

INFORMATION SYSTEMS ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656.7.08:614.08

А.В. Власова

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВИАЦИОННЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ

Власова Аруся Витальевна, аспирант, окончила Московский государственный технический университет гражданской авиации, старший преподаватель кафедры организации перевозок на воздушном транспорте факультета управления на воздушном транспорте МГТУ ГА. Область научных интересов: безопасность полетов воздушных судов. [e-mail: arusya92@mail.ru].

Аннотация

Эффективностью любого процесса, системы, устройства является взаимосвязь достигнутого конечного результата с затраченными на достижение этого результата ресурсами. В данном рассмотрении говорится об эффективности организации воздушного движения (ОрВД) в части ее телекоммуникационного обеспечения. Конечной целью ОрВД и ее составной части управления воздушным движением (УВД) является обеспечение безопасности полетов (БП) при поддержании заданного уровня регулярности и экономичности полетов воздушных судов (ВС). В данном случае необходимо найти связь между показателями, характеризующими конечную цель УВД (БП), и затраченными при этом телекоммуникационными ресурсами. В общем случае эту задачу целесообразно решать последовательно в два этапа. На первом этапе необходимо получить оценки эффективности использования систем телекоммуникационного обеспечения полетов ВС, т. е. выделить показатели, характеризующие их конечную цель, и найти взаимосвязь с использованными телекоммуникационными ресурсами. На втором этапе показатели, характеризующие конечную цель использования телекоммуникационных систем, можно рассматривать как ресурсы для определения значений показателей, характеризующих конечную цель УВД (показатели уровня управления БП). В данном исследовании подробно рассматривается первый этап указанного подхода, оценивается эффективность систем телекоммуникационного обеспечения полетов ВС на основе использования телекоммуникационных ресурсов.

В качестве таких ресурсов рассматриваются частотные и энергетические и, учитывая стохастический характер телекоммуникационных контрактов, исследуются вероятностные характеристики этих контрактов.

Ключевые слова: телекоммуникационные ресурсы, радиообмен, диспетчер управления воздушным движением, экипаж воздушного судна, плотность распределения вероятностей.

EFFECTIVENESS OF THE USE OF AVIATION TELECOMMUNICATION SYSTEMS WHEN ENSURING FLIGHT SAFETY

Arusia Vitalevna Vlasova, Postgraduate Student; graduated from the Moscow State Technical University of Civil Aviation; Senior Lecturer at the Department of Organization of Business Processes in Aviation Industry of the Faculty of Management in Air Transport of MSTU CA; research interests are flight operating safety of aircrafts. e-mail: arusya92@mail.ru.

Abstract

The performance of any process, system, or device is a relationship between an achieved end result and resources that were spent on achieving this result. This review addresses to the effectiveness of an air traffic management system in regard to its telecommunications software. The ensuring of flight safety while maintaining a specified level of regularity and efficiency of aircraft operations is an ultimate goal of the air traffic management and its component parts of air traffic control. In this case, it is necessary to find the relationship between the indicators characterizing the ultimate goal of air traffic control (flight safety) and the telecommunication resources used. In the general case, it is best to solve this task sequentially in two stages. At the first stage, to estimate the effectiveness of the use of the flight-operations telecommunication systems of aircrafts, i.e. to select indicators characterizing their ultimate goal and find a correlation with the telecommunication resources used. At the second stage, the indicators characterizing the ultimate goal of the use of telecommunication systems can be considered as resources for determining the values of indicators characterizing the ultimate goal of air traffic control (indicators of the level of the flight safety management). This research paper examines the first stage of the mentioned approach, i.e. it assesses the effectiveness of the flight-operations telecommunication systems of aircrafts through the use of telecommunication resources.

Frequency-domain and energy characteristics are considered as such resources. Probabilistic characteristics of these contacts are studied taking into account the stochastic nature of telecommunications contacts.

Key words: telecommunication resources, radio communication, aircraft control operator, crew team, probability density function.

ВВЕДЕНИЕ

Как известно [1], эффективность любого процесса, системы, устройства и т. д. есть взаимосвязь достигнутого конечного результата (показателя, параметра и т. д.) с затраченными на достижение этого результата ресурсами. В каждом конкретном случае под понятием «ресурсы» могут пониматься самые различные составляющие. Например, это могут быть людские ресурсы, финансовые, экономические и многие другие варианты.

В данном рассмотрении говорится об эффективности организации воздушного движения (ОрВД) в части ее телекоммуникационного обеспечения.

Конечной целью ОрВД и ее составной частью управления воздушным движением (УВД) является обеспечение безопасности полетов (БП) при поддержании заданного уровня регулярности и экономичности полетов воздушных судов (ВС).

В этом случае необходимо найти связи между показателями, характеризующими конечную цель УВД (БП), и затраченными при этом телекоммуникационными ресурсами. Предварительный анализ показал, что поставленную задачу целесообразно решать последовательно в два этапа.

На первом этапе следует получить оценки эффективности использования систем телекоммуникационного обеспечения полетов ВС, т. е. выделить показатели, характеризующие их конечную цель, и найти взаимосвязь этих показателей с использованными телекоммуникационными ресурсами.

На втором этапе показатели, характеризующие конечную цель использования телекоммуникационных систем, можно рассматривать как ресурсы для определения значений показателей, характеризующих конечную цель УВД, т. е. показателей уровня управления БП.

В представленном материале рассматривается первый этап указанного подхода, т. е. оценивается эффективность систем телекоммуникационного обеспечения полетов ВС на основе использования телекоммуника-

ционных ресурсов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Самыми существенными ресурсами телекоммуникационных систем являются энергетические и частотные за счет их естественной ограниченности, не считая отдельных второстепенных. Для любых телекоммуникационных систем проблема использования частотных диапазонов является во всем мире очень острой. Ее решением занимаются во всех странах, регламентируя возможности использования и перераспределения частоты ресурсов.

Проблема использования энергетических ресурсов наиболее остро стоит для спутниковых телекоммуникационных и авиационных систем. С внедрением в авиационные структуры системы ГЛОНАСС указанная проблема стала совместной.

Логично для оценки эффективности авиационных телекоммуникационных систем использовать известные показатели, которые так и называются энергетической (β) и частотной (α) эффективностями [2, 3]. Однако при оценке энергетической и частотной эффективностей необходимо учитывать стохастический характер ведения радиообмена между диспетчером УВД и экипажем ВС.

Другими словами, необходимо знать статистические характеристики длительности радиообмена, интервалы между сеансами связи, число заявок на ведение радиообмена и другие характеристики. Именно исследованию этих вопросов посвящено дальнейшее рассмотрение.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В общем случае энергетическая эффективность β характеризуется отношением скорости передачи информации R (бит/с) к отношению сигнал/шум $q = P_c / N_o$, где P_c – мощность полезного сигнала, N_o – спектральная плотность мощности шума в данном канале пере-

дачи информации, т. е.

$$\beta = R/q. \quad (1)$$

Частотная эффективность α определяется отношением скорости передачи информации к используемой полосе частот F :

$$\alpha = R/F. \quad (2)$$

Коэффициенты β и α являются важнейшими характеристиками, определяющими технический эффект авиационных телекоммуникационных систем. В качестве обобщенного показателя можно ввести коэффициент использования пропускной способности канала (информационная эффективность γ), т. е.

$$\sigma = \frac{R}{c} = \frac{\gamma}{\log\left[\left(\frac{\gamma}{\beta}\right) + 1\right]}, \quad (3)$$

где $c = \max R$ – пропускная способность канала передачи информации.

Согласно теореме Шеннона [4] при соответствующих способах передачи информации (кодирования и модуляции) и приема (демодуляции и декодирования) значение $\gamma \max$ может быть как угодно близким к единице. В таком случае получаем следующую предельную зависимость между β и γ :

$$\beta = \frac{\gamma}{(2^\gamma - 1)}. \quad (4)$$

В реальных авиационных телекоммуникационных системах ошибка всегда имеет конечное значение и $\sigma < 1$. В этих случаях при вероятности ошибки $P = P_{\text{дон}}$ можно определить отдельно β и γ и построить кривые $\beta = f(\gamma)$ при $P_{\text{дон}} = \text{const}$. Тогда при допустимых значениях $\gamma = \gamma_{\text{дон}}$ и $\beta = \beta_{\text{дон}}$ можно минимизировать значение вероятности ошибки при приеме. Однако хорошо известно, что вероятности ошибок при приеме информации определяются действующим в данном канале передачи информации отношением сигнал/шум, что является фундаментальным понятием статистической радиотехники [5, 6]. Поэтому для авиационной телекоммуникационной системы в качестве ресурса выбираем отношение сигнал/шум, а конечным результатом будем считать значение показателей β и γ .

Таким образом, в качестве ресурсов системы телекоммуникационного обеспечения полетов для систем УВД можно принять β и γ эффективности.

Но здесь нужно обратить внимание на следующий момент. Для авиационной воздушной связи в соответствии с международными соглашениями [7] выделен вполне определенный частотный диапазон, поэтому здесь в основном приходится с точки зрения частотной эффективности решать только вопросы электромагнитной совместимости [8, 9], что представляет собой отдельную самостоятельную задачу, которую здесь не

рассматриваем. Заметим, что в практике гражданской авиации проблемы электромагнитной совместимости в достаточно малой степени касаются радиообмена диспетчера УВД и экипажа ВС и в значительно большей степени касаются других видов радиообмена.

Другое дело, когда рассматривается энергетическая эффективность систем авиационных телекоммуникаций. При оценке энергетической эффективности предполагается непрерывная передача информации со скоростью R , однако в случае варианта рассмотрения радиообмена контакт между экипажем ВС и диспетчером УВД осуществляется дискретно во времени в зависимости от обстоятельств. Поэтому для возможности оценки влияния β -эффективности систем телекоммуникаций на показатели системы УВД необходимо знать статистические характеристики ведения радиообмена. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Основными параметрами воздушного движения (ВД) в зоне УВД является интенсивность ВД, под которой понимается число ВС, пересекающих сечение в вертикальной плоскости данной зоны УВД в единицу времени, в качестве которой берут 1 час. Сам поток ВС считается обычно пуассоновским [10, 11]. Пуассоновским принимается и поток радиообмена «экипаж – диспетчер».

Анализ результатов, приведенных в литературе [10], показывает, что интенсивность радиообмена нелинейно связана с интенсивностью ВД. Эта зависимость достаточно точно может быть аппроксимирована в виде экспоненциальной зависимости, учитывающей функциональную связь типа «ограничение сверху»:

$$\mu = \mu_m \left(1 - e^{-\lambda/\lambda_m}\right), \quad (5)$$

где μ – интенсивность радиообмена, μ_m – максимальная возможная для данного канала связи интенсивность радиообмена, λ – интенсивность ВД, λ_m – максимальная возможная интенсивность ВД в данной зоне УВД, обеспечивающая требуемые значения показателей БП. Данная зависимость показана на рисунке 1, и, хотя строго она является экспоненциальной, все-таки близка к линейной форме.

Пусть длительность интервала между последующими сеансами связи имеет экспоненциальное распределение, интенсивность радиообмена связана с интенсивностью ВД, а соотношение (5) и распределение длительности сообщений требуют дополнительного рассмотрения.

Были выполнены статистические исследования по оценке длительности сеансов связи в каналах УВД для районного диспетчерского пункта (РДП) и для диспетчерского пункта системы посадки (ДПСП) аэропорта Шереметьево, которые приведены в виде гистограммы на рисунках 2 и 3. По виду гистограмм было принято предположение, что данное распределение подчиняется гамма-распределению, которое в общем случае имеет вид:

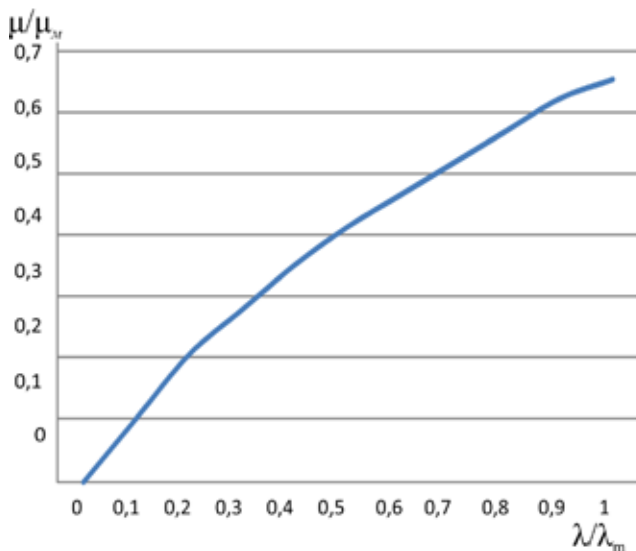


Рис. 1. Зависимость интенсивности радиообмена от интенсивности ВД

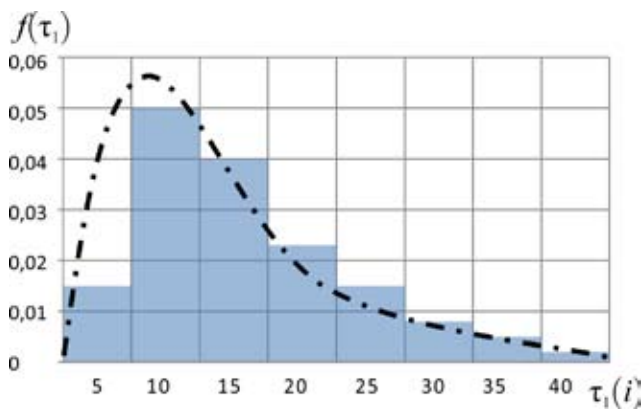


Рис. 2. Гистограмма распределения длительности сеансов связи в каналах УВД для РДП

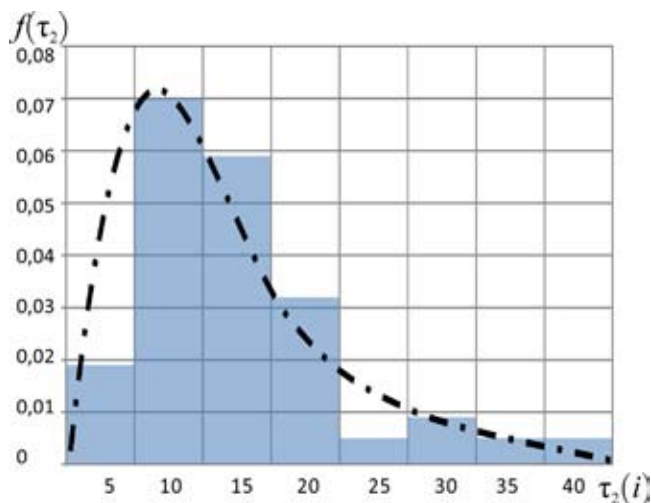


Рис. 3. Гистограмма распределения длительности сеансов связи в каналах УВД для ДПСР

$$w(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha + 1)} \left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha e^{-x/\beta}, \quad x > 0, \quad (6)$$

где $\alpha > -1$, $\beta > 0$ представляют параметры распределения и являются действительными числами,

$\Gamma(\alpha + 1)$ – гамма-функция, т. е.

$$\Gamma(\alpha + 1) = \int_0^\infty e^{-t} * t^\alpha * dt. \quad (7)$$

Вид гистограмм на рисунках 2 и 3 позволяет утверждать, что для них $\alpha = 1$, тогда соотношение (6) переходит в следующее:

$$w(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(2)} \left(\frac{x}{\beta}\right) e^{-x/\beta}, \quad x = \frac{x}{\beta^2} e^{-x/\beta}. \quad (8)$$

Подбором параметра распределения β было установлено, что для рисунка 2 гамма-распределение выглядит следующим образом:

$$w(\tau_1) = 0,005 \tau_1 * e^{-0,214 \tau_1}, \quad (9)$$

а для рисунка 3 –

$$w(\tau_2) = 0,028 \tau_1 * e^{-0,168 \tau_1}, \quad (10)$$

что показано на соответствующих рисунках в виде штрих-пунктирных линий.

Заметим, что в качестве примера здесь были использованы результаты анализа радиообмена для двух диспетчерских пунктов УВД, а именно, для РДП и ДПСР. Соответственно было получено, что и в первом, и во втором случаях наилучшим образом длительность сообщений описывается гамма-распределением. Учитывая достаточно разную специфику радиообмена экипажа ВС и диспетчера УВД в РДП и в ДПСР, можно с достаточной уверенностью предположить, что и в других диспетчерских пунктах УВД (например, диспетчерский пункт круга, диспетчерский пункт подхода) будут получены аналогичные статистические характеристики, касающиеся длительности сеансов связи.

Выводы

Рассматривалось решение задачи оценки эффективности систем УВД в виде взаимосвязи показателей БП и ресурсов, предоставляемых телекоммуникационными системами. Было предложено решать эту задачу последовательно в два этапа, а именно: на первом этапе сформировать оценки эффективности использования телекоммуникационных систем, а на втором – сформировать оценки эффективности систем УВД в виде показателей БП на базе результатов первого этапа. Рассмотрение первого этапа показало, что в качестве ресурса для телекоммуникационных систем целесообразно выбрать энергетическую и частотную эффективности, определяемые через скорость передачи информации, которая, в свою очередь, определяется таким фундаментальным понятием, как отношение сигнал/шум, действующее в данном канале передачи информации.

Таким образом, дальнейшие исследования должны быть связаны с реализацией второго указанного этапа, т. е. нахождением взаимосвязей между показателями системы УВД, характеризующими БП, и ресурсами телекоммуникационной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р ИСО 9000-2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001.
2. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко, Ф.И. Фалько, И.П. Панфилов, П.В. Иващенко. – М. : Радио и связь, 1985.
3. Авиационные радиоустройства / под ред. В.И. Тихонова – М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1986.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М. : ИЛ, 1963.
5. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М. : Радио и связь, 1982.
6. Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов. – М. : ав. радио, 1978.
7. Регламент радиосвязи. Международный союз электросвязи. Основные положения регламента. – М. : Радио и связь, 1986. – Т. 1.
8. Виноградов В.М., Быков Л.И. Электросовместимость радиоэлектронных средств. – М. : Судостроение, 1986.
9. Владимиров В.Н., Николаев С.Н. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и систем – М. : Радио и связь, 1985.
10. Вдовиченко Н.С. Анализ качества функционирования канала связи системы УВД с позиции теории выбросов случайных процессов. Радиоэлектронные системы для мониторинга окружающей среды. – М. : МГТУ ГА, 1994.

REFERENCES

1. *GOST R ISO 9000-2001. Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniia i slovar* [GOST R ISO 9000-2001. Quality Management System. Fundamentals and Vocabulary]. Moscow, IPK Izdatelstvo standartov Publ., 2001.
2. Ziuko A.G., Falko F.I., Panfilov I.P., Ivashchenko P.V. *Pomekhostoichivost i effektivnost sistem peredachi informatsii* [Noise Resistance and Performance of Data Transmission Systems]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1985.
3. *Aviatsionnye radioustroistva*. Pod red. V.I. Tikhonova [Aviation Electronic Devices. Edited by V.I. Tikhonov]. Moscow, VVIA im. N.E. Zhukovskogo Publ., 1986.
4. Shannon K. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* [Works in Information Theory and Cybernetics]. Moscow, IL Publ., 1963.
5. Tikhonov V.I. *Statisticheskaiia radiotekhnika* [Statistical Radioengineering]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1982.
6. Sosulin Yu.G. *Teoriia obnaruzheniia i otsenivaniia stokhasticheskikh signalov* [Stochastic Signals Detection and Estimation Theory]. Moscow, Av. Radio Publ., 1978.
7. *Reglament radiosvazi. Mezhdunarodnyi soiuz elektrosvazi. Osnovnye polozheniia reglamenta* [Radio Communication Regulation. International Union of Electronic Communication. Main Requirements of the Regulation]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1986.
8. Vinogradov V.M., Bykov L.I. *Elektrosovmestimost radioelektronnykh sredstv* [Electro Compatibility of Radio-Electronic Devices]. Moscow, Sudostroenie Publ., 1986.
9. Vladimirov V.N., Nikolaev S.N. *Elektromagnitnaia sovместimost radioelektronnykh sredstv i sistem* [Electromagnetic Compatibility of Radio-Electronic Facilities and Systems]. Moscow, Radio i Sviaz Publ., 1985.
10. Vdovichenko N.S. *Analiz kachestva funktsionirovaniia kanala sviazi sistemy UVD s pozitsii teorii vybrosov sluchainykh protsessov. Radioelektronnye sistemy dlia monitoringa okruzhaiushchei sredy* [Analysis of UVD System Communication Channel Performance in the Context of the Theory of Random Processes Runs. Radioelectronic Systems for Environment Monitoring]. Moscow, MSTU CA Publ., 1994.