

MATHEMATICAL MODEL FOR RESEARCH OF PROPERTIES OF HIGHWAYS OF TRANSPORT NETWORKS AT USE OF SEVERAL CLASSES OF SERVICE

Gavlievskiy S.L.

In this article was made the system of the nonlinear algebraic equations describing streams on branches and units of a network in a stationary mode at address dispatch of packages on a multiservice communication network with several classes of service. The decision of system allows to calculate for each grade of service time of a delay and probability of losses of packages between each pair units of a network, and also streams for branches and units of a network, a delay, probability of blocking and levels of loadings of channels. The example of calculation of characteristics of a highway of a multiservice network is given.

Keywords: probability-time characteristics, classes of service, final discrete Markov circuits, routing, the routing table, mathematical model, a multiservice network, a matrix of transitive probabilities, system of the nonlinear algebraic equations. .

Гавлиевский Серго Леонидович, к.т.н., начальник отдела сетевой интеграции ОАО «Гипросвязь». Тел. (8-846) 270-89-45. E-mail: gsl@gs7.ru

УДК 65.021.56

ПРИМЕНЕНИЕ ВЕНГЕРСКОГО МЕТОДА ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ НА ПОДВИЖНЫХ ПЛАТФОРМАХ

Аверьянов Е.С., Касеева Н.А., Назаров С.Н.

Рассмотрены принципы функционирования локальной сети абонентов, размещенной на мобильной платформе, осуществляющей перемещение с высокой скоростью, на примере железнодорожного состава (mobile hotspot – MHS). Предложены алгоритмы повышения эффективности функционирования MHS на основе решения оптимизационной задачи определения максимальной пропускной способности системы. Решены две подзадачи: определения множества соответствия ретрансляторов базовой сети и антенн на подвижной платформе и распределения мощности передачи сигнала по линиям из множества соответствия. Решение первой подзадачи найдено при помощи венгерского метода, второй – симплекс-метода.

Ключевые слова: локальная сеть на мобильной платформе, ретранслятор, зональный диспетчер, двудольный граф, множество соответствия, вектор мощности, пропускная способность системы, венгерский метод, симплекс-метод.

Введение

Технология MHS, определяемая как локальная сеть на подвижной платформе, становится широко востребованной. Внедрение MHS позволит пассажирам высококомобильных систем, таких как скоростные поезда, морские и воздушные суда, используя свои инфокоммуникационные устройства – мобильные телефоны, ноутбуки и др., осуществлять доступ к ресурсам глобальных или

корпоративных сетей. В этом случае решается проблема энергоснабжения при использовании мощных антенных систем. Наиболее перспективной является реализация MHS для железнодорожных транспортных систем [1], структурная схема которой показана на рис.1.

Согласно рис.1 общая коммуникационная сеть транспортной системы – совокупность коммутационного оборудования, которое обеспечивает передачу информационных потоков между глобальной сетью и местными информационными центрами – зональными диспетчерами (zone controllers – ZC). Сеть ZC отвечает за прием и передачу трафика, регистрацию в сети подвижной платформы и ее мобильных абонентов в зоне своей ответственности, которая представляет собой участок в несколько километров железнодорожного пути. ZC направляет информационный поток из глобальной сети одновременно на все связанные с ним ретрансляторы (repeater – R_n), которые передают нагрузку на множество антенн (A_{n1}, \dots, A_{nN}), установленных на подвижной платформе. Все A_n подключены к станции подвижной платформы (vehicle station – VS), которая передает нагрузку точкам доступа (access points – AP) локальной беспроводной сети абонентов. Предлагаемая система позволяет предоставлять информационные услуги абонентам без перерывов связи [1].

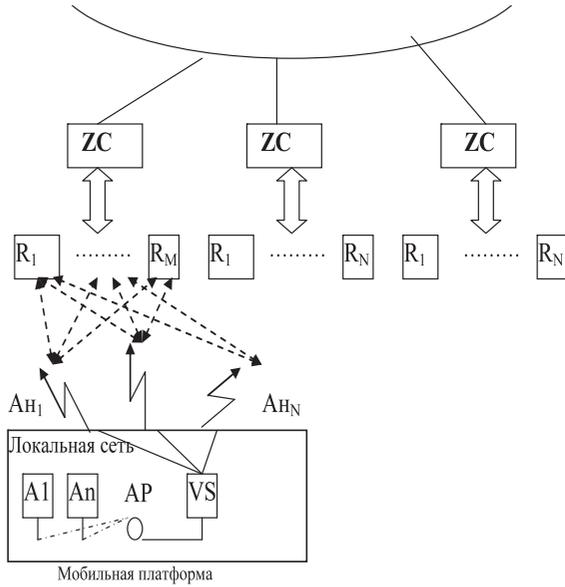


Рис. 1. Структурная схема мобильного высокоскоростного доступа на примере железнодорожной транспортной системы

Модель передачи информации от зонального диспетчера к станции транспортного средства показана на рис. 2: M ретрансляторов размещены около транспортного средства и удалены друг от друга на расстояние d_r , превышающее расстояние пространственной корреляции; N антенн транспортного средства размещены на расстоянии d_a друг от друга. Самое короткое расстояние между ретранслятором и антенной подвижного объекта – d_v .

Все $M \times N$ возможных подканалов подвержены быстрым и медленным замираниям, коэффициенты подканалов остаются постоянными на длительности одного фрейма. Предполагается, что в подканалах присутствует аддитивный, белый, гауссовский шум со спектральной плотностью N_0 . Коэффициент передачи ij -го канала описывается выражением:

$$G_{ij} = \alpha_{ij}^2 L_0 \left(\frac{d_{ij}}{d_0}\right)^{-k}, \quad (1)$$

где α_{ij} – значение огибающей, плотность распределения вероятности которой описывается распределением Райса:

$$w(\alpha_{ij}) = \frac{\alpha_{ij}}{\sigma_{ij}} e^{-\left(\frac{\alpha_{ij}^2 + m_{ij}^2}{\sigma_{ij}^2}\right)} I_0\left(\frac{\alpha_{ij} m_{ij}}{\sigma_{ij}^2}\right), \quad \text{где}$$

$I_0\left(\frac{\alpha_{ij} m_{ij}}{\sigma_{ij}^2}\right)$ – функция Бесселя нулевого

порядка [9]; d_{ij} – расстояние между ретранслятором i и антенной j , k – образец потери тракта, L_0 – уровень затухания сигнала на удалении d_0 для заданного типа передающей антенны.

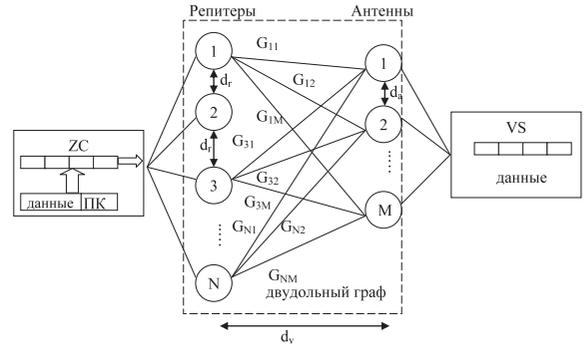


Рис. 2. Модель передачи информации от зонального диспетчера к станции транспортного средства

Поскольку d_r и d_a больше, чем расстояние пространственной корреляции подканалов, то элементы матрицы их характеристик $G = (G_{ij})$ взаимно независимы.

Рассматриваемая совокупность взаимосвязанных ретрансляторов и антенн может быть представлена в виде полного взвешенного двудольного графа (рис.2). Антенны и ретрансляторы представлены двумя отдельными наборами вершин. Радиолиния между каждой возможной парой антенна-ретранслятор представлена ребром графа [8]. Ребро инцидентно с вершинами различных наборов. Характеристика линии G_{ij} определяется как вес ребра (i,j) . Выбор передачи с многократными радиолиниями среди всех пар антенна-ретранслятор, с ограничением непосредственной связи в каждом ретрансляторе и антенне, определяется соответствием двудольного графа: множество ребер $X = \{(i,j) \mid 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$, все $(i,j) \in X$, может быть инцидентно на ретрансляторе i или антенне j только однажды. В матрице $X = \{(x_{ij}) \mid 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\}$, $x_{ij} = 1$, если связь между i -ым ретранслятором и j -ой антенной определена на множестве X , и $x_{ij} = 0$, если связь не выбрана. При этом сумма каждого ряда или колонки матрицы X должна быть 0 или 1 [1; 8]. Каждый i -ый ретранслятор характеризуется мощностью передаваемого сигнала P_i и скоростью передачи r_i . Если $P_i = 0, r_i = 0$, то ретранслятор неактивен. Для множества ретрансляторов определяется вектор мощности $P = [P_i]_{1 \leq i \leq M}$ и вектор скорости передачи информации $r = [r_i]_{1 \leq i \leq M}$. Все образуемые беспроводные связи осуществляются на основе технологии DS/SSMA [2]. В [1] отношение мощности сигнала к мощности помехи на приеме в (ij) -ой линии определено выражением:

$$\gamma_{ij} = \left(\frac{W}{r_i}\right) \frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum_{(k,l) \in X, k \neq i} G_{kl} P_k}, \quad (2)$$

где W – полоса пропускания системы; r_i – пропускная способность линии (i, j) из множества X ; P_i – мощность сигнала ретранслятора i ; N_0 – мощность шума в канале.

Для обеспечения требуемого качества связи необходимо, чтобы выполнялось условие:

$$\gamma_{ij} \geq \gamma_{\text{доп.}} \quad (3)$$

Тогда пропускная способность системы [1] определяется выражением:

$$R_{\text{system}} = \frac{\gamma_{\text{доп.}}}{W} \sum_{(i,j) \in X, \gamma_{ij} \geq \gamma_{\text{доп.}}} r_i \quad (4)$$

Постановка задачи

Из рассмотренного следует, что эффективность функционирования системы MHS определяется пропускной способностью R . Следовательно, для любых $(i, j) \in X, P_i \in P$ необходимо определить r_i таким образом, что $\gamma_{ij} \geq \gamma_{\text{доп.}}$. Согласно выражениям (2) и (4), R_s можно представить как

$$R_{\text{system}} = \frac{\gamma_{\text{доп.}}}{W} \sum_{(i,j) \in X} r_i = \sum_{(i,j) \in X} \frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum_{(k,l) \in X, k \neq i} G_{kl} P_k} \quad (5)$$

Выражение (5) является целевой функцией, а задача максимизации пропускной способности MHS представляется в виде:

$$R_s \rightarrow \max \quad (6)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 0 \text{ или } 1; \sum_{j=1}^N x_{ij} = 0 \text{ или } 1; x_{ij} \in \{0,1\}, (1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N);$$

$$\frac{G_{ij} P_i}{N_0 + \sum_{(k,l) \in X, k \neq i} G_{kl} P_k} \leq \gamma_{\text{доп.}}; 0 \leq P_i \leq P_{\text{max}}.$$

Ограничения для x_{ij} в выражении (6) определены из матрицы соответствия, рассмотренной ранее.

Решение задачи (6) состоит из двух подзадач: формирования множества X и распределения мощности передачи сигнала по (i, j) из X . Первая подзадача носит комбинаторный характер, вторая – является вычислительной задачей. Одновременное решение задач вызывает большие затруднения. Поэтому предлагается, сначала получить соответствие $X = \{(i, j)\}_{1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N}$, а затем осуществить распределение мощности по числовому множеству $\{(i, j)\}_{1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N} \in X$.

Задача определения множества соответствия $X = \{(i, j)\}$

Задача получения множества соответствия $X = \{(i, j)\}$ может быть представлена в виде целевой функции (7) и ограничений (8).

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1; x_{ij} \in \{0,1\}, \quad (8)$$

где c_{ij} соответствует пропускным способностям (ij) -ых линий; $x_{ij} \in X$.

Согласно ограничениям (8), решение задачи (7) может быть найдено с помощью целочисленного программирования, характеризующегося большой размерностью и временем выполнения. Однако если ввести ограничение $x_{ij} \geq 0$, то полный набор ограничений формирует ограниченную область с множеством вершин-экстремумов, которые будут соответствовать множеству X . Следовательно, задача (7) становится задачей линейного программирования с N^2 переменными, которая решается быстрее [3].

Методы решения задачи

Одним из первых методов решения задачи распределения является венгерский метод Куна [4]. Сложность алгоритма оценивается $O(N^3)$ числом операций. Алгоритм Норсфорт-Карп [5], который является модификацией венгерского алгоритма, позволяет решить задачу за $O(N^{2.5})$ операций. Однако результаты исследований Mitra и Darby-Dowman, полученные при выполнении тестов [6], показали, что подход Норсфорт-Карп является нижней границей венгерского подхода. В [1] предлагается для учета влияния подканалов использовать их коэффициенты передачи. Тогда целевая функция может быть представлена в виде:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left[\frac{G_{ij} x_{ij}}{\frac{N_0}{P'} + \sum_{k=1, k \neq i}^M \sum_{l=1}^N G_{kl} x_{kl}} \right]; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \text{ или } 0; 1 \leq j \leq N; \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \text{ или } 0; 1 \leq i \leq M;$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; 1 \leq j \leq N; 1 \leq i \leq M. \quad (11)$$

Для учета реального воздействия на (i,j) линию других линий в работе [1] используется эффективный коэффициент линии

$$G'_{ij} = \frac{G_{ij}}{\frac{N_0}{P_{\max}} + \sum_{k \in S, k \neq i} G_{kj}}, \text{ где } S \subseteq \{1,2,3,\dots,M\} -$$

множество активных ретрансляторов, мощность излучения которых равна P_{\max} :

$$\sum_{i \in S} \sum_{j=1}^N G'_{ij} x_{ij} \rightarrow \max$$

при ограничениях:

$$\sum_{i \in S} x_{ij} = 1 \text{ или } 0 \quad 1 \leq j \leq N; \sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \text{ или } 0; \quad (12)$$

$$i \in S; x_{ij} \in \{0,1\} \quad 1 \leq j \leq N, i \in S.$$

Таким образом, (12) позволяет на данном множестве S получить множество соответствия X . Определенные в X подканалы будут характеризоваться лучшими соотношениями уровней сигналов и помех, что позволит обеспечить максимальную пропускную способность системы в целом.

Задача распределения мощности

Решение задачи распределения мощности между ретрансляторами осуществляется на основе ранее полученного множества соответствия X . Оптимизационная функция и система ограничений могут быть представлены в виде [1]:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left[\frac{G_{ii} P_i}{N_0 + \sum_{j=1, j \neq i}^{|X|} G_{ji} P_j} \right], \quad (13)$$

$$\frac{G_{ii} P_i}{N_0 + \sum_{j=1, j \neq i}^{|X|} G_{ji} P_j} \leq \gamma_{\text{дон.}}; \quad 0 \leq P_i \leq P_{\max}. \quad (14)$$

Решение задачи осуществляется с помощью симплекс-метода [3]. Для этого вводятся дополнительные переменные [1; 3], и оптимизационная задача записывается в виде:

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \left[\frac{G_{ii} P_i}{N_0 + \sum_{j=1, j \neq i}^{|X|} G_{ji} P_j} \right] \rightarrow \max, \quad (15)$$

при ограничениях

$$\frac{G_{ii}}{\gamma_{\text{дон.}}} P_i + \sum_{j=1, j \neq i}^{|X|} G_{ji} P_j + s_i = N_0; \quad P_i + t_i = P_{\max};$$

$$P_i, s_i, t_i \geq 0, \quad (1 \leq i \leq |X|).$$

Результаты моделирования

В работе [1] приведены результаты моделирования доступа MHS к базовой сети согласно схеме, показанной на рис.1-2, со следующими исходными данными. Пусть поезд движется со скоростью 360 км/ч = 100 м/С, для связи используется 2,4 ГГц несущая частота, есть максимальное изменение частоты Доплера $f_d = 800$ Гц, соответствующее время когерентности канала $T_c = 0,423/\Delta f_d = 530$ мкс [7]; продолжительность кадра $0,1 T_c = 53$ мкс. Пропускная способность системы 50 Мбит/С, 2-650 бит на фрейм. Длина поезда составляет 150 м, территориальный разнос антенны и ретрансляторов $d_r = d_a = 15$ м., удаление ретрансляторов от колеи $d_v = 3$ м; $N = 10$ – число антенн на поезде; $N_0 = 1$ мВт; ширина полосы пропускания системы $W = 100$ МГц, и $\gamma_{\text{дон.}} = 10$ дБ. Потери на трассе $k = 2,7$; ближнее справочное расстояние и ослабление должны быть нормализованным к $d_0 = d_v = 3$ м, $L_0 = 0$ dB, соответственно, фактор Райса $k = 7$ дБ.

На рис.3. показаны графики значений пропускной способности системы в зависимости от скорости передачи данных в линии связи. Мобильная система, движущаяся с высокой скоростью, не может управлять элементами базовой сети. Ретрансляторы осуществляют передачу с максимально допустимой мощностью P_{\max} для снижения влияния внешних воздействий. Поэтому в ЗС должна определяться оптимальная скорость передачи данных в образуемых линиях для обеспечения максимальной пропускной способности системы. Как видно из графика на рис.3, значение 7 Мбит/С в линии позволяет получить максимум пропускной способности системы.

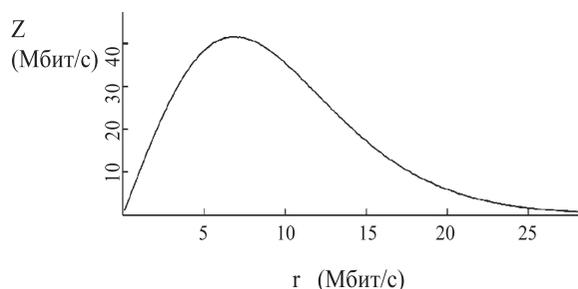


Рис. 3. Пропускная способность системы в зависимости от скорости передачи данных в линии связи

На рис. 3 обозначены: Z – пропускная способность системы; r – скорость передачи данных в линии связи. Оптимальная системная пропускная способность зависит от взаимного расположения репитеров и антенн подвижной системы. Эта зависимость показана на рис. 4. Она достигает своего максимума, когда удаление повторителей и антенн равно $d_{v,}$ и падает к ее минимуму, когда повторители и антенны являются лежащими на полпути друг между другом. Следовательно, оптимальная системная пропускная способность будет изменяться во времени, что потребует значительных затрат ресурсов управления.

Снижение колебаний возможно за счет изменения расстояний между повторителями. С увеличением расстояния амплитуды колебания значений пропускной способности системы снижаются, однако это достигается за счет снижения общей пропускной способности. На рис. 5 представлены графики зависимости пропускной способности системы от числа антенн, установленных на подвижной платформе, при заданном числе ретрансляторов.

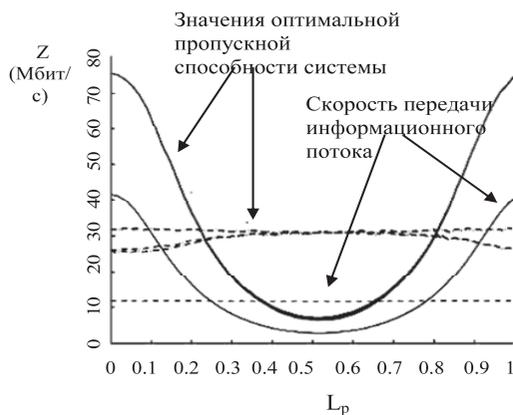


Рис. 4. Значение пропускной способности системы и скорости передачи в линии связи в зависимости от взаимного удаления репитеров

На рис. 4 параметр L_p – положение репитера относительно лучшей точки связи с антенной подвижной системы

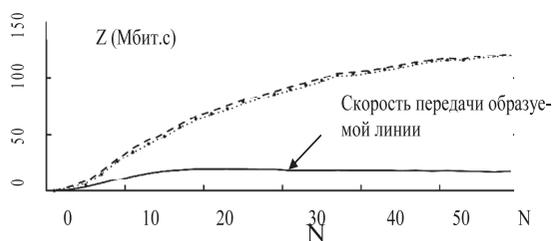


Рис. 5. Зависимость пропускной способности системы от числа антенн, установленных на подвижной платформе, при заданном числе ретрансляторов

На рис. 5 параметр N – число антенн на подвижной платформе. Анализ графиков показывает, что повышение пропускной способности системы возможно за счет увеличения числа используемых на подвижной платформе антенн до определенного значения. Это объясняется уменьшением расстояния между антеннами и усилением взаимного влияния соседних линий.

Заключение

Таким образом, проблема передвижения абонентов с высокой скоростью находит решение в виде технологии mobile hotspot. Это позволяет решить вопрос питания абонентского оборудования, использования крупногабаритных и мощных антенных систем. Снижение частоты переключения между базовыми станциями происходит из-за того, что множество ретрансляторов, подключенных к ЗС, осуществляют одновременно передачу одинаковых сообщений. Исключение замираний в канале, возникающих вследствие взаимного влияния подканалов и доплеровского изменения частоты, осуществляется за счет эффективного распределения ЗС мощности передачи ретрансляторами и взаимной их удаленности, определения оптимальной скорости передачи информации в образуемых линиях и количества антенн, используемых на подвижной платформе.

Литература

1. Daniel H., Shahrokh V. Information Raining and Optimal Link-Layer Design for Mobile Hotspots // IEEE Transaction on mobile computing. Vol.4, №3 (may-june) 2005. – P. 271-283.
2. Sang Wu, Kim and Wayne Stark. Performance Limits of Reed–Solomon Coded CDMA with Orthogonal Signaling in a Raleigh-Fading Channel // IEEE Transaction on communications. Vol.46, №9 (september), 1998. – P. 1125-1134.
3. Таха Х. Введение в исследование операций. Кн. 1. Пер. с англ. М.: Мир, 1985. – 479 с.
4. Kuhn H.W. The Hungarian Method for the Assignment Problem // Naval Research Logistics Quarterly. Vol. 2, 1955. – P. 83-97.
5. Hopcroft J.E., Karp R.M. An $n^5/2$ Algorithm for Maximum Matchings in Bipartite Graphs // SIAM J. Computing. 1973. – P. 225-231
6. Mitra G., Darby-Dowman K. An Investigation of Algorithms Used in Restructuring of Linear Programming Basis Matrices Prior to Inversion, Studies on Graphs and Discrete Programming // Annals of Discrete Math., studies on graphs and discrete programming. Vol. 11, 1981. – P. 69-93

7. Склад Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение Пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2003. – 1104 с.
8. Ловас Л., Пламмер М. Прикладные задачи теории графов. Теория паросочетаний в математике, физике, химии Пер. с англ. М.: Мир, 1998. – 652 с.
9. Исаков В.Н. Статистическая теория радиотехнических систем (курс лекций) [электронный ресурс]. URL: strts-online.narod.ru (дата обращения 26.02.2011).

APPLICATION OF THE HUNGARIAN ALGORITHM AT THE DECISION OF PROBLEMS OF DISTRIBUTION OF TELECOMMUNICATION OPERATIONAL LIVES FOR LOCAL AREA NETWORKS ON MOBILE PLATFORMS

Averyanov E.C, Kaseeva N.A., Nazarov S.N.

In work principles of performance of a local area network of the subscribers placed on a mobile platform, carrying out relocating with a HS on a train example (mobile hotspot (MHS)) are analyzed. The present work is devoted developments of algorithms of boosting of efficiency of performance MHS on the basis of the decision of an optimizing problem of determination of the maximum transmission capacity of system. The problem decision is offered to be broken on two subtasks: determinations of set of conformity of repeaters of a base network and antennas on a mobile platform and distributions of power of a signal transmission on links from set of conformity. The decision of the first subtask is offered to carry out on the basis of the Hungarian method, the second – a simplex-method.

Keywords: a local area network on a mobile platform, a repeater, the zone dispatcher, set of conformity, a power vector, transmission capacity of system, the Hungarian method, a simplex-method.

Аверьянов Евгений Сергеевич – аспирант Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (УВАУ ГА). Тел. 8-917-629-00-23.

Касеева Наталья Андреевна курсант УВАУ ГА. E-mail: nat53880735@yandex.ru

Назаров Сергей Николаевич, к.т.н., доцент Кафедры «Информатика» УВАУ ГА. Тел. (8-842) 243-54-00, 239-80-59, 8-903-338-34-72. E-mail: art3456@rambler.ru

УДК 621.396

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОЛП

Шафигуллин Л.Н.

В работе проанализированы методы моделирования производственного процесса технического обслуживания линейно-кабельных сооружений (ЛКС) ВОЛП. Обоснован выбор метода функциональных сетей. Показана на примере расчета реализация данного метода для оценки эффективности технического обслуживания ЛКС ВОЛП.

Ключевые слова: линейно-кабельные сооружения, волоконно-оптическая линия связи, техническое обслуживание, моделирование производственного процесса, сложные системы, эффективность.

Введение

Для количественной оценки эффективности производственного процесса технического обслуживания ЛКС ВОЛП необходимы методы

формального описания и анализа, обладающие следующими свойствами:

- иметь аналитические средства для оценки показателей технологической эффективности обслуживания ЛКС ВОЛП;
- в удобной и простой форме описывать и оптимизировать процессы технического обслуживания ЛКС ВОЛП;
- выбранная система показателей технологической эффективности должна оцениваться с помощью единого метода;
- методика расчета показателей технологической эффективности должна соответствовать основным требованиям, сформулированным в отраслевых стандартах и нормативных документах.

Анализ указанных документов показывает, что рекомендованные в них методы оценки тех-