

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КОМПЬЮТЕРНЫЕ СЕТИ

УДК 517.9

С.Н. Назаров, А.А. Шагарова

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ПО РАДИОКАНАЛАМ ДЕКАМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА В БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Назаров Сергей Николаевич, кандидат технических наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного, адъюнктуру Ульяновского высшего военного инженерного училища связи, докторант УлГТУ, доцент кафедры информатики Ульяновского высшего авиационного училища гражданской авиации (института). Имеет статьи и публикации в области моделирования систем и сетей беспроводной передачи информации. [e-mail: art3456@rambler.ru].

Шагарова Анна Александровна, соискатель Ульяновского государственного технического университета, преподаватель кафедры общих профессиональных дисциплин УВАУ ГА (института). Имеет публикации в области разнесенного приема сигналов в сетях беспроводной передачи информации. [e-mail: Nutka82@list.ru].

Аннотация

Для беспроводной сети авиационной электросвязи (БСАЭ) предложен и обоснован способ повышения эффективности функционирования радиосвязи (РС) декаметрового диапазона (ДКМ) за счет применения вынесенных за зону ответственности диспетчерского пункта (ДП) радиоцентров-ретрансляторов (РЦР).

Ключевые слова: беспроводная сеть авиационной электросвязи, управление воздушным движением, радиоцентр-ретранслятор.

Sergey Nikolaevich Nazarov, Candidate of Engineering; graduated from the Military Communications Academy named after S. Budenny; finished his post-graduate study at Ulyanovsk Higher Military Communications Engineering College; doctoral student at Ulyanovsk State Technical University; Associate Professor at the Informatics Chair of Ulyanovsk Higher Civil Aviation School; author of articles and publications in the field of modeling of systems and networks of wireless data transfer. e-mail: art3456@rambler.ru.

Anna Alexanderovna Shagarova, applicant at Ulyanovsk State Technical University; lecturer at the Chair of General Disciplines of Ulyanovsk Higher Civil Aviation School; author of publications in the field of diversified signal reception within wireless data-transfer networks. e-mail: Nutka82@list.ru.

Abstract

The article suggests and proves, for wireless network of aircraft electrical communications, a way of improving the operating benefits of radio communication of decametric range due to radio centres-retransmitters beyond the responsibility area of a dispatcher post.

Key words: wireless network for aircraft electrical communications, control of air traffic, radio centre-retransmitter.

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводная сеть авиационной электросвязи является единственным средством связи диспетчерских пунктов управления воздушным движением (УВД) с экипажами воздушных судов (ВС) и между экипажами ВС, находящимися в полете. Для связи с ВС, находящимися на значительном удалении от ДП, в том числе на воздушных трассах, проходящих над мировым океаном, применяется авиационная радиосвязь ДКМ-диапазона. Для ее организации ВС и ДП оснащаются радиостанциями «Микрон» и «Ядро», работающими в диапазоне 2–24 МГц. Анализ условий функционирования сети радиосвязи ДКМ-диапазона осуществлен в [1–4].

Постановка задачи

Согласно [2], радиосвязь ДКМ-диапазона БСАЭ должна обеспечивать бесперебойное ведение радиотелефонной связи диспетчеров УВД с экипажами ВС на протяжении всех этапов полета, постоянную готовность к обмену сообщениями между ДП и экипажами ВС, высокое качество связи, связь без поиска и без подстройки, возможность циркуляционной передачи сообщений экипажам ВС. Анализ эффективности функционирования существующей ДКМ-радиосвязи БСАЭ, проведенный на модели, разработанной в программной среде имитационного моделирования AnyLogic версии 6.4 [4, 5], показал, что применение прямых каналов связи не обеспечивает передачу данных с требуемым качеством. В данной статье предлагается структура сети ДКМ-радиосвязи, позволяющая повысить достоверность доставки сообщений пользователей на всех временных интервалах полета ВС за счет использования взаимосвязанных РЦР.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА В АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Существует достаточно большое число способов повышения эффективности функционирования радиосвязи ДКМ-диапазона. Одним из них является применение РЦР, вынесенных за зону ответственности ДП. При этом между

ВС и ДП устанавливается не прямая связь, а связь через группу РЦР, разнесенных между собой на значительное расстояние (рис. 1). Сообщение от ВС принимается одновременно несколькими РЦР. В процессе приема на каждом РЦР оценивается качество соответствующей радиолинии. Информация о состоянии сети авиационной электросвязи собирается на сервере управления радиодоступом (СУРД), который активирует РЦР, обеспечивающий наилучшее качество связи.

Обязательным условием построения данной сети должно быть отсутствие взаимной частотно-пространственной корреляции между радиолиниями, которые образуются между ВС (ДП) и каждым РЦР. Это достигается путем пространственного разнесения РЦР.

Определим минимально необходимые расстояния взаимного удаления РЦР друг от друга. Для этого рассмотрим условия распространения радиосигналов между ВС и РЦР.

Радиосвязь ДКМ-диапазона характеризуется случайным характером дальнего и сверхдальнего распространения отраженных от ионосферы сигналов. При проведении испытаний наблюдалась существенная статистическая связь между усредненными уровнями помех в пунктах приема, удаленных друг от друга на расстояние не более 150 км. При удалении точек приема на расстояние более 300 км корреляция средних уровней помех на одинаковых частотах практически отсутствовала. Вероятность осуществления авиационной радиосвязи можно определить по формуле [6]:

$$P_{св.} = \sum_{k=1}^N C_N^k P_{св_1}^k (1 - P_{св_1})^{N-k}, \quad (1)$$

где $P_{св_1}$ – вероятность связи ВС с одним из РЦР на фиксированной частоте;

N – общее количество РЦР;

k – количество РЦР, где усредненное превышение уровня сигнала над уровнем помех соответствует допустимому;

$$C_N^k = \frac{N!}{k!(N-k)!}.$$

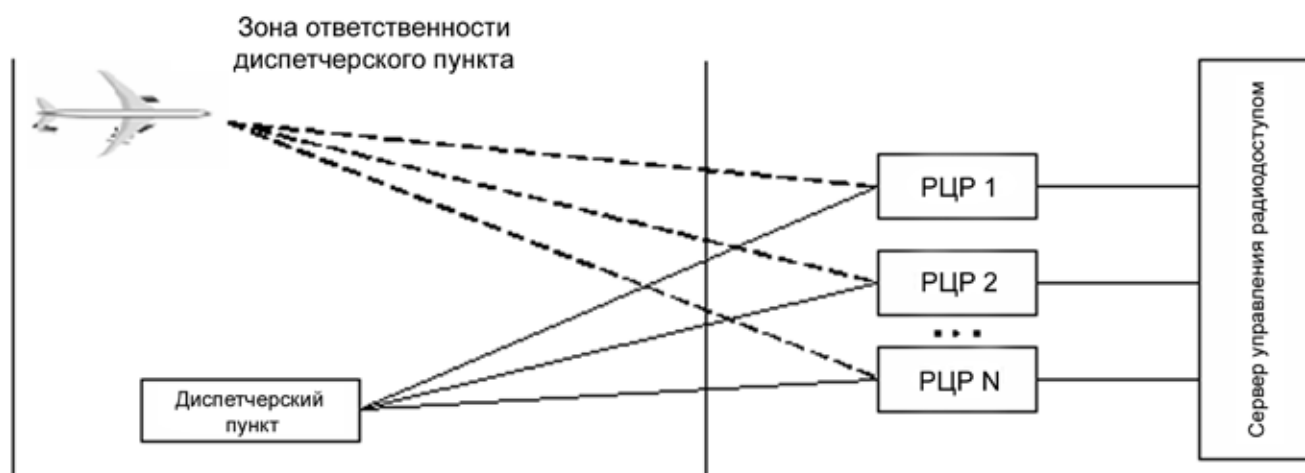


Рис. 1. Применение вынесенных за зону ответственности диспетчерского пункта радиоцентров-ретрансляторов в сети авиационной электросвязи

Вероятность $P_{свj}$ можно определить как вероятность связи в радиолинии ВС и одного из РЦР с достоверностью не ниже заданного значения:

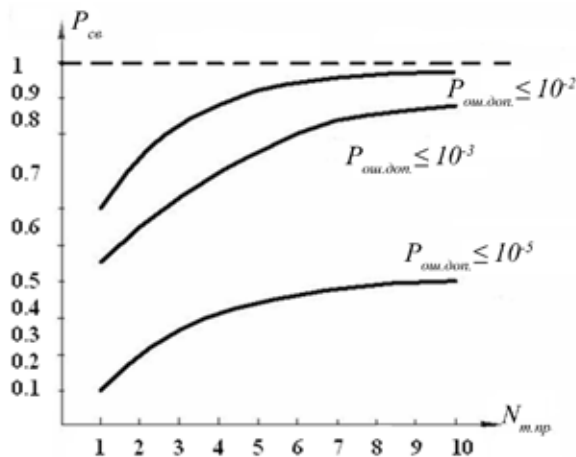
$$P_{свj} = P_{св.} (P_{ош.} \leq P_{ош. доп.}) = P_{св.} (Z \geq Z_{доп.}),$$

где $P_{ош.}$ – значение вероятности ошибочно принятых бит;
 $P_{ош. доп.}$ – допустимое значение вероятности ошибки при принятии бита данных;

Z – значение отношения уровня сигнала и уровня помех на входе приемного устройства;

$Z_{доп.}$ – допустимое значение отношения уровня сигнала и уровня помех на входе приемного устройства.

Из выражения (1) видно, что вероятность осуществления авиационной радиосвязи напрямую зависит от числа РЦР, в которых качество приема удовлетворяет заданным требованиям. На графиках рисунка 2 показана вероятность осуществления авиационной радиосвязи. Из рисунка видно, что при увеличении выделенного пространственного ресурса сети в интересах осуществления сеанса обмена информацией достоверность передачи информации увеличивается с ростом числа точек приема. Используя результаты расчетов, можно выбрать необходимое количество РЦР, обеспечивающих требуемую вероятность осуществления авиационной радиосвязи.



$N_{m.np}$ – количество точек приема сигнала;
 $P_{св.}$ – вероятность связи между ВС и РЦР

Рис. 2. Зависимость значений вероятности осуществления радиосвязи от количества точек приема

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АВИАЦИОННОЙ РАДИОСВЯЗИ

Оценку эффективности осуществления радиосвязи между ВС и ДП в сети с предлагаемой структурой (рис. 1) проведем в следующей последовательности:

- определим вероятность радиосвязи с достоверностью не хуже заданного значения в радиолинии, образуемой между i -м ВС и j -м РЦР:

$$P_{ij} (\overline{z_{ij}} \geq z_{доп.}) = F(\xi_{ij}), \tag{3}$$

где все обозначения, приведенные в формуле (3) раскрыты в работе [5].

Тогда вероятность осуществления радиодоступа с достоверностью не хуже заданного значения i -м воздушным судном к БСАЭ определится по формуле:

$$P_i (\overline{z_i} \geq z_{доп.}) = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - P_{ij} (\overline{z_{ij}} \geq z_{доп.})) \tag{4}$$

а вероятность осуществления связи с достоверностью не хуже заданного значения в канале БСАЭ – ДП составит:

$$P_{доп} (\overline{z_{доп}} \geq z_{доп.}) = 1 - \prod_{j=1}^N (1 - P_{j-доп} (\overline{z_{j-доп}} \geq z_{доп.})). \tag{5}$$

Таким образом, вероятность осуществления радиосвязи с достоверностью не хуже заданного значения в канале ВС – ДП:

$$P_{св-доп} (\overline{z_{доп}} \geq z_{доп.}) = P_i P_{рцр} P_{доп}. \tag{6}$$

Согласно [6], применение вынесенных взаимосвязанных пространственно независимых точек приема позволяет существенно повысить значения вероятностей радиосвязи по сравнению с использованием прямых каналов. В то же время, объединение в одну зону всех РЦР не позволяет обеспечить требуемые значения вероятности осуществления радиосвязи. Опираясь на проведенные расчеты [4–6], предлагается для повышения эффективности радиосвязи ДКМ-диапазона БСАЭ использовать сеть взаимосвязанных РЦР, разнесенных в пространстве на расстояние не менее 250 км друг от друга, что обеспечивает низкий уровень пространственной корреляции значений отношения сигнал-помеха между ретрансляторами.

Для достижения требуемой вероятности осуществления радиосвязи предлагается использовать несколько зон вынесенных РЦР. На рисунке 3 показана структура такой сети на примере авиатрассы Москва-Мурманск.

При перемещении ВС вдоль трассы вероятность осуществления радиосвязи ВС и ДП будет определяться выражением:

$$P_{св-доп} = P_{св} \cdot P_{доп}, \tag{7}$$

где $P_{св}$ – вероятность установления связи между центральной станцией (ЦС) БСАЭ и ДП по высоконадежным каналам наземной сети связи;

$P_{доп}$ – вероятность осуществления доступа ВС к БСАЭ, значение которой определяется выражением:

$$P_{доп} = 1 - \prod_{j=1}^M (1 - Pz_j) = 1 - \prod_{j=1}^M \left(1 - \left(1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_{ji}) \right) \right), \tag{8}$$

где Pz_j – вероятность радиодоступа ВС к j -й зоне вынесенных РЦР;

P_{ji} – вероятность установления радиосвязи между ВС и i -м РЦР j -й зоны;

M – число зон РЦР;

N – количество радиолиний в j -й зоне.

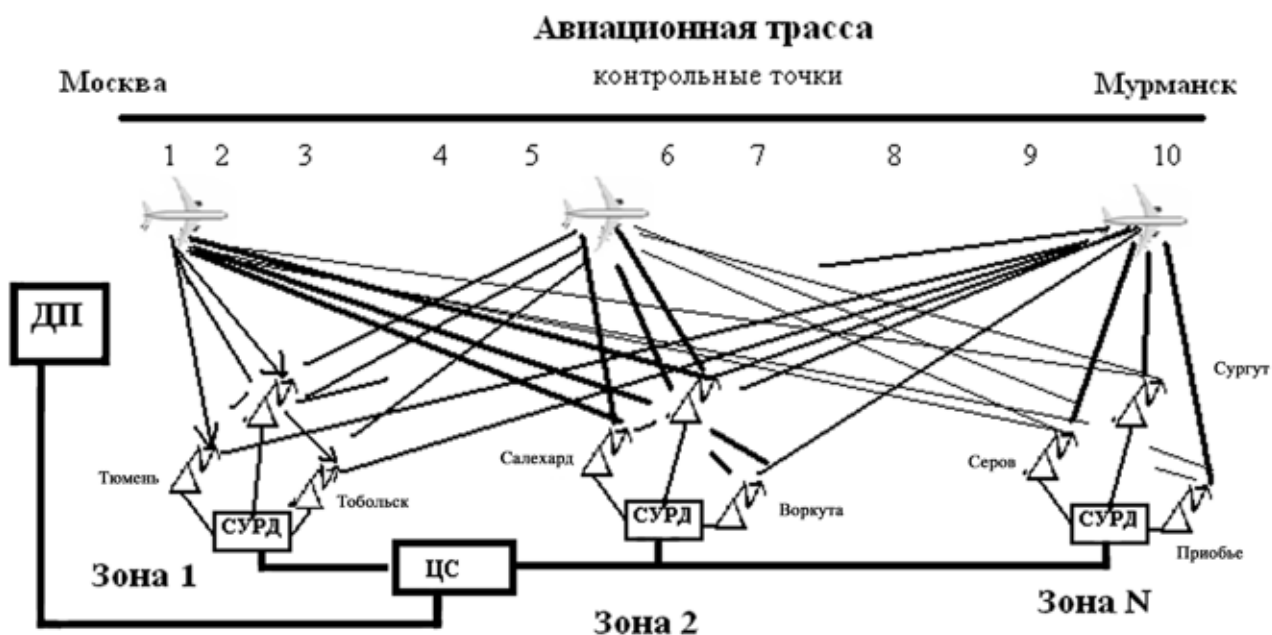


Рис. 3. Схема организации радиосвязи ДКМ-диапазона БСАЭ с использованием нескольких зон удаленных РЦР



Рис. 4. Вероятности радиосвязи с 1, 2, 3 зонами вынесенных РЦР

Графики значений вероятностей осуществления радиодоступа ВС (рис. 3), находящегося в каждой точке трассы, к j -й зоне РЦР показаны на рисунке 4, где по оси ОХ отмечены точки трассы, а по оси ОУ – вероятности радиосвязи.

Анализ кривых показывает, что при организации связи через несколько зон РЦР существует большая вероятность, что для каждой точки трассы полета ВС найдется хотя бы одна зона РЦР, вероятность радиосвязи с которой соответствует требуемым значениям.

Как следует из графика значений вероятностей осуществления радиосвязи ВС с ДП, показанном на рисунке 5, применение предлагаемой структуры БСАЭ в ДКМ-диапазоне позволяет обеспечить требуемую вероятность связи ДП и ВС в полете.

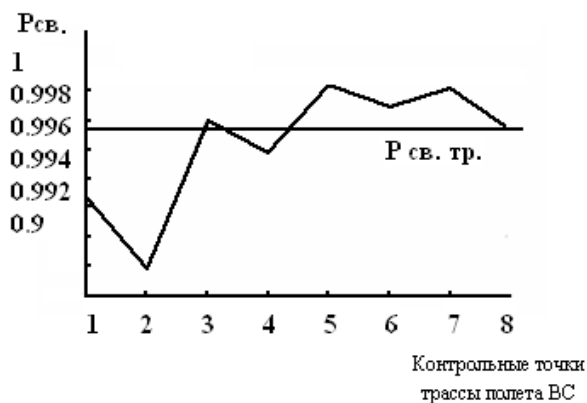


Рис. 5. Вероятность радиодоступа связи диспетчерского пункта и воздушного судна

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, существующая ДКМ-радиосвязь в составе БСАЭ не обеспечивает требуемого качества обслуживания абонентов. Применение сети вынесенных РЦР позволяет повысить значение параметров связи, построить БСАЭ, адаптируемую к изменению условий связи. Возможность адаптации к изменяющимся условиям связи между абонентами сети РС ДКМ БСАЭ обеспечивается использованием нескольких зон удаленных РЦР. Для снижения затрат использование зон удаленных РЦР должно осуществляться в интересах множества авиатрасс. При этом возникает необходимость решения задач множественного доступа и распределения доступного пространственного ресурса сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силяков В.А., Красюк В.Н. Системы авиационной радиосвязи: учеб. пособие под ред. В.А. Силякова. – СПб. : ГУАП СПб., 2004. – 160 с.
2. Руководство по авиационной электросвязи (РС ГА-99). – М. : Изд-во ФСВТ России, 1999. – 88 с.
3. Качан В.К., Сокол В.В., Тесовский В.В. Средства радиосвязи управления воздушным движением: учеб. пособие для вузов ГА. – Киев : Вища школа, 1996. – 206 с.
4. Прохоров В.К., Шаров А.Н. Методы расчета показателей эффективности радиосвязи. – Л. : ВАС, 1990. – 132 с.
5. Назаров С.Н., Шагарова А.А. Методы разнесенного приема в системах подвижной связи и широкополосного доступа. // Автоматизация процессов управления. – № 3 (21). – С. 88–94.
6. Комашинский В.И., Максимов А.В., Стратонов О.П. Пространственно-частотная адаптация в сетях связи с подвижными объектами // Радиотехника. – 1997. – № 2. – С. 3–7.