

О ПОСТРОЕНИИ СЕТИ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ В НЕПОДГОТОВЛЕННЫХ В ОТНОШЕНИИ СВЯЗИ РАЙОНАХ

А.Н. Дмитриев¹, В.А. Есаков¹, Г.С. Уткин¹, В.Н. Сумельтинов¹,
Ю.И. Литвяк¹, М.Ю. Стогов²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²ЦНИИ ВВС МО РФ, 141103, Московская область, г. Щелково, ул. Аэродромная, д. 2–5

alexmitriev007@yandex.ru

Рассмотрена задача оптимального размещения аэростатных ретрансляторов в интересах построения сети беспроводной связи. Предложен способ решения этой задачи, основанный на последовательном связывании исходного графа сети аэростатными ретрансляторами различной высоты и стоимости. Проведено сравнение полученных результатов и выбран наиболее эффективный из них. Лучшим признан тип ретрансляторов, которым можно обеспечить полную связность исходного графа сети с минимальными затратами, выраженными в суммарной стоимости потребного количества аэростатных ретрансляторов. Представлен алгоритм поиска оптимального решения, реализованный на языке программирования Python 2.7. Определен оптимальный для исходных данных тип аэростатного ретранслятора, описан процесс его поиска.

Ключевые слова: сеть беспроводной связи, аэростат, оптимизация

Ссылка для цитирования: Дмитриев А.Н., Есаков В.А., Уткин Г.С., Сумельтинов В.Н., Литвяк Ю.И., Стогов М.Ю. О построении сети беспроводной связи в неподготовленных в отношении связи районах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 4. С. 117–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-117-124

Сети беспроводной связи имеют все более важное значение в современных системах телекоммуникаций, поскольку обладают высокой экономичностью, широким спектром применения, что ставит перед исследователями ряд задач по повышению их эффективности.

Отдельный класс беспроводных сетей представляют сети связи, построенные с использованием ретрансляторов связи на базе летательных аппаратов. Как транспортная база могут служить аэростаты, миниатюрные беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дирижабли, самолеты или искусственные спутники Земли. Ретрансляторы связи обеспечивают существенное расширение области покрытия радиосвязью территории и пространства, называемого радиосвязным полем. Поэтому приобрели актуальность задачи разработки и внедрения в практику методических аспектов построения сети связи, использующей ретрансляторы на базе летательных аппаратов различного типа.

Цель работы

Целью настоящей работы является создание целостной методики, обеспечивающей построение беспроводной сети связи в неподготовленных в отношении связи районах на основе применения аэростатных ретрансляторов связи различной высоты.

Материалы и методы

Теоретической и методической основой решения задачи оптимального размещения аэростатных ретрансляторов являются такие методы, как

системный анализ, оценка качества и эффективности, оптимизация и математическое программирование [1–9].

Немаловажное значение имеют методы моделирования авиационных сетей информационного обмена, оценки их качества и эффективности [10–18].

Разработаны предложения по повышению эффективности систем авиационной и наземной радиосвязи на основе применения ретрансляторов на различных летно-подъемных средствах [19] и метод оптимального размещения аэростатных ретрансляторов связи в интересах построения сети беспроводной связи в неподготовленных в отношении связи районах [20], используемые нами для решения рассматриваемой практической задачи.

В общем случае эффективность функционирования сети связи характеризуется двумерным показателем [9], включающим в себя следующие параметры:

1) показатель качества, в данном случае отражающий обеспечение связности каждого абонента сети хотя бы с одним из соседних абонентов с учетом требований по достоверности и своевременности передачи информации (прямая задача);

2) затраты на организацию такой сети, которые выражаются в конкретных физических величинах, например стоимость требуемого оборудования E (обратная задача).

Задача оптимального размещения аэростатных ретрансляторов относится к классу задач об оптимальном покрытии. Построение такой сети связи достигается решением либо прямой, либо обратной оптимизационной задачи.

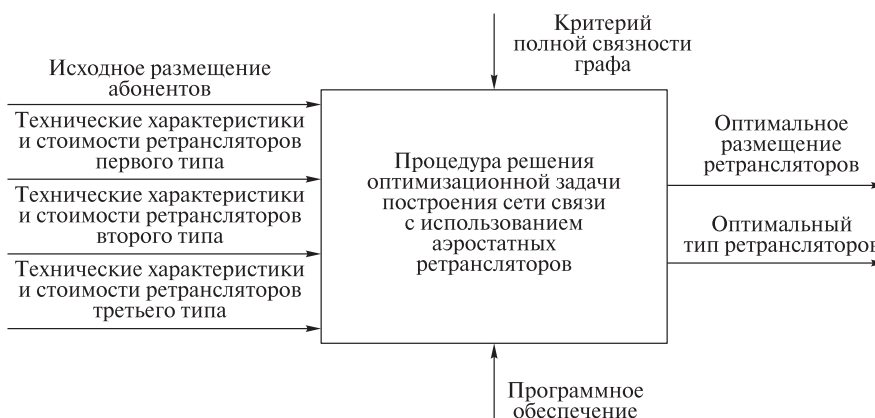


Рис. 1. Процедура решения оптимизационной задачи построения сети связи с использованием аэростатных ретрансляторов

Fig. 1. The procedure for solving the optimization problem of constructing a communication network using balloon repeaters

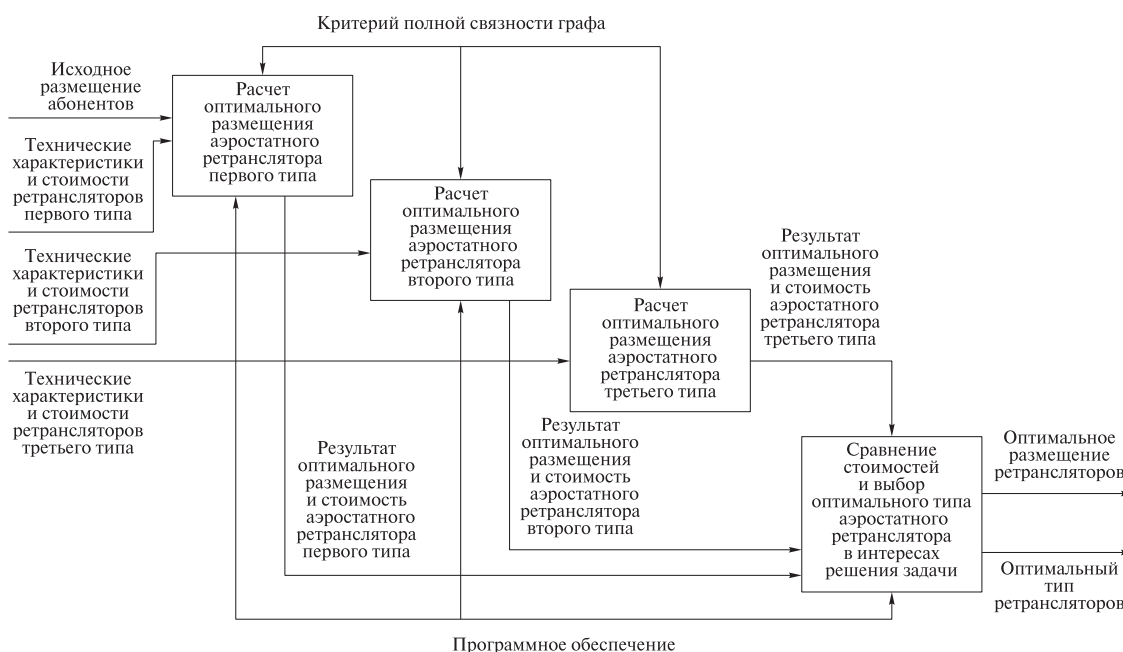


Рис. 2. Декомпозиция процедуры решения оптимизационной задачи построения сети связи с использованием аэростатных ретрансляторов (АРТР)

Fig. 2. Decomposition of the procedure for solving the optimization problem of building a communication network using balloon repeaters

Результаты и обсуждение

При использовании радиосвязного и коммутационного оборудования с одинаковыми характеристиками наибольшее влияние на стоимость построения сети оказывает высотность аэростатных ретрансляторов.

С точки зрения максимальной высоты подвеса, множество аэростатных ретрансляторов можно разделить на три типа T (с высотностями h_1, h_2, h_3 и стоимостью в условных единицах e):

$T_1 = \{h_1, e_1\}$ — маловысотные: $h_1 = 300$ м, $e_1 = 1000$ у.е.;

$T_2 = \{h_2, e_2\}$ — средневысотные: $h_2 = 1000$ м, $e_2 = 1500$ у.е.;

$T_3 = \{h_3, e_3\}$ — высотные: $h_3 = 3000$ м, $e_3 = 10\,000$ у.е.

Согласно работе [2], оптимизация состоит в выборе наилучшей пары R и E , где R — ресурсы, E — результат.

Для заданного множества ретрансляторов высотности h_1, h_2, h_3 , используемых для построения сети, и их стоимости $E_{300}, E_{1000}, E_{3000}$ соответственно требуется определить такую совокупность ретрансляторов различных типов, которая обеспечивает решение задачи о покрытии с минимальной суммарной стоимостью (рис. 1, 2)

$$E = \min E_{\Sigma} \text{ для } E \in \{E_{300}, E_{1000}, E_{3000}\}.$$



Рис. 3. Расчет оптимального размещения аэростатных ретрансляторов первого типа
Fig. 3. Calculation of the optimal placement of the balloon type repeaters of the first type

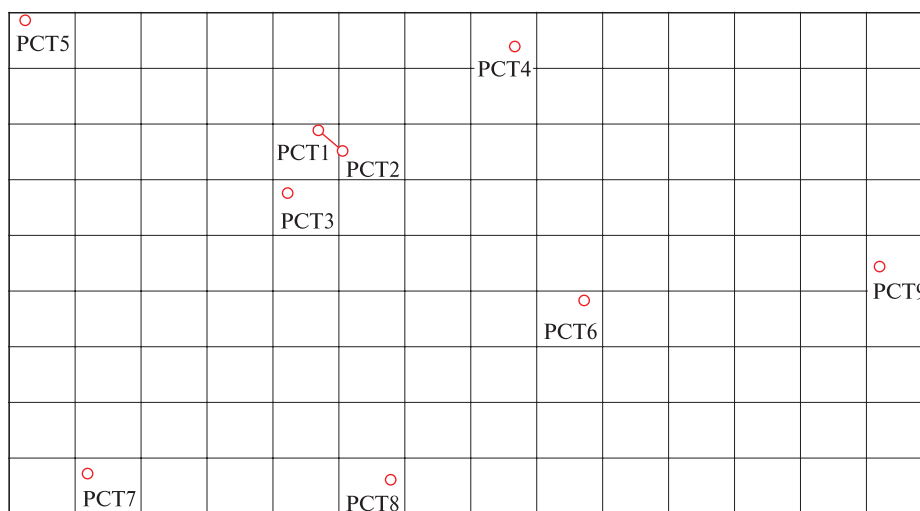


Рис. 4. Исходное размещение абонентов (радиостанций) в координатной сетке (количество PCT — 9)
Fig. 4. The initial placement of subscribers (radio stations) in the grid (the number of PCT — 9)

На рис. 3 отражено графическое представление процедуры расчета оптимального размещения аэростатных ретрансляторов на примере аэростатного ретранслятора первого типа T_1 .

Для решения данной задачи разработана программа на языке Python 2.7.

Исходными данными для программы послужили множество абонентов A_{PCT} (рис. 4), представленных координатами в двумерном пространстве, и множество доступных типов аэростатов — R , представленных максимальной высотой подвеса в метрах h и стоимостью e в условных единицах.

В процессе выполнения программы по алгоритму [2] выполняется поиск минимального потребного количества аэростатных ретрансляторов каждого типа T_i , необходимого для достижения приемлемого значения первого показателя качества, то есть полной связности графа и подсчет суммарной стоимости аэростатного ретранслятора. Оптимальным признается решение с минимальной суммарной стоимостью ретрансляторов.

Результаты поиска для ретрансляторов с высотой подвеса 300, 1000 и 3000 м отражены на рис. 5–7 соответственно.

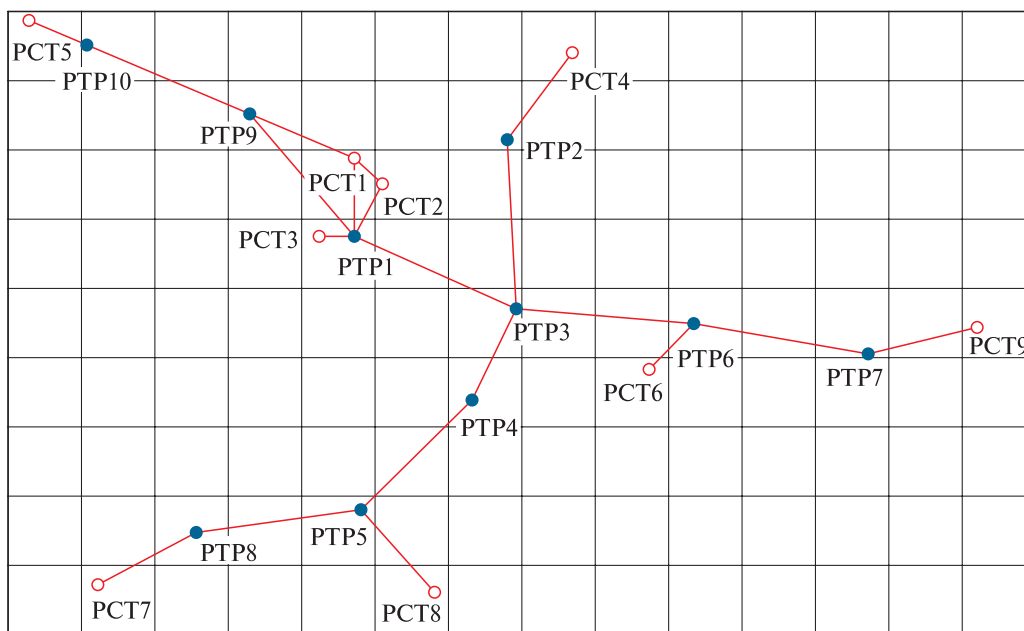


Рис. 5. Оптимальное решение для аэростатных ретрансляторов с высотой подвеса 300 м (масштаб 1:600; высота 300 м; стоимость 1000 у.е.; количество каналов связи (КС) — 1; количество радиостанций (PCT) — 9; количество ретрансляторов (PTP) — 10; общая стоимость 10 000 у.е.)

Fig. 5. The optimal solution for balloon repeaters with a suspension height of 300 m (scale 1: 600; altitude 300 m; cost 1000 cu; the number of communication channels (KC) — 1; the number of radio stations (PCT) — 9; the number of repeaters (PTP) — 10; the total cost is 10 000 cu)

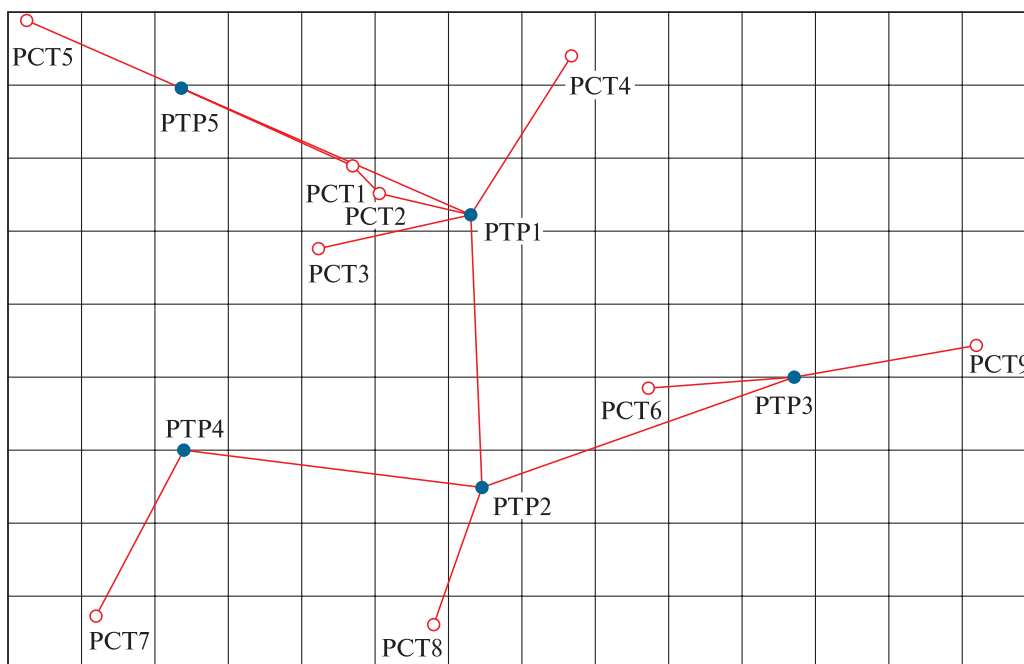


Рис. 6. Оптимальное решение для аэростатных ретрансляторов с высотой подвеса 1000 м (масштаб 1:600; высота 1000 м; стоимость 1500 у.е.; количество каналов связи (КС) — 1; количество радиостанций (PCT) — 9; количество ретрансляторов (PTP) — 5; общая стоимость 7500 у.е.)

Fig. 6. The optimal solution for balloon radios with a suspension height of 1000 m (scale 1: 600; altitude 1000 m; cost 1500 cu; the number of communication channels (KC) — 1; the number of radio stations (PCT) — 9; the number of repeaters (PTP) — 5; the total cost is 7500 cu)

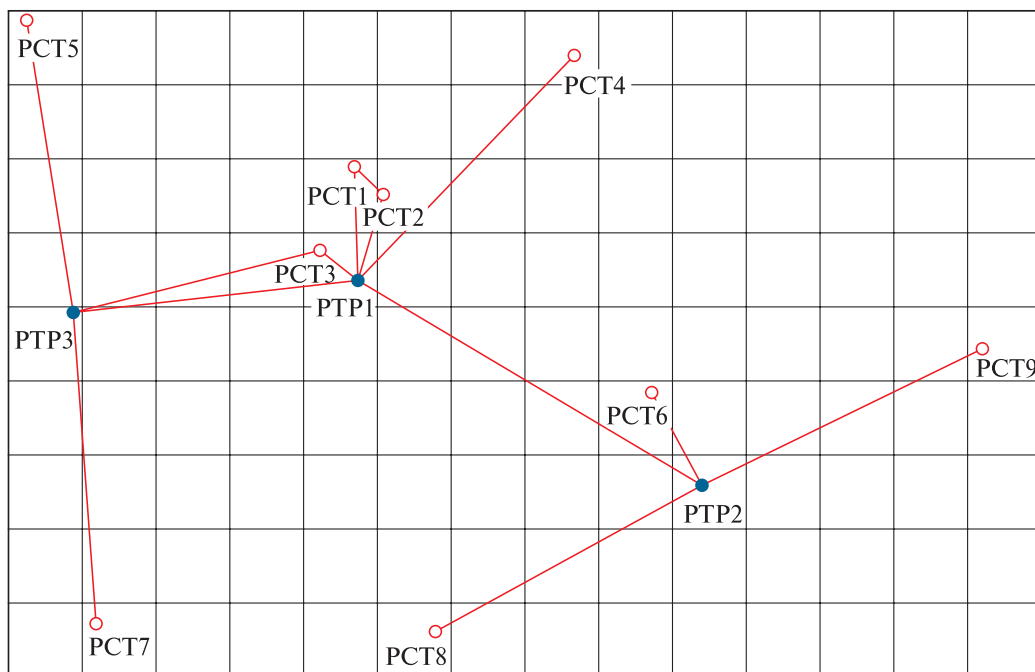


Рис. 7. Оптимальное решение для аэростатных ретрансляторов с высотой подвеса 3000 м (масштаб 1:600; высотность 3000 м; стоимость 10 000 у.е.; количество каналов связи (КС) — 1; количество радиостанций (PCT) — 9; количество ретрансляторов (PTP) — 3; общая стоимость 30 000 у.е.)

Fig. 7. The optimal solution for balloon repeaters with a suspension height of 3000 m (scale 1: 600; altitude 3000 m; cost 10 000 cu; the number of communication channels (KC) — 1; the number of radio stations (PCT) — 9; the number of repeaters (PTP) — 3; the total cost is 30 000 cu)

Выводы

1. Выбранный метод решения задачи построения беспроводных сетей в неподготовленных в отношении связи районах носит итеративный характер и относится к разделу методов нахождения оптимальных решений дискретной и комбинаторной оптимизации.

2. Программная реализация метода отражает относительную простоту поиска оптимального решения комбинаторными методами в сравнении с составлением системы функциональных зависимостей.

Список литературы

- [1] Уёмов А.И. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. 272 с.
- [2] Месарович М., Такахара И.М. Общая теория систем: математические основы. М.: Мир, 1978. 311 с.
- [3] Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 488 с.
- [4] Карманов В.Г. Математическое программирование. М.: Наука, 1986. 288с.
- [5] Коршунов Ю.М. Математические основы кибернетики. М.: Энергоатомиздат, 1987. 496 с.
- [6] Волкова В.Н. Теория систем и системный анализ. СПб.: Изд-во политехнического ун-та, 2005. 72 с.
- [7] Волкова В.Н., Денисов А.А. Теория систем. М.: Высшая школа, 2006. 511 с.
- [8] Дмитриев А.Н. Введение в системный анализ. М.: МГУЛ, 2013. 48 с.
- [9] Дмитриев А.Н. Теоретико-множественное описание систем. М.: МГУЛ, 2012. 35 с.
- [10] Дмитриев А.Н., Максимов А.В., Блакитный О.А. Проблема построения единой автоматизированной системы воздушной радиосвязи региона // Материалы X Научно-технической конференции «Проблемы радиосвязи», Нижний Новгород: НПП «Полет», 1999. С. 93–100.
- [11] Дмитриев А.Н., Максимов А.В., Мотин О.В. Методический подход к оценке эффективности системы воздушной радиосвязи // Материалы VI Всероссийской науч.-техн. конф. «Повышение эффективности методов и средств обработки информации», Тамбов, 16–19 мая 2000 г. / ред. А.В. Коренная, Р.Ю. Диасамидзе. Тамбов: МСОИ, 2000. 341 с.
- [12] Дмитриев А.Н., Максимов А.В., Мотин О.В. Модель авиационного УКВ канала обмена данными // Материалы Рос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в связи и управлении», 24–26 апреля 2002 г., Калуга, КНИИТМУ. Калуга: ФГУП КНИИТМУ, 2002. 368 с.
- [13] Дмитриев А.Н., Мотин О.В. Методический подход к оптимизации авиационных сетей обмена данными // Материалы Рос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в системах связи и управления», 20–22 апреля 2004 г. Калуга, КНИИТМУ. Калуга: ФГУП КНИИТМУ, 2004. 307 с.
- [14] Дмитриев А.Н., Доброхотов А.В., Мотин О.В. Методические аспекты моделирования и оценки эффективности систем авиационной радиосвязи // Материалы Рос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в системах связи и управления», 20–22 апреля 2004 г. Калуга, КНИИТМУ. Калуга: ФГУП КНИИТМУ, 2004. 307 с.

- [15] Дмитриев, А.Н., Доброхотов А.В., Мотин О.В. Методика оценки эффективности сетей авиационной радиосвязи // Материалы Рос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в системах связи и управления», 20–22 апреля 2004 г. Калуга, КНИИТМУ. Калуга: ФГУП КНИИТМУ, 2004. 307 с.
- [16] Дмитриев А.Н., Максимов В.А., Кнауэр Г.Э. Оценка эффективности сетей воздушной радиосвязи при использовании различных алгоритмов многостанционного доступа // Материалы Рос. науч.-техн. конф. «Новые информационные технологии в связи и управлении», 24–26 апреля 2002 г. Калуга, КНИИТМУ. Калуга: ФГУП КНИИТМУ, 2002. 368 с.
- [17] Дмитриев А.Н., Доброхотов А.В., Мотин О.В. Методика оценки эффективности функционирования информационных сетей в интегрированных системах связи, навигации, идентификации // Сб. материалов 26-й Межрегиональной науч.-техн. конф. «Проблемы обеспечения эффективности и устойчивости функционирования сложных технических систем» / под ред. Ю.А. Романенко. Серпухов: ВИ РВ, 2007. 340 с.
- [18] Дмитриев А.Н., Доброхотов А.В., Мотин О.В. Методы моделирования и оценки эффективности авиационных сетей информационного обмена. Щелково: 30 ЦНИИ МО, 2009. 254 с.
- [19] Дмитриев А.Н., Толмачев В.И., Гайдамак В.М. Предложения по повышению эффективности системы связи объединения ВВС на основе применения ретрансляторов на различных летно-подъемных средствах // Материалы X науч.-техн. конф. «Проблемы радиосвязи». Нижний Новгород: НПП «Полеет», 1999. С. 108–119.
- [20] Дмитриев А.Н., Литвяк Ю.И. Метод оптимального размещения аэростатных ретрансляторов связи // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2015, № 3 (101). С. 75–79.

Сведения об авторах

Дмитриев Александр Никитович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sau@mgul.ac.ru

Есаков Виталий Анатольевич — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sau@mgul.ac.ru

Уткин Георгий Степанович — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sau@mgul.ac.ru

Сумельтинов Виктор Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sau@mgul.ac.ru

Литвяк Юрий Иванович — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sau@mgul.ac.ru

Стогов Михаил Юрьевич — ст. инженер ЦНИИ ВВС МО РФ, caf-sau@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 19.04.2019.

Принята к публикации 15.07.2019.

THE CONSTRUCTION OF WIRELESS COMMUNICATION NETWORK AT THE COMMUNICATION UNPREPARED AREAS

A.N. Dmitriev¹, V.A. Esakov¹, G.S. Utkin¹, V.N. Sumeltinov¹,
Y.I. Litvyak¹, M.Y. Stogov²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2–5, Aerodromnaya st., 141103, Schelkovsky district, Schelkovo city, Moscow reg., Russia

alexndmitriev007@yandex.ru

The issue of optimal placement of balloon radios to build a wireless communication network is considered. A method for solving this problem is proposed, based on the sequential linking of the initial network graph by aerostat repeaters of various heights and costs. The results are compared and the most effective of them is selected. The type of repeaters is recognized as the best, which can ensure complete connectivity of the initial graph of the network with minimal costs, expressed in the total cost of the required number of balloon radios. An algorithm for finding the optimal solution, implemented in the Python 2.7 programming language, is presented. The type of balloon repeater that is optimal for the initial data is determined, and the process of its search is described.

Keywords: wireless communication network, balloon, optimization

Suggested citation: Dmitriev A.N., Esakov V.A., Utkin G.S., Sumeltinov V.N., Litvyak Y.I., Stogov M.Y. *O postroenii seti besprovodnoy svyazi v nepodgotovlennyykh v otnoshenii svyazi rayonakh* [The construction of wireless communication network at the communication unprepared areas]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 117–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-117-124

References

- [1] Uyomov A.I. *Sistemnyy podkhod i obshchaya teoriya sistem* [Systems approach and general systems theory]. М.: Mysl', 1978, 272 p.
- [2] Mesarovich M., Takahara I. M. *Obshchaya teoriya sistem: matematicheskie osnovy* [The general theory of systems: mathematical foundations]. Moscow: Mir, 1978, 311 p.
- [3] Moiseev N.N. *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza* [Mathematical problems of system analysis]. Moscow: Nauka [Science], 1981, 488 c.
- [4] Karmanov V.G. *Matematicheskoe programmirovaniye* [Mathematical programming]. Moscow: Nauka [Science], 1986, 288p.
- [5] Korshunov Yu.M. *Matematicheskie osnovy kibernetiki* [Mathematical foundations of cybernetics]. Moscow: Energoatomizdat, 1987, 496 p.
- [6] Volkova V.N. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz* [System theory and system analysis]. St. Petersburg: Izd-vo politekhnicheskogo un-ta [Polytechnic University Press], 2005, 72 p.
- [7] Volkova V.N., Denisov A.A. *Teoriya sistem* [Systems Theory]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 2006, 511 p.
- [8] Dmitriev A.N. *Vvedeniye v sistemnyy analiz* [Introduction to system analysis]. Moscow: MGUL, 2013, 48 p.
- [9] Dmitriev A.N. *Teoretiko-mnozhestvennoye opisanie sistem* [The set-theoretic description of systems]. Moscow: MGUL, 2012, 35 p.
- [10] Dmitriev A.N., Maksimov A.V., Blakitnyy O.A. *Problema postroeniya edinoy avtomatizirovannoy sistemy vozduшной radiosvyazi regiona* [The problem of building a unified automated air radio communication system in the region] *Materialy X Nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy radiosvyazi»* [Proceedings of the X Scientific-Technical Conference «Problems of Radio Communication»], Nizhny Novgorod NPP «Polet», 1999, pp. 93–100.
- [11] Dmitriev A.N., Maksimov A.V., Motin O.V. *Metodicheskiy podkhod k otsenke effektivnosti sistemy vozduшной radiosvyazi* [Methodical approach to assessing the effectiveness of the air radio communication system] *Materialy VI Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konferentsii «Povysheniye effektivnosti metodov i sredstv obrabotki informatsii»* [Proceedings of the VI All-Russian Scientific-Technical Conference «Improving the efficiency of methods and means of information processing»], Tambov, May 16–19, 2000. Ed. Korennaya A.V., Diasamidze R.Yu. Tambov: MSOI, 2000, 341 p.
- [12] Dmitriev A.N., Maksimov A.V., Motin O.V. *Model' aviatsionnogo UKV kanala obmena dannymi* [Model of the aviation VHF data exchange channel] *Materialy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v svyazi i upravlenii»* [Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference «New Information Technologies in Communication and Management»], Kaluga, KNIITMU 2002, April 24–26, 2002 Kaluga: KNIITMU, 2002, 368 p.
- [13] Dmitriev A.N., Motin O.V. *Metodicheskiy podkhod k optimizatsii aviatsionnykh setey obmena dannymi* [Methodical approach to the optimization of aviation data exchange networks] *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v sistemakh svyazi i upravleniya»* [Proceedings of the scientific and technical conference «New information technologies in communication and control systems»], Kaluga, KNIITMU, April 20–22, 2004. Kaluga: KNIITMU, 2004, 307 p.
- [14] Dmitriev A.N., Dobrokhotoy A.V., Motin O.V. *Metodicheskie aspekty modelirovaniya i otsenki effektivnosti sistem aviatsionnoy radiosvyazi* [Methodical aspects of modeling and evaluating the effectiveness of aviation radio communication systems] *Sbornik materialov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v sistemakh svyazi i upravleniya»* [Collection of materials of the scientific and technical conference «New information technologies in communication and control systems»], Kaluga, KNIITMU, April 20–22, 2004. Kaluga: KNIITMU, 2004, 307 p.
- [15] Dmitriev, A.N., Dobrokhotoy A.V., Motin O.V. *Metodika otsenki effektivnosti setey aviatsionnoy radiosvyazi* [Methods for assessing the effectiveness of aviation radio communication networks] *Sbornik materialov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v sistemakh svyazi i upravleniya»* [Collection of materials of the scientific and technical conference «New information technologies in communication and control systems»], Kaluga, KNIITMU, April 20–22, 2004. Kaluga: KNIITMU, 2004, 307 p.

- [16] Dmitriev A.N., Maksimov V.A., Knauer G.E. *Otsenka effektivnosti setey vozduшной radiosvyazi pri ispol'zovanii razlichnykh algoritmov mnogostantsionnogo dostupa* [Evaluation of the effectiveness of aeronautical radio networks using various multiple access algorithms] *Materialy Rossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Novye informatsionnye tekhnologii v svyazi i upravlenii»* [Proceedings of the Russian Scientific and Technical Conference «New Information Technologies in Communications and Management»], Kaluga, KNIITMU 2002, April 24–26, 2002. Kaluga: KNIITMU, 2002, 368 p.
- [17] Dmitriev A.N., Dobrokhotov A.V., Motin O.V. *Metodika otsenki effektivnosti funktsionirovaniya informatsionnykh setey v integrirovannykh sistemakh svyazi, navigatsii, identifikatsii* [Methods of assessing the effectiveness of the functioning of information networks in integrated communication, navigation, identification systems] *Sbornik materialov 26-y Mezhregional'noy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy obespecheniya effektivnosti i ustoychivosti funktsionirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem»* [Collection of materials of the 26th Interregional Scientific and Technical Conference «Problems of ensuring the efficiency and sustainability of complex technical systems»]. Ed. Romanenko Yu.A. Serpukhov: VI RV, 2007, 340 p.
- [18] Dmitriev A.N., Dobrokhotov A.V., Motin O.V. *Metody modelirovaniya i otsenki effektivnosti aviatsionnykh setey informatsionnogo obmena* [Methods of modeling and evaluating the effectiveness of aviation information exchange networks]. Schelkovo: 30 TsNII MO [30 Central Research Institute of the Defense Ministry], 2009, 254 p.
- [19] Dmitriev A.N., Tolmachev V.I., Gaydamak V.M. *Predlozheniya po povysheniyu effektivnosti sistemy svyazi ob»edineniya VVS na osnove primeneniya retranslyatorov na razlichnykh letno-pod»emnykh sredstvakh* [Proposals to improve the efficiency of the communication system combining the Air Force based on the use of repeaters on various flight-lifting means] *Materialy Kh Nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy radiosvyazi»* [Proceedings of the X Scientific-Technical Conference «Problems of Radio Communication»], Nizhny Novgorod: NPP «Polet», 1999, pp. 108–119.
- [20] Dmitriev A.N., Litvyak Yu.I. *Metod optimal'nogo razmeshcheniya aerostatnykh retranslyatorov svyazi* [Method of optimal placement of aerostat repeater communication]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, no. 3 (101), pp. 75–79.

Authors' information

Dmitriev Aleksandr Nikitovich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-sau@mgul.ac.ru

Esakov Vitaliy Anatol'yevich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-sau@mgul.ac.ru

Utkin Georgiy Stepanovich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-sau@mgul.ac.ru

Sumeltinov Viktor Nikolayevich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-sau@mgul.ac.ru

Litvyak Yuriy Ivanovich — Postgraduate of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-sau@mgul.ac.ru

Stogov Mikhail Yur'yevich — Senior Engineer of the Central Research Institute of the Air Force of the Ministry of Defense of the RF, caf-sau@mgul.ac.ru

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 15.07.2019.