гр}}(r_i) = P[S > S_{\min}] = \int_{S_{\min}}^{\infty} p(S) dS = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{S_{\min i} - S_m}{\sigma_s \sqrt{2}} \right) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{erf}(a_r), \quad (1)$$

а вероятность обеспечения связи с требуемой достоверностью в ЗО круговой формы

$$\begin{aligned} P_{\text{св ЗО}} = F_{u\text{кр}}(0, R) &= \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}(a_r) + \exp \left(\frac{2a_r b + 1}{b^2} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{a_r b + 1}{b} \right) \right] \right] = \\ &= \frac{1}{2} P_{\text{св гр}}(r_i) + \frac{1}{2} \exp \left(\frac{2a_r b + 1}{b^2} \right) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{a_r b + 1}{b} \right) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$a = (S_{\min} - \alpha) / \sigma_s \sqrt{2},$$

$$\operatorname{erf}(a_r) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{a_r} e^{-t^2} dt,$$

$$b = \left(10 \gamma \log \left(\frac{d}{R} \right) \right) / \sigma_s \sqrt{2} = 10 \gamma \frac{\lg e}{\sigma_s \sqrt{2}}.$$

Здесь $S_{\min i}$ – минимальный требуемый уровень сигнала на приеме для данных показателей качества, равный чувствительности приемника $R_{\text{прми}}$ для i -й скорости передачи информации; S_m – средняя мощность сигнала на приеме с

учетом логнормальных замираний; параметр α – постоянная величина, зависящая от мощности передатчика, коэффициентов усиления антенн, потерь в фидере и т.д.; γ – показатель ослабления сигнала; σ_s – среднеквадратическое отклонение (СКО)

уровня сигнала; d – расстояние между базовой и мобильной станциями; R – радиус ЗО.

Деление на субзоны осуществим так, чтобы в них обеспечивались одинаковые вероятности уверенного приема на их внешних границах, т.е. найдем множество значений внешних радиусов кольцевых

субзон $\vec{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, на которых вероятности уверенного приема одинаковы и равны требуемым значениям:

$$P_{\text{св гр}}(r_i) = P_{\text{св гр доп}} \quad i = \overline{1, M} \quad (3)$$

при усредненных вероятностях уверенного приема в субзонах $P_{\text{св ЗО}}(0, r_i) = P_{\text{св ЗО зад}}$.

Определение дальности действия БС

Определение внешних радиусов субзон, в которых можно передавать информацию со скоростями $V_{\text{бит } i}$ при обеспечении требуемой достоверности, осуществим в следующей последовательности.

1. Определяем исходные данные для моделирования, которые включают в себя параметры оборудования БШД и среды распространения для возможного сценария развертывания сети БШД. Вариант типовых параметров оборудования БШД представлен в табл. 1-3 [5-10].

Развертывание сети БШД может происходить в различных окружающих средах, что требует учета их особенностей. Для каждой окружающей среды используются различные модели расчета средних потерь в тракте $\overline{L_p}(d)$ и правило потерь при распространении ($d^{-\gamma}$, $2 \leq \gamma \leq 6$), а также стандартное отклонение логнормальных замираний затенения σ_s . Следует отметить, что значения σ_s и γ принимаются постоянными на всей площади ЗО.

Таблица 1

Параметры оборудования БШД

Параметр	Значение
Рабочая частота	2500 МГц
Метод дуплекса	TDD
Ширина канала	5/10 МГц
Диаграмма направленности антенны	70° (-3 дБ)
Высота БС/МС	32/1,5 м
Коэффициент усиления антенны БС/АС	15/-1 дБи
Максимально излучаемая мощность БС/АС	43/23 дБм
Собственный шум приемника БС/АС	4/7 дБ
Плотность мощности теплового шума	-174 дБм/Гц

Таблица 2

Параметры OFDM

Параметр	Направление передачи			
	вниз	вверх	вниз	вверх
Полоса пропускания системы	5 МГц		10 МГц	
Размер БПФ	512		1024	
Число защитных поднесущих	92	104	184	184
Число пилотных поднесущих	60	136	120	280
Число информационных поднесущих	360	272	720	560
Число подканалов	15	17	30	35
Интервал поднесущей	10,94 кГц			
Защитный интервал $T_g = T_b/8$	11,4 мкс			
Полезное время OFDM символа T_b	91,4 мкс			
Период OFDM символа T_s	102,9 мкс			
Длительность кадра	5 мс			
Число OFDM-символов в кадре	48 (44 информационных)			

Таблица 3

Параметры среды распространения

Параметр	Значение
Модель потерь в тракте	<i>ITU Vehicular</i> ; модифицированная Хата <i>COST231</i>
СКО медленных замираний	8 дБ
Потери проникновения	10 дБ

2. Для заданной вероятности уверенного приема в ЗО $P_{\text{св ЗО зад}}$ определяем вероятность уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания БС $P_{\text{св гр доп}}$.

Оба слагаемых в формуле (2) зависят от a_r , таким образом, задача сводится к определению данной величины. Аналитически эту задачу решить не удастся. Поэтому определяем требуемое значение a_r для заданного значения $P_{\text{св ЗО зад}}$ методом перебора на интервале $a_{r \text{ min}} \dots a_{r \text{ max}}$. В качестве $a_{r \text{ max}}$ примем значение, при котором $P_{\text{св гр доп}} = P_{\text{св ЗО зад}}$, а $a_{r \text{ min}} = 0$. Найденное значение a_r в соответствии с выражением (1) будет определять вероятность уверенного приема сигналов на внешних границах субзон ЗО $P_{\text{св гр}}(r_i) = P_{\text{св гр доп}}$.

3. Исходя из заданных параметров системы, определяем требуемое значение

$$R_{\text{прм}} = -114 + SNR_{R_x} - 10 \lg(R) + 10 \lg \left(F_s \frac{N_{\text{used}}}{N_{\text{FFT}}} \right) + \text{ImpLoss} + N_f,$$

где SNR_{R_x} – отношения сигнал/шум (SNR) в приемнике (дБ), указанные в табл. 4; R – коэффициент повторения (например, для технологии WiMAX повторение используется только для QPSK модуляции при сверточном и турбокодировании и может быть равно 1, 2, 4, 6); N_{used} – число используемых информационных поднесущих; F_s

чувствительности приемника $R_{\text{прм}i}$ (дБ), которое необходимо при работе на i -й скорости:

$$R_{\text{прм}i} = j + (E_6/N_0 + I_0) + 10 \lg(V_{\text{бит}i}),$$

где $j = 10 \lg \left(10^{(N_f + N_0)/10} + I_0 \right)$ дБм/Гц – общая эффективная плотность шума и интерференции, в которой N_f – собственные шумы приемника; N_0 – плотность теплового шума; I_0 – плотность интерференции приемника, выраженная в мВт/Гц; $E_6/N_0 + I_0$ – требуемое отношение сигнал/шум+интерференция в дБ; $10 \lg(V_{\text{бит}i})$ – информационная скорость, выраженная в дБ.

Для радиоинтерфейса OFDM минимум входного уровня чувствительности $R_{\text{прм}}$ для $p_{\text{ош.бит}} = 10^{-6}$ должен быть [5-7]:

– частота выборки (дискретизации) в МГц; ImpLoss – потери реализации (*implementation loss*), которые учитывают неидеальность приемника (ошибки оценки канала, ошибки слежения, ошибки квантования и фазовый шум); N_f – значение собственного шума приемника к порту антенны.

Таблица 4

Отношения сигнал/шум в приемнике

Модуляция	Скорость кода	SNR приемника (дБ)
QPSK	1/2	5
	3/4	8
16-QAM	1/2	10,5
	3/4	14
64-QAM	1/2	16
	2/3	18
	3/4	20

4. Для найденной вероятности уверенного приема сигналов на границе зоны обслуживания $P_{\text{св гр доп}}$ из выражения (2) определяем требуемый запас на замирания $F_{\text{margin}} = S_m - R_{\text{прми}}$, т.е. необходимое при данной скорости передачи информации превышение среднего уровня сигнала S_m над чувствительностью приемника

$$L_{P_i \text{ max}} \leq P_{\text{пер}} - \eta_{\text{ф прд}} + G_{\text{А прд}} - R_{\text{прм}} + G_{\text{А прм}} - \eta_{\text{ф прм}} + G_{\text{разн}} + G_{\text{др}} - F_{\text{margin}} - L_{\text{зд}},$$

где $P_{\text{пер}}$ – максимальная мощность передатчика в канале (дБм); $\eta_{\text{ф прд}}$ – потери в кабеле, коннекторе, объединителе передатчика (дБ); $G_{\text{А прд}}$ – коэффициент усиления антенны передатчика (дБи); $G_{\text{А прм}}$ – коэффициент усиления антенны приемника (дБи); $\eta_{\text{ф прм}}$ – потери в кабеле и коннекторе приемника (дБ); $G_{\text{разн}}$ – выигрыш от разносненного приема (если используется) (дБ); $L_{\text{зд}}$ – потери сигнала из-за проникновения в здания; $G_{\text{др}}$ – другие возможные выигрыши и потери (дБ), которые уточняются для каждой конкретной радиотехнологии (согласно [3], данные выигрыши для OFDMA могут составлять от 10,5 до 16,7 дБ для нисходящей и 12,5-16,7 дБ для восходящей передачи и зависят от сценария развертывания).

б. Сравнивая полученное значение максимально допустимых потерь $L_{P_i \text{ max}}$ на трассе распространения сигнала со значением потерь в тракте $\overline{L_p}(d)$, рассчитанным по модели потерь в тракте, определяем радиус r_i субзоны круговой формы, в которой можно передавать информацию со скоростью $V_{\text{бит}i}$ с заданной достоверностью. Данный радиус $r_i \in \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ равен максимальному расстоянию от БС, которое определяет долю от всей площади ЗО круговой формы, в которой возможна передача со скоростью $V_{\text{бит}i}$ при выполнении условия (3).

Очевидно, что для повышения средней скорости передачи целесообразно пе-

$$R_{\text{прми}} = S_{\text{mini}}.$$

5. В соответствии с параметрами оборудования беспроводного доступа определяем максимально допустимые потери сигнала на трассе распространения для i -й скорости передачи информации [2; 5]:

редавать информацию со скоростью $V_{\text{бит}i}$ не во всей определенной для данной скорости субзоне круговой формы с радиусом r_i , а только при расстоянии АС-БС $r_{i-1} \leq r < r_i$. Соответственно площадь субзоны для скорости $V_{\text{бит}1} = V_{\text{min}}$ будет ограничиваться внешней границей, равной радиусу субзоны круговой формы r_m для данной скорости из определенных значений множества внешних радиусов $\vec{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$, и внутренней границей, равной внешнему радиусу, определенному для субзоны круговой формы следующей градации скорости $V_{\text{бит}2}$. Аналогичным образом определяются субзоны для остальных значений скоростей передачи. Для субзоны круговой формы, в которой можно передавать информацию со скоростью $V_{\text{бит}M} = V_{\text{max}}$, внешний радиус $r_1 = r_{\text{min}}$ из определенных значений множества внешних радиусов $\vec{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$.

Таким образом, субзоны будут ограничиваться не только своим внешним радиусом r_i , но и внутренней окружностью с радиусом r_{i-1} , равным внешнему радиусу субзоны круговой формы, в которой возможна передача со скоростью $V_{\text{бит}i-1}$, а найденные значения внешних радиусов $\vec{r} = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ будут определять границы переключения скоростей передачи в ЗО в зависимости от расстояния БС-АС при обеспечении заданных показателей качества обслуживания.

Пример расчета

В качестве примера проведен расчет модели ЗО сети радиодоступа на основе типовых параметров оборудования БШД, представленных в табл. 1-3 ($P_{\text{св ЗО зад}} = 0,95$, направление передачи – «вниз», $\gamma = 4$,

выигрыш от разнесения $G_{\text{разн}} = 3$ дБ, другие выигрыши $G_{\text{др}} = 13,5$ дБ, модель потерь в тракте – *Vehicular*). Полученные результаты представлены на рисунке.

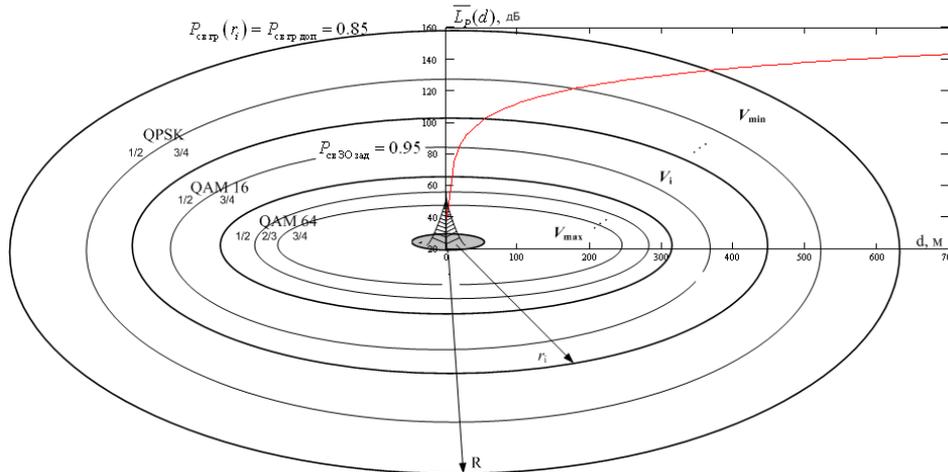


Рис. Результаты расчета ЗО БС

Заключение

Предложенная модель ЗО БС позволяет количественно оценить расстояния от БС до АС, на которых можно передавать информацию на заданных скоростях при выполнении требований по качеству обслуживания для различных условий функционирования сети радиодоступа.

На основе полученных результатов возможно будет оценить скорость передачи данных в планируемой для развертывания однозоновой сети БШД.

С помощью предложенной модели также можно определять энергетические параметры оборудования БШД, требуемые для выполнения заданных показателей качества обслуживания на требуемой площади обслуживания БС сети БШД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коркин, А.Г. Реализация гибридного автоматического запроса повторной передачи в системах беспроводного доступа / А.Г. Коркин, И.П. Колотухин // Информационные системы и технологии. - 2018. - № 1. - С. 78-84.
2. Джейкс, У.К. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ: [пер. с англ.] / под ред. У.К. Джейкса. - М.: Связь, 1979. - 349 с.
3. Recommendation ITU-R M.1225: Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for

Порядок расчета является доступным, не требующим больших вычислительных ресурсов и легко корректируемым под конкретное оборудование и технологию БШД, что позволяет использовать его должностным лицам органов управления системой связи для планирования развертывания сети БШД в условиях кризисных ситуаций, а также принятия оперативных решений по оборудованию узлов связи.

Таким образом, на основе разработанной модели можно получать данные для планирования различных сценариев применения оборудования БШД с обеспечением требований по качеству обслуживания при развертывании системы связи.

IMT-2000.

4. Vijay, K. Garg. Wireless communications and networking / K. Garg Vijay. - Elsevier Inc., 2007. - 931 p.
5. ITU-R. Document 8F/1079-E. Additional technical details supporting IP-OFDMA as an IMT-2000 terrestrial radio interface. - URL: <http://www.wimaxforum.org/news/download/R03-WP8F-C-1079!R1!MSW-E.doc> (дата обращения: 30.05.2017).

6. ITU-R. Document 8F/1347-E. Clarifications regarding OFDMA TDD WMAN Link budget. - 2007. - URL: http://www.wimaxforum.org/news/downloads/8F_1347.doc (дата обращения: 30.05.2017).
 7. Std IEEE 802.16e-2005. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. - IEEE, 2006.
 8. WiMAX System Evolution Methodology. WiMAX Forum. - 2008. - URL: http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX_System_Evaluation_Methodology_V2_1.pdf (дата обращения: 30.05.2017).
 9. Recommendation ITU-R M.2012: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced).
 10. Recommendation ITU-R M.1580: Generic unwanted emission characteristics of base stations using the terrestrial radio interfaces of IMT-2000.
1. Korkin, A.G. Realization of hybrid automatic query of repeated transmission in systems of wireless access / A.G. Korkin, I.P. Kolotukhin // *Information Systems and Technologies*. – 2018. – No.1. – pp. 78-84.
 2. Jaxe, U.C. Communication with Mobile Objects in Band of SHF: [transl. from Engl.] / under the editorship of U.C. Jaxe. – М.: *Communication*, 1979. – pp. 349.
 3. Recommendation ITU-R M.1225: Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000.
 4. Vijay, K. Garg. Wireless communications and networking / K. Garg Vijay. - Elsevier Inc., 2007. - 931 p.
 5. ITU-R. Document 8F/1079-E. Additional technical details supporting IP-OFDMA as an IMT-2000 terrestrial radio interface. - URL: <http://www.wimaxforum.org/news/download/R03-WP8F-C-1079!R1!MSW-E.doc> (address date: 30.05.2017).
 6. ITU-R. Document 8F/1347-E. Clarifications regarding OFDMA TDD WMAN Link budget. - 2007. - URL: http://www.wimaxforum.org/news/downloads/8F_1347.doc (address date: 30.05.2017)
 7. Std IEEE 802.16e-2005. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems. - IEEE, 2006.
 8. WiMAX System Evolution Methodology. WiMAX Forum. - 2008. - URL: http://www.wimaxforum.org/news/downloads/WiMAX_System_Evaluation_Methodology_V2_1.pdf (address date: 30.05.2017).
 9. Recommendation ITU-R M.2012: Detailed specifications of the terrestrial radio interfaces of International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT-Advanced).
 10. Recommendation ITU-R M.1580: Generic unwanted emission characteristics of base stations using the terrestrial radio interfaces of IMT-2000.

Ссылка для цитирования:

Деньжонков, К.А. Моделирование зоны обслуживания базовой станции сети беспроводного доступа / К.А.

Деньжонков, А.Г. Коркин, А.А. Невров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 11. – С. 55 – 61. – DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-11-55-61.

Статья поступила в редакцию 05.11.19.

Рецензент: к.т.н., доцент Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Вестник БГТУ»

Рытов М.Ю.

Статья принята к публикации 11. 11. 19.

Сведения об авторах:

Деньжонков Кирилл Александрович, к.т.н., сотрудник Военной академии связи, тел.: 84862 549 845.

Коркин Алексей Георгиевич, к.т.н., сотрудник Ака-

Denzhonkov Kirill Alexandrovich, Can. Sc. Tech., Employee of Military Academy of Communication, phone: 84862 549 845.

Korkin Alexey Georgievich, Can. Sc. Tech., Employee of Academy of FGS of Russia, phone: 84862 549 845.

демии ФСО России, тел.: 84862 549 845.

Невров Алексей Александрович, к.т.н., сотрудник Академии ФСО России, тел.: 84862 541 244.

Nevrov Alexey Alexandrovich, Can. Sc. Tech., Employee of Academy of FGS of Russia, phone: 84862 541 244.