

УДК 621.394

Моделирование трафика, передаваемого в канале управления летательным аппаратом при управлении им в процессе выполнения специальных задач.

Часть 1. Модель интенсивности нестационарного трафика на различных этапах полета

Иванов М. С., Понаморов А. В., Макаренко С. И.

Актуальность. В начале XXI века интенсивность применения Военно-воздушных сил России значительно возросла. Одновременно с возрастанием интенсивности применения авиации выявляются проблемные технические аспекты ее эксплуатации и управления. Одним из таких аспектов является несоответствие принципов организации связи в сетях воздушной радиосвязи (СВРС) управления летательными аппаратами (ЛА) авиации специального назначения (СН) высоким требованиям по оперативности управления ЛА, своевременности передачи данных и команд на борт ЛА, скорости передачи, как отдельных каналов управления, так и СВРС, в целом. В частности, в СВРС используется директивный способ назначения частотно-временных ресурсов для отдельных каналов управления ЛА в СВРС, что не позволяет адаптивно распределять частотно-временные ресурсы СВРС. Предварительные исследования показали, что подобное назначение ресурсов для каналов управления ЛА в СВРС не учитывает изменения интенсивности передаваемого по ним трафика (команд и данных о воздушной обстановке) на различных этапах полета ЛА и характера выполняемых ими задач, что ведет к снижению своевременности передачи команд управления ЛА и как следствие – к снижению эффективности управления ЛА. **Целью статьи является** разработка модели нестационарного трафика в канале управления ЛА с учетом стационарной составляющей – команд и данных о состоянии бортовых систем, а также нестационарной составляющей – информации о воздушной обстановке, объем которой может меняться в широких пределах. **Новизна.** К элементам, определяющим научную новизну исследования относится учет структуры и реальной нестационарности трафика в каналах управления ЛА СН в СВРС на различных этапах полета. **Практическая значимость работы** состоит в том, что разработанная модель нестационарного трафика в канале управления ЛА может использоваться для решения задач повышения скорости передачи данных в СВРС управления ЛА за счет адаптивного распределения частотно-временного ресурса сети при наведении летательных аппаратов на воздушную цель.

Ключевые слова: трафик, сеть воздушной радиосвязи, авиация, организация связи, военная авиация, управление летательными аппаратами.

Введение

В настоящее время стремительно возрастает роль авиации специального назначения (СН) для решения широкого спектра задач в сфере обороны страны, обеспечения государственной безопасности, охраны правопорядка, предотвращения терактов, техногенных катастроф и стихийных бедствий. Авиационные

Библиографическая ссылка на статью:

Иванов М. С., Понаморов А. В., Макаренко С. И. Моделирование трафика, передаваемого в канале управления летательным аппаратом при управлении им в процессе выполнения специальных задач. Часть 1. Модель интенсивности нестационарного трафика на различных этапах полета // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 6. С. 120-147. DOI: 10.24412/2410-9916-2021-6-120-147.

Reference for citation:

Ivanov M. S., Ponomarev A. V., Makarenko S. I. Simulation of the teletraffic that transmitted in a radio channel of control combat aircraft. Part 1. Non-stationary teletraffic intensity model at various flight stages. *Systems of Control, Communication and Security*, 2021, no. 6, pp. 120-147 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2021-6-120-147.

подразделения, оснащенные соответствующими летательными аппаратами (ЛА), имеют в своем составе: Пограничная служба Федеральной службы безопасности (ПС ФСБ), Министерство по чрезвычайным ситуациям (МЧС), Министерство внутренних дел (МВД), Войска национальной гвардии (Росгвардии), Министерство обороны (МО). Одной из основных задач при применении авиации СН является наведение ЛА (как пилотируемых, так и беспилотных) на воздушные цели.

Необходимость в таком наведении возникает при выполнении следующих целевых задач (ЦЗ):

- перехвате ЛА – нарушителей государственной границы и воздушного пространства Российской Федерации (РФ) (задача авиации ПС ФСБ и истребительной авиации МО);
- вывод спасательных ЛА в район воздушных судов, терпящих бедствие (задача авиации МЧС);
- перехват ЛА – нарушителей правил организации воздушного движения, а также ЛА захваченных и используемых незаконными вооруженными формированиями (НВФ), либо террористами (задача авиации Росгвардии и МВД).

Анализ процессов управления ЛА при решения типовых задач авиации СН [1-7] показал, что сеть воздушной радиосвязи (СВРС) является основным средством для управления одиночными и групповыми действиями ЛА, посредством которой и осуществляется передача команд с пункта управления (ПУ) на борт ЛА, решение задач траекторного управления и информационного обеспечения. При этом, интенсивность трафика (команд и данных о воздушной обстановке) в канале управления ЛА при его командном наведении различна – на этапах полета в зону выполнения целевых задач интенсивность может быть невысокой, однако она значительно возрастает на этапах непосредственного наведения ЛА на цель, особенно в условиях сложной воздушной обстановке (ВО). Таким образом, трафик в канале управления ЛА имеет нестационарный характер, что не учитывается в современных технических средствах СВРС которые спроектированы с учетом стационарного трафика в канале управления ЛА. Отсутствие учета нестационарного характера трафика в канале управления ЛА ведет к появлению неучтенной задержки передачи команд и данных в СВРС на наиболее важных этапах полета ЛА (полет ЛА в/из район(а) выполнения ЦЗ; непосредственное наведение ЛА на цель и управление решением ЦЗ; постановка новой ЦЗ), что негативно влияет на выполнение ЦЗ в целом. Подробно вопрос негативного влияния задержек передачи трафика в канале управления ЛА на эффективность решения ЦЗ при наведении ЛА на воздушные цели рассмотрено в работах [8, 64].

Разрешением вышеуказанной проблемной ситуации является повышение скорости передачи данных в СВРС, а также внедрение адаптивного распределения частотно-временного ресурса СВРС по отдельным каналам управления ЛА в зависимости от интенсивности передаваемого по ним трафика.

Анализ известных работ в исследуемой области

Проведенный анализ ранее опубликованных работ показал, что общие принципы организации связи при управлении авиацией СН представлены в работах В.С. Вербы [4], В.Н. Меркулова [4-6, 9], Е.А. Федосова [1], С.И. Макаренко, В.И. Сапожникова, Г.И. Захаренко, В.Е. Федосеева [10, 11], А.В. Кейстовича, В.Р. Милова [12], В.М. Ланчева [13].

Вопросы маршрутизации информационных потоков и команд управления ЛА именно авиации СН в СВРС были рассмотрены в работе К.Л. Войткевича [14]. В этой работе описаны основные принципы маршрутизации трафика в СВРС, а также в наземных сетях при решении задач управления ЛА. Основные принципы организации связи СВРС представленные в работе К.Л. Войткевича [14] в дальнейшем получили развитие в работах: С.В. Алехина [15], А.А. Сулиммы [16, 17], П.А. Зац [19], Е.А. Белоусова [18-20], В.Ф. Брянцева [18-20], А.В. Кейстовича [11, 12, 18, 19], Х.И. Сайфетдинова [18-20]. В этих работах были описаны различные варианты совершенствования СВРС, в частности: конкретизированы подходы к маршрутизации сообщений в СВРС, представлены предложения по организации локальных СВРС гражданского и специального назначения, предложена концепция быстрой реконфигурации аппаратуры связи на основе концепции «программируемого радио».

В работах А.Н. Дмитриева, А.В. Максимова, О.А. Блакитного [21], В.А. Гимбицкого, И.И. Сныткина [22-26], В.И. Калинина [27-29], рассмотрены вопросы организации СВРС управления авиацией СН в отдельном регионе при управлении массированными действиями разнородной группировки авиационного формирования.

В работах А.Н. Дмитриева, А.В. Максимова, О.А. Блакитного [30-33], А.В. Кейстовича, В.Р. Милова [11] рассмотрены вопросы организации локальных СВРС объединяющих группы ЛА СН, а также исследованы вопросы эффективности различных алгоритмов доступа абонентов к радиоканалу связи.

В работах С.И. Макаренко [34-36] рассмотрены вопросы эффективного управления ресурсами СВРС в интересах обеспечения высокой пропускной способности сети для организации высокоскоростного информационного обеспечения ЛА истребительной и фронтовой авиации.

В работах С.И. Макаренко [37-41], А.В. Аганесова [37-39, 42-44], М.С. Иванова, С.А. Попова [40, 41, 43-45], А.Е. Богданова [45], С.В. Смирнова [40, 41, 46], рассмотрены вопросы организации гибридных сетей управления авиации, вопросы маршрутизации информационных потоков в СВРС на основе децентрализованных и иерархических подходов.

В работах Е.В. Головченко [59-63], П.А. Федюнина [59, 63], А.Д. Афанасьева [59, 61-63], К.С. Баева [60], А.А. Першина [61], В.А. Дьяченко [62, 63] рассмотрены высоко-абстрактные системотехнические вопросы построения СВРС и их моделирования на основе теории систем, теории управления и тензорной методологии. При этом в этих работах указывается на важность учета параметров трафика абонентов на эффективность функционирования СВРС.

Вместе с тем, вышеуказанные работы не учитывают фактор существенного варьирования интенсивности трафика в канале управления ЛА, возможности

по прогнозированию объема данного трафика, с последующим упреждающим распределением частотно-временного ресурса СВРС по каналам управления ЛА с учетом сделанного прогноза.

Сходным, по отношению к данному исследованию являются работы Е.В. Головченко, П.А. Федюнина, А.Д. Афанасьева, В.А. Дьяченко [62-64]. В этих работах рассмотрены вопросы учета параметров передаваемого по СВРС трафика, однако в них не рассматривается нестационарность трафика, его существенное варьирование в зависимости от типа управления, решаемой ЦЗ и этапа полета каждого отдельного ЛА, а сформированные в этих работах предложения по управлению ресурсом СВРС относятся прежде всего к топологическому ресурсу, а не к частотно-временному.

Предлагаемый подход к упреждающему распределению частотно-временного ресурса сетей связи, не является принципиально новым. В настоящее время известны работы Е.А. Новикова, А.А. Ковальского, С. Х. Зиннурова [47-52], посвященные прогнозированию объема трафика, поступающего от абонентов, и последующего распределения частотно-временного ресурса в спутниковых системах связи с учетом сделанного прогноза. Вместе с тем данные работы ориентированы на стандарт спутниковой связи DVB-RSC (Digital Video Broadcasting-Return Chanel via Satellite) и не учитывают специфику СВРС управления ЛА.

В данной работе принят за основу общий подход представленный в работах Е.А. Новикова, А.А. Ковальского, С. Х. Зиннурова [47-52], однако, дополнительными факторами, которые необходимо учесть и которые определяют новизну данного научного исследования, являются нестационарность трафика в канале управления ЛА, а также содержание информационных сообщений и команд, которые передаются в СВРС на различных этапах полета ЛА.

Данная работа продолжает и развивает более раннее исследования авторов [35, 39-41, 45, 46, 53-55, 65], направленные на повышение эффективности СВРС в интересах радиоуправления ЛА.

Анализ задач, решаемых летательным аппаратом, способов управления и этапности его полета, влияющих на интенсивность трафика в канале управления

В условиях высокой интенсивности выполнения ЛА своих ЦЗ, интенсивность трафика, циркулирующего между различными абонентами автоматизированной системы управления (АСУ), размещенными на ПУ и управляющими этими ЛА, может варьироваться в широких пределах, что подтверждается данными приведенными в [56, 57]. Особенно это касается трафика, передаваемого по каналу ПУ–ЛА.

Так как в настоящее время основным способом расчета вероятностно-временных характеристик СВРС на канальном уровне открытой сетевой модели (OSI) является использование моделей на основе теории систем массового обслуживания, на входе которых, как правило, рассматривается стационарный поток трафика, то необходимо обосновать не стационарность трафика в каналах управления ЛА и в СВРС в целом.

Рассмотрим информационный обмен, ведущийся между ПУ авиационной базы и ЛА, выполняющим ЦЗ. Основными задачами ПУ по управлению группами и одиночными ЛА являются [1, 15]:

- руководство вылетом и посадкой ЛА;
- занятие ЛА места в группе;
- постановка ЦЗ (перенацеливания) ЛА в воздухе;
- вывод групп ЛА в район выполнения ЦЗ;
- управление действиями ЛА в районе выполнения ЦЗ;
- управление ЛА при обеспечении действий других родов авиации, а также поддержки действий сухопутных войск и военно-морского флота (ВМФ);
- проводка ЛА по маршрутам полета в район выполнения ЦЗ;
- вывод ЛА в зоны дежурства и управления в зонах;
- информирование экипажей ЛА о воздушной и метеорологической обстановке на маршруте полета;
- оказания помощи экипажам ЛА в особых случаях.

При управлении ЛА на маршруте используются в основном смешанные методы. Суть этих методов состоит в том, что в процессе полета команды управления формируются на самих ЛА в соответствии с тем или иным методом автономного наведения. Из этих методов получили наибольшее распространение – маршрутный, курсовой и путевой [5].

Маршрутный метод управления выполняется по жестко фиксированной траектории полета, намечаемой заранее до полета. Управление при этом способе сводится к регистрации отклонений от программной траектории и их устранению. Суть курсового метода состоит в совмещении продольной оси наводимого ЛА с направлением на цель. При использовании путевого метода с направлением на цель совмещается вектор путевой скорости управляемого самолета.

Управляющая роль ПУ сводится к периодической передаче на борт, наводимых ЛА, корректирующих команд или передаче команд на изменение маршрута при наведении на новые цели или при выявлении опасных зон, обусловленных обнаружением систем противовоздушной обороны (ПВО) противника.

Для решения задач наведения служит система командного наведения – это совокупность функционально связанных подсистем (устройств), предназначенных для наведения ЛА по командам, формируемым на ПУ и передаваемым на борт управляемого объекта с помощью радиолинии.

Решение всех функциональных задач системы командного наведения обеспечивается в процессе совместной работы АСУ ПУ и информационно-управляющих систем управляемых ЛА.

В общем случае, при управлении современными ЛА используются следующие режимы наведения:

- командное наведение;
- командное наведение с координатной поддержкой;
- полуавтономные действия.

Командное наведение ЛА осуществляется путем выдачи на его борт команд наведения и целеуказания, сформированных на ПУ, при наличии на нем регулярной информации о целях и ЛА.

Командное наведение с координатной поддержкой наряду с командами наведения и целеуказания предусматривает периодическую передачу на борт ЛА информации о координатах цели, что позволяет в любой момент перейти к таким способам выхода в соприкосновение с целью, как бортовое наведение или бортовой поиск. Последние иногда рассматриваются как разновидности обобщенного способа выхода в соприкосновение с целью, называемого бортовым управлением и используемого при полуавтономных действиях авиации СН.

Режим полуавтономных действий используется для наведения одиночных и групп ЛА в АСУ, при которых задачи поиска, наведения и атаки решаются средствами АСУ на ПУ по информации, поступающей от внешних источников – радиолокационной станции (РЛС) обзора воздушного пространства.

При этом СВРС обеспечивает решение следующих задач в интересах информационного обеспечения ЛА и решения задач управления [1]:

- доведение в установленные сроки от ПУ до отдельных экипажей и групп ЛА развернутых в воздухе команд, сигналов, приказов и распоряжений по управлению, а также получение донесений;
- передачу и прием в установленные сроки сигналов и распоряжений по оповещению о ракетной, авиационной опасности, радиационном, химическом и биологическом заражении;
- обмен информацией взаимодействия между различными ЛА управляемых с ПУ, в том числе, различной видовой принадлежности в интересах координации действий ЛА и других управляемых объектов;
- автоматизированный обмен телекодовой информацией (ТКИ) в интересах передачи команд наведения ЛА на воздушные (наземные или морские) цели от наземных ПУ или от авиационных комплексов радиолокационного дозора и наведения (АК РЛДН) по каналам управления ЛА с использованием средств типовых комплексов связи;
- передачу команд и сигналов по управлению экипажами и группами внутри порядков ЛА, прием докладов о выполнении перестроения ЛА, а также передачу донесений на ПУ о ходе выполнения ЛА, поставленных ЦЗ;
- автоматизированный обмен информацией о воздушной обстановке между наземными ПУ, воздушными ПУ (АК РЛДН), а также между ЛА различной видовой принадлежности;
- передачу данных попутной воздушной обстановки с ЛА, а также с разведывательных средств на ПУ;
- обеспечение управления ЛА в районах аэродромов на этапах взлета, построения групп и порядков, их роспуска и захода на посадку.

Качественные характеристики информационного обмена по СВРС, в каналах управления между ПУ и ЛА существенно зависят от способа управления

ЛА и решаемой ЦЗ. Информационное обеспечение ЛА в зависимости от способов управления приведено в таблице 1 по данным из [1].

Автоматизированное управление ЛА (группами ЛА) в воздухе со стороны наземных или воздушных ПУ (АК РЛДН) возможно только при наличии на них информации о параметрах движения цели и ЛА. РЛС системы обеспечения ПУ радиолокационной информацией (РЛИ) ведет слежение за текущим местоположением ЛА и целей, а система управления ПУ рассчитывает траекторию сближения ЛА с целями и организует передачу команд управления ЛА. На конечном этапе полета, на дальностях обнаружения целей бортовыми РЛС, с ПУ помимо команд управления траекторией полета передаются команды ЦЗ и координаты цели. Темп выдачи команд управления не регулярный и зависит от этапа полета ЛА и типа ЦЗ.

Таблица 1– Информационное обеспечение ЛА
в зависимости от способов управления [1]

Качество и источники информации		Регулярная информация				Нерегулярная, внешняя информация	
		Собственные источники		Внешние источники			
		Радиолокационная станция Оптико-локационная станция Теплопеленгатор		Борт	АСУ		
		$D, D', \varepsilon_z, \varepsilon_\theta$	$\varepsilon_z, \varepsilon_\theta$	$\varepsilon_z, \varepsilon_\theta, X_{ц}, Z_{ц}, H_{ц}$	$X_{ц}, Z_{ц}, H_{ц}, V_{хц}, V_{зц}, ЦУ$		
Управление с НазПУ или ВозПУ (АК РЛДН)		Определение фазовых координат цели для обмена с АСУ		Командное наведение		Командное наведение по имитируемой цели	
Одиночный перехватчик		<i>Отождествление координат цели</i>		<i>Определение координат цели по координатной поддержке и ЦУ</i>		<i>Определение координат имитируемой цели</i>	
		Самонаведение $1 \times 1, 1 \times N$	Самонаведение по угломерной информации	Бортовое наведение		Бортовой поиск	
Групповые действия ЛА	Ведущий (командир группы)	Прием и передача информации, отождествление, целераспределение, селекция ложных целей			Определение координат цели		
		Управление ведомыми, координированная атака			по ЦУ	имитируемой	
		Самонаведение $1 \times 1, 1 \times N, M \times N$	Триангуляция Атака парой постановщика помех		Бортовое наведение группы	Групповой бортовой поиск	
	Ведомый	Определение координат целей для обмена при ГПАД			Полет в строю по заданной точке от ведущего или при командном управлении ведомым		
		Самонаведение по цели, указанной командиром		Бортовое наведение по координатной поддержке			
		по полной информации	Бортовое наведение по координатной поддержке	по координатной поддержке			

Примечание: ЦУ – целеуказание.

Таким образом, обмен данными в СВРС организуется в интересах совместного функционирования источников и потребителей информации взаимодействующих объектов АСУ. В СВРС АСУ управления ЛА источниками и потребителями информации являются [1]:

- элементы бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) ЛА;
- программные комплексы интеллектуальной поддержки экипажа, операторов БРЭО, программы функционирования БРЭО и АСУ;
- технические средства обмена телекодowymi сообщениями экипажей ЛА, операторов АСУ, радиоэлектронных комплексов (РЭК) и др.;
- базы данных и базы знаний, входящих в состав АСУ.

Кроме обмена ТКИ автоматизированного управления, на направлениях связи ПУ–ЛА организуется телефонная связь (голосовое управление). В интересах обеспечения голосового управления ЛА в перспективной системе обмена данными (СОД) объединенной системы связи, обмена данными, навигации и опознавания (ОСНОД) развертываются отдельные СВРС со скоростями обмена 16 кбит/с, позволяющие организовать помехозащищенную закрытую связь одновременно в 4 СВРС.

Согласно [56-58] обмен ТКИ по СВРС в автоматизированной системе управления войсками (АСУВ) ведется с помощью унифицированных кодограмм воздушной связи (УКВС). Структура кодограммы и принципы информационного обмена в СВРС подробно описаны в [56, 57]. Независимо от способа разделения частотно-временного ресурса и реализованного протокола многостанционного доступа вся информация, передаваемая по СВРС формируется в УКВС. За один цикл информационного обмена в направлениях «ПУ–ЛА» и «ЛА–ПУ» передается по одной кодограмме. УКВС в зависимости от длины сообщения состоит из 1-го, 2-х, 3-х или 4-х блоков по 256 бит в каждом блоке.

Анализ интенсивности трафика, передаваемого в канале управления летательным аппаратом

При экстраполяции оценки интенсивности информационного потока λ существенным является разделение всей интенсивности трафика передаваемого в канале управления ЛА на постоянную и переменную составляющие.

Постоянная составляющая интенсивности трафика представляет собой данные, которые регулярно с известной интенсивностью передаются по направлениям ПУ–ЛА и ЛА–ПУ. К таким данным можно отнести:

- регулярный обмен данными по запросу «свой-чужой»;
- запросы на координаты ЛА;
- сообщения об остатке топлива на борту ЛА;
- команды наведения для ЛА;
- доклады на ПУ о состоянии и режимах функционирования БРЭО ЛА.

Именно такой информационный обмен с высокой степенью достоверностью описывается моделью трафика в виде стационарного пуассоновского потока с постоянной интенсивностью на отдельных этапах полета ЛА.

Нестационарная составляющая трафика в канале управления ЛА представляет собой не только данные, обмен которыми носит не регулярный характер, но и те данные объем которых может существенно варьироваться в широком диапазоне. К таким данным, относится:

- данные воздушной обстановки в районе выполнения ЦЗ (составляют основной вклад в нестационарную составляющую трафика циркулирующего в канале управления ЛА);
- данные о координатной поддержке для ЛА на этапе наведения и нанесения удара по цели;
- служебная информация о месте ЛА в группе, ее целях и задачах в группе;
- информационное обеспечение взаимодействующих групп ЛА и т. д.

На основании вышеприведенных данных можно сделать вывод о значительных вариациях интенсивности информационного обмена между ПУ и ЛА по этапам полета. Интервалы интенсивности информационного обмена обусловлены, прежде всего, различными интенсивностями обмена ТКИ при различных способах автоматизированного управления ЛА, а также интервальным характером продолжительности каждого этапа полета (на рис. 1):

- 1) взлет и построение группы;
- 2) прием на управление и постановка ЦЗ;
- 3) полет в район выполнения ЦЗ;
- 4) наведение ЛА на цель, управление поражением цели;
- 5) постановка новой ЦЗ, уточнение текущей ЦЗ;
- 6) полет из выполнения ЦЗ;
- 7) передача управления;
- 8) роспуск группы и посадка.

Рассчитывая максимальную и минимальную границы интенсивности ТКИ с учетом интервального значения продолжительности каждого этапа полета ЛА и учитывая, что различным способам управления соответствует различная интенсивность информационного обмена (минимальная при бортовом наведении (БН), максимальная при командном наведении (КН)) получим многоступенчатую функцию интенсивности потоков, где ступени функции соответствуют стационарным потокам на каждом этапе полета. Оценка интенсивности информационного обмена по ее максимуму и минимуму для каждого этапа полета приведена на рис. 1. В качестве исходных данных принято:

- тип ЛА – самолет-истребитель типа Су-27;
- метод наведения – командное наведение;
- оборудование ПУ – АСУ «Постскриптум»;
- тип ЦЗ – перехват воздушной цели;
- ограничения на дальность – выполнение ЦЗ в радиусе 200 км.

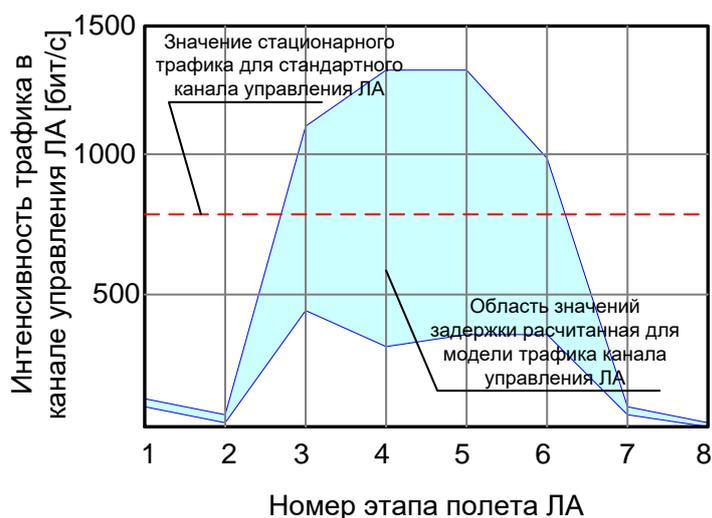


Рис. 1. Интенсивность трафика передаваемого по каналу управления ЛА на различных этапах полета ЛА (командное наведение, зона выполнения ЦЗ – 200 км)

В результате проведенной оценки, можно сделать вывод, что интенсивность поступления ТКИ изменяется в широких пределах даже при использовании одного способа наведения ЛА. Необходимо учитывать, что минимальная и максимальная пределы интенсивности информационного обмена ограничивают лишь теоретические значения интенсивности, при этом внутри этих пределов интенсивность обмена варьируется случайным образом. Главным фактором, обуславливающим случайность изменения интенсивности информационного обмена будет являться количество информации о ВО, которая в свою очередь будет зависеть от количества ЛА и целей в районе выполнения ЦЗ, которое является случайной величиной.

Таким образом, расчеты, сведенные в график на рис. 1, подтверждают сведения, приведенные в [49, 58], о нестационарности интенсивности информационного обмена между абонентами АСУ (в данном случае управляющими (ПУ) и управляемыми (ЛА) объектами).

Формализация модели трафика для частных условий управления летательным аппаратом при наведении на воздушную цель

Оценив априорные данные о границах интенсивности информационного обмена в процессе управления одним ЛА, были разработаны математические функции, формализующие стационарную и нестационарную составляющие информационного обмена по направлению связи ПУ–ЛА. При формировании модели трафика введем следующие допущения:

- модель трафика соответствует простейшему пуассоновскому потоку, а его основной моделируемой характеристикой является математическое ожидание объема трафика поступившего в единицу времени – интенсивность трафика (бит/с);
- трафик в канале управления ЛА состоит из стационарной и нестационарной составляющих, а его интенсивность складывается из интенсивности стационарной и нестационарной составляющих;

- стационарная составляющая трафика в канале управления ЛА, формализуется простейшем пуассоновским потоком на длительности каждого цикла управления, как правило, имеет фиксированную интенсивность и соответствует объему трафика команд управления и телеметрических данных о состоянии бортовых систем, остатке топлива и составе вооружения, передаваемых регулярно, раз в цикл управления;
- нестационарная составляющая трафика в канале управления ЛА, формализуется простейшем пуассоновским потоком на длительности каждого цикла управления, как правило, имеет интенсивность, изменяемую от одного цикла управления к другому, и соответствует информации о воздушной обстановке, координатной поддержке целеуказания, о состоянии и местоположении своих сил и средств, участвующих в решении ЦЗ, а также различные другие данные, которые необходимы для успешного решения ЦЗ.

Функция стационарной составляющей трафика информационного обмена (λ_{det}) имеет вид изображенный на рис. 2 и соответствует выполнению ЦЗ в радиусе 200 км.

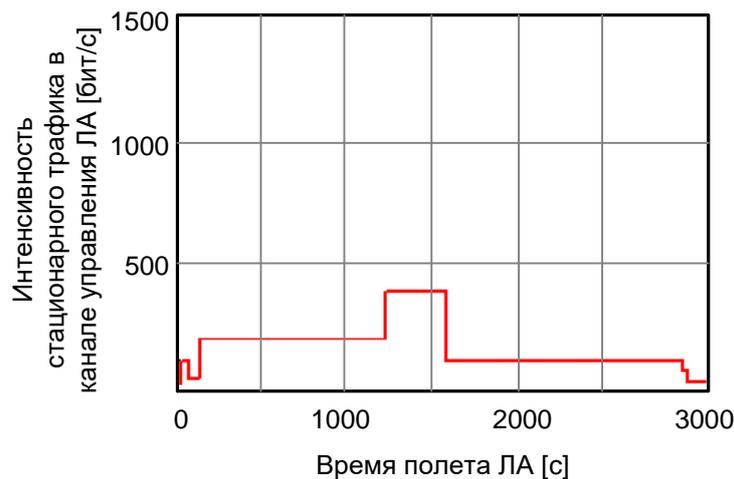


Рис. 2. Функция интенсивности стационарной составляющей информационного обмена между ПУ и ЛА

При этом стационарная составляющая $\lambda_{det}(T)$ задается кусочно-непрерывной функцией по этапам полета ЛА:

$$\lambda_{det}(T) = \begin{cases} 102, T \in T_{эм.1}; \\ 34, T \in T_{эм.2}; \\ 204, T \in T_{эм.3}; \\ 409, T \in T_{эм.4}; \\ 409, T \in T_{эм.5}; \\ 102, T \in T_{эм.6}; \\ 68, T \in T_{эм.7}; \\ 17, T \in T_{эм.8}. \end{cases} \quad (1)$$

Значения функции (1) соответствует следующим ограничениям: тип наведения ЛА – командный; скорость ЛА на этапах полета 3-6 – 15 км/мин; радиус выполнения ЦЗ 200 км.

Функция нестационарной составляющей информационного обмена определялась эвристически, путем подбора на соответствие априорно известным границам общей интенсивности трафика информационного обмена на различных этапах полета ЛА. Функция интенсивности нестационарной составляющей трафика информационного обмена (λ_{var}) между ПУ и ЛА, а также границы варьирования реальных значений интенсивности трафика между ПУ и ЛА, приведена на рис. 3. Данная функция укладывается в граничные условия по интенсивности трафика в канале управления ЛА и соответствует априорным данным об изменении передаваемых данных о воздушной обстановке на протяжении всего полета ЛА:

$$\lambda_{var}(T) = \frac{7 \cdot 10^6}{T_{max} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\gamma \left(T - \frac{T_{max}}{2} \right)^2}{2T_{max}^2}}, \quad (2)$$

где: T – время полета; T_{max} – максимальная продолжительность полета.

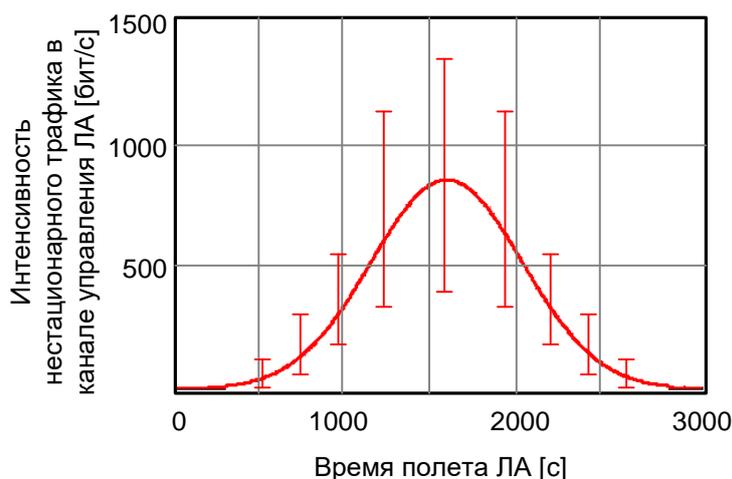


Рис. 3. Аналитическая функция интенсивности нестационарной составляющей трафика (данные воздушной обстановки) в канале управления ЛА, и пределы ее изменения при проведении измерений

Результирующая функция оценки интенсивности трафика информационного обмена между ЛА и ПУ приведена на рис. 4 и определяются функцией:

$$\lambda(T) = \lambda_{det}(T) + \lambda_{var}(T) = \lambda_{det}(T) + \frac{7 \cdot 10^6}{T_{max} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\gamma \left(T - \frac{T_{max}}{2} \right)^2}{2T_{max}^2}}. \quad (3)$$



Рис. 4. Функция интенсивности трафика в канале управления

Выводы

В результате проведенного моделирования доказана общая нестационарность трафика в канале управления ЛА–ПУ, по которому передаются команды управления, данные о воздушной обстановке и донесения о результатах выполнения отдельных команд и состоянии ЛА. Показано, что трафик ЛА–ПУ можно формализовать в качестве простейшего пуассоновского потока и разделить его на две составляющие – стационарную и нестационарную. Стационарная составляющая трафика состоит из команд управления ЛА и донесений об их выполнении, и имеет постоянную интенсивность, которая жестко зависит от этапа полета ЛА. Нестационарная составляющая трафика состоит, прежде всего, из данных о воздушной обстановке, и имеет интенсивность, широко изменяющуюся в широких пределах, которые зависят от обстановки в районе выполнения ЦЗ. При этом пиковые значения интенсивности нестационарной составляющей трафика приходятся на самые важные этапы полета ЛА – этап непосредственного наведения на цель и целевого применения.

Новизной модели является следующее:

- модель основана на теоритическом обобщении реальных статистических данных об информационном обмене между ПУ и управляемым ЛА;
- модель учитывает специфику управления ЛА, а именно: режим управления ЛА, этапность полета ЛА, специфику передачи различных команд и донесений на различных этапах полета ЛА;
- в качестве основного параметра трафика в канале управления ЛА, рассматривается интенсивность трафика, при этом в модели учитываются ее специфичные особенности, а именно: разделение трафика на две составляющие со стационарной и нестационарной интенсивностью, формирование нестационарной интенсивности как функции от складывающейся воздушной обстановки, а стационарной – как функции от этапа полета ЛА.

В дальнейшем разработанная модель нестационарного трафика в канале управления ЛА будет использоваться для решения задач повышения скорости передачи данных в СВРС управления ЛА за счет адаптивного распределения

частотно-временного ресурса сети при наведении ЛА на воздушную цель с учетом прогнозируемой интенсивности трафика в каждом канале управления.

Отдельные результаты данной работы получены в рамках государственной темы НИР СПИИРАН № 0073-2019-0004.

Литература

1. Бабич В. К., Баханов Л. Е., Герасимов Г. П., Гиндранков В. В., Гришин В. К., Горощенко Л. Б., Зинич В. С., Карпеев В. И., Левитин В. Ф., Максимович В. А., Полушкин Ю. Ф., Слатин В. В., Федосов Е. А., Федунов Б. Е., Широков Л. Е. Авиация ПВО России и научно-технический прогресс: боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е.А. Федосова. Монография. – М.: Дрофа, 2004. — 816 с.

2. Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимизация иерархического управления группой БЛА // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2012. Т. 10. № 8. С. 61-67.

3. Верба В. С., Меркулов В. И., Харьков В. П. Оптимальное групповое управление беспилотными летательными аппаратами в сетевцентрической системе // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2013. № 11. С. 48-53.

4. Верба В. С., Меркулов В. И. Теоретические и прикладные проблемы разработки систем радиоуправления нового поколения // Радиотехника. 2014. № 5. С. 39-44.

5. Меркулов В. Н., Дрогалин В. В., Канащенков А. Н., Лепин В. Н., Самарин О. Ф., Соловьев А. А. Авиационные системы радиоуправления. Том 1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа / Под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.

6. Меркулов В. И., Гандурин В. А., Дрогалин В. В. и др. Авиационные системы радиоуправления: учебник для военных и гражданских ВУЗов. – М.: ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2008.

7. Меркулов В. И., Канащенков А. И., Чернов В. С., Дрогалин В. В., Антипов В. Н., Анцев Г. В., Кулабухов В. С., Лепин В. Н., Сарычев В. А., Саблин В. Н., Самарин О. Ф., Тупиков В. А., Турнецкий Л. С., Харьков В. П. Авиационные системы радиоуправления. Том 3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.

8. Макаренко С. И., Пономорев А. В. Исследование влияния своевременности передачи команд в сети воздушной радиосвязи на качество наведения летательного аппарата на цель // Труды учебных заведений связи. 2019. Т. 5. № 2. С. 126-131. DOI: 10.31854/1813-324X-2019-5-2-126-131.

9. Меркулов В. И. Научно-технические проблемы разработки авиационных систем радиуправления // Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского. 2015. № 3. С. 43-50.

10. Макаренко С. И., Сапожников В. И., Захаренко Г.И., Федосеев В. Е Системы связи: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов. – Воронеж: ВАИУ, 2011. – 285 с.

11. Макаренко С. И., Федосеев В. Е. Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонентского доступа: учебное пособие. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. – 179 с.

12. Кейстович А. В., Милов В. Р. Виды радиодоступа в системах подвижной связи. – М.: Горячая линия-Телеком, 2015. – 278 с.

13. Бреслер И. Б., Горбач А. Н., Ланчев В. М., Полушин К. В., Пшеницын А. А., Смирнова Е. В., Угловский Е. П. Средства связи противовоздушной обороны ВВС / Под ред. В.М. Ланчева. – Тверь: ВУ ПВО, 2003.

14. Войткевич К. Л. Методы управления трафиком в наземно-воздушных сетях связи. Дис. ... д.т.н. по спец. 05.13.01 / Войткевич Константин Леонидович. – Н.Новгород: НПП «Полет», 1998. – 375 с.

15. Алехин С. В., Войткевич К. Л. Моделирование протокола маршрутизации для беспроводных мобильных сетей // Электросвязь. 2014. № 7. С. 7-8.

16. Комяков А. В. Войткевич К. Л., Сулима А. А. Инновационные решения для перспективных летательных аппаратов // Деловая слава России. 2013. № 3 (41). С. 26-27.

17. Войткевич К. Л. Сулима А. А., Зац П. А. Проблемы построения канала управления беспилотными летательными аппаратами на основе ДКМВ-радиолинии // Электросвязь. 2014. № 7. С. 9-11.

18. Белоусов Е. Л., Кейстович А. В., Войткевич К. Л., Брянцев В. Ф., Сайфетдинов Х. И. Современное оборудование сети авиационной электросвязи // Системы и средства связи, телевидения и радиовещания. 2012. № 1-2. С. 70-73.

19. Белоусов Е. Л. Брянцев В. Ф., Войткевич К. Л., Кейстович А. В., Сайфетдинов Х. И. Перспективное бортовое оборудование сети авиационной радиосвязи // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 3 (96). С. 11.

20. Белоусов Е. Л., Брянцев В. Ф., Войткевич К. Л., Кейстович А. В., Сайфетдинов Х. И. Вопросы создания авиационного радиосвязного оборудования по принципу «программируемое радио» // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 11-18.

21. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Блакитный О. А. Проблема построения единой автоматизированной системы радиосвязи региона и пути ее решения // Сборник трудов X юбилейной научно-технической конференции «Проблемы радиосвязи». – Н. Новгород: ГУП НПП «Полет», 1999.

22. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Организация управления силами и средствами авиации региона // Вопросы тактики и оперативного искусства.

Сборник научно-методических материалов кафедры № 100. – М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2003.

23. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Задачи боевого управления единой системы воздушной радиосвязи в комплексе пунктов управления авиационной группировкой региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры № 100. – М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2003.

24. Гимбицкий В. А., Сныткин И. И. Функциональная модель процесса управления авиации региона // Вопросы тактики и оперативного искусства. Сборник научно-методических материалов кафедры №100. – М.: ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2003.

25. Гимбицкий В. А. Анализ системы воздушной радиосвязи в частях истребительной авиации // Тематический научно-технический сборник филиала ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского (г. Ставрополь). – 2005. – № 26.

26. Гимбицкий В. А., Бакум А. Н. Совершенствования боевого управления авиацией ПВО // Тезисы докладов 18 НТК курсантов СВВАИУ. – Ставрополь: СВВАИУ, 1996.

27. Калинин В. И. Методика оценки вероятности обслуживания абонентов с требуемой достоверностью в зоне обслуживания станции радиодоступа [Доклад] // 66 НТК СПбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

28. Калинин В. И. Пространственные модели зон обслуживания систем связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СПбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

29. Калинин В.И. Поточковые сетевые модели в системах связи с подвижными объектами [Доклад] // 66 НТК СПбНТОРЭС имени А.С. Попова, посвященный Дню радио. 26 апреля 2011.

30. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Оценка эффективности сетей воздушной радиосвязи при использовании различных алгоритмов многостанционного доступа // Тезисы докл. науч. техн. конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.

31. Дмитриев А. Н., Максимов А. В., Мотин О. В. Модели сетей радиосвязи, использующие различные алгоритмы множественного доступа // Тезисы докл. юбилейной науч. техн. конференции. – Калуга: ОАО «КНИИТМУ», 2002.

32. Дмитриев А. Н., Мотин О. В. Модель авиационного УКВ канала обмена данными // Тезисы докладов научно технической конференции. – Калуга: ФГУП «КНИИТМУ», 2002.

33. Мотин О. В. Модель функционирования авиационного УКВ канала обмена данными // XXIV военно-научная конференция молодых ученых. – Щелково: 30 ЦНИИ МО РФ, 2001.

34. Макаренко С.И. Особенности распределения ресурсов радио сети управления авиационными комплексами перехвата в условиях варьирования

интенсивности информационного обмена // Материалы Всероссийской научно-технической конференции «VIII научные чтения по авиации, посвященные памяти Н. Е. Жуковского». Часть 2. – М.: изд. ВВИА имени Н.Е. Жуковского, 2007. – С. 118.

35. Макаренко С. И. Задача адаптивного управления пропускной способностью каналов сети воздушной радиосвязи в условиях квазистационарности потоков данных // Сборник докладов юбилейной Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта». – Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 25-28.

36. Макаренко С. И. Расчет параметров алгоритма адаптивного распределения пропускной способности каналов наведения в сети воздушной радиосвязи // Сборник докладов юбилейной Всероссийской научно-технической школы-семинара «Проблемы совершенствования боевых авиационных комплексов, повышение эффективности их эксплуатации и ремонта». – Ставрополь: СВВАИУ, 2007. – С. 28-33.

37. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Модель воздушно-космической сети связи с иерархическим принципом ретрансляции информационных потоков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2015. № 4. С. 43-51.

38. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Модель объединенной воздушно-космической сети связи с децентрализованным принципом ретрансляции информационных потоков на основе Mesh-технологий // Инфокоммуникационные технологии. 2016. № 1. С. 7-16.

39. Аганесов А. В., Макаренко С. И. Балансировка информационной нагрузки между воздушным и космическим сегментами объединенной воздушно-космической сети связи построенной на основе Mesh-технологий // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. 2016. Том 8. № 1. С. 17-25.

40. Смирнов С. В., Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Единая сеть воздушной радиосвязи управления авиацией с АК РЛДН основанная на иерархическом принципе ретрансляции информационных потоков. 2018. № 3. С. 54-68. DOI: 10.24411/2410-9916-2018-10304.

41. Смирнов С. В., Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Единая сеть воздушной радиосвязи управления авиацией с АК РЛДН основанная на децентрализованном принципе ретрансляции информационных потоков // Инфокоммуникационные технологии. 2018. Т. 16. № 1. С. 57-68. DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.06

42. Аганесов А. В. Модель сети воздушной радиосвязи на основе протокола случайного множественного доступа CSMA/CA // Системы управления, связи и безопасности. 2015. № 1. С. 67-97. – URL: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/06-Aganesov.pdf> (дата обращения: 16.10.2017).

43. Аганесов А. В., Иванов М. С., Попов С. А., Шунулин А. В. Повышение пропускной способности сети воздушно-космической радиосвязи за счет использования Mesh-технологий в системах межсетевых обмена // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 2. С. 12-16.

44. Аганесов А. В., Иванов М. С., Попов С. А. Применение Mesh-технологий в системах межсетевых обмена с целью повышения пропускной способности каналов связи // Охрана, безопасность, связь. 2017. № 1-1. С. 196-203.

45. Богданов А. Е., Попов С. А., Иванов М. С., Березин А. В. Компенсационные способы борьбы с прицельными по частоте помехами в системах авиационной радиосвязи, использующих псевдослучайную перестройку рабочей частоты // Радиотехника. 2013. № 8. С. 81-85.

46. Смирнов С. В. Модель сети воздушной радиосвязи для управления авиацией с авиационного комплекса радиолокационного дозора и наведения // Системы управления, связи и безопасности. 2017. №2. С. 165-181. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/06-Smirnov.pdf> (дата обращения 14.11.2017).

47. Косяков Е. Н., Новиков Е. А. Метод оперативного управления радиоресурсом спутника-ретранслятора на основе динамического резервирования каналов с запаздыванием // Информация и космос. 2014. № 3. С. 9-13.

48. Новиков Е. А., Павлов А. Р., Зиннуров С. Х. Метод оперативного планирования частотно-временного ресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 5. С. 14-23.

49. Топорков И. С., Ковальский А. А., Зиннуров С. Х. Модель и алгоритм управления процессом резервирования ресурса сети спутниковой связи при обслуживании разнородного нестационарного трафика // Известия Института инженерной физики. 2016. Т. 1. № 39. С. 37-47.

50. Новиков Е. А. Оперативное распределение радиоресурса спутника-ретранслятора при нестационарном входном потоке сообщений с учетом запаздывания в управлении // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2 (69). С. 79-86.

51. Новиков Е. А. Применение моделей структурной динамики при решении задачи распределения частотно-временного ресурса сети спутниковой связи на основе стандарта DVB-RCS // Информационно-управляющие системы. 2013. № 3 (64). С. 78-83.

52. Зиннуров С. Х., Ковальский А. А., Митряев Г. А. Решение задачи оптимального планирования радиоресурса спутниковой системы связи для сеансов управления орбитальной группировкой космических аппаратов // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 1. С. 67-74.

53. Макаренко С. И., Иванов М. С., Попов С. А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография. СПб.: – Свое издательство, 2013. – 166 с.

54. Пономарев А. В. Анализ исследований и обоснование задач развития авиационных сетей воздушной радиосвязи боевого управления авиацией за счет адаптации каналов управления летательными аппаратами к параметрам передаваемого в них трафика // Экономика и качество систем связи. 2018. № 2 (8). С. 42–52.

55. Пономарев А. В. Повышение эффективности функционирования сети воздушной радиосвязи боевого управления авиацией путем адаптации каналов управления к интенсивности передаваемого в них трафика // Экономика и качество систем связи. 2018. № 3 (9). С. 29–46.

56. Кудряков С. А., Кульчицкий В. К., Поваренкин Н. В., Пономарев В. В., Рубцов Е. А., Соболев Е. В., Сушкевич Б. А. Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь. Учебное пособие. – СПб.: Свое издательство, 2016.

57. Бобков Ю. Я., Тютюнников Н. Н. Концептуальные основы построения АСУ Сухопутными войсками ВС РФ: монография. – М.: Издательство «Палеотип», 2014. – 92 с.

58. Макаренко С. И., Татарков М. А. Моделирование обслуживания нестационарного информационного потока системой связи со случайным множественным доступом // Информационно-управляющие системы. 2012. № 1. С. 44-50.

59. Головченко Е. В., Федюнин П. А., Афанасьев А. Д. Обобщенная модель функционирования авиационной инфокоммуникационной сети // Вестник Воронежского института МВД России. 2019. № 2. С. 49-56.

60. Головченко Е. В., Федюнин П. А., Баев К. С. Многоуровневая модель структуры авиационной инфокоммуникационной сети // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. № 1. С. 65-76.

61. Головченко Е. В., Афанасьев А. Д., Першин А. А. Динамическая модель функционирования авиационной инфокоммуникационной сети // Вестник Воронежского института МВД России. 2020. № 2. С. 98-107.

62. Афанасьев А. Д., Головченко Е. В., Дьяченко В. А. Особенности распределения пакетов в авиационной информационно-телекоммуникационной сети с неоднородной тороидальной топологической структурой // Информатика: проблемы, методология, технологии. Сборник материалов XVIII Международной научно-методической конференции: в 7 томах. – Воронеж, 2018. – С. 41-45.

63. Федюнин П. А., Головченко Е. В., Дьяченко В. А., Афанасьев А. Д. Обоснование модели входного трафика в авиационной информационно-телекоммуникационной сети // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVII Международной научно-методической конференции: в 5 томах. – Воронеж, 2017. – С. 484-489.

64. Федюнин П. А., Юрченко С. П., Головченко Е. В., Блинов П. В., Эсаулов С. А. Программа расчета вероятности обнаружения цели бортовыми средствами самолета в зависимости от задержки информации на пункте управления о воздушной обстановке // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019662107, 17.09.2019.

65. Макаренко С. И. Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54-58.

References

1. Babich V. K., Bakhanov L. E., Gerasimov G. P., Gindrankov V. V., Grishin V. K., Goroshchenko L. B., Zinich V. S., Karpeev V. I., Levitin V. F., Maksimovich V. A., Polushkin Iu. F., Slatin V. V., Fedosov E. A., Fedunov B. E., Shirokov L. E. *Aviatsiia PVO Rossii i nauchno-tehnicheskii progress: boevye komplekсы i sistemy vchera, segodnia, zavtra* [Air defense of Russia and scientific-technical progress: combat systems and system yesterday, today, tomorrow]. Moscow, Drofa Publ., 2004. 816 p. (in Russian).

2. Kharkov V. P., Merkulov V. I. Synthesis of an algorithm of hierarchical control of UAVs group. *Journal Information-measuring and Control Systems*, 2012, vol. 10, no. 8, pp. 61-67 (in Russian).

3. Verba V. S., Merkulov V. I., Kharkov V. P. Optimal group control of unmanned aerial vehicles in a network centric system. *Informatsionno-izmeritelnye i upravlyayushchie sistemy*, 2013, no. 11, pp. 48-53. (in Russian).

4. Verba V. S., Merkulov V. I. Heoretical and practical problems of designing next generation of radio guidance systems. *Radiotekhnika*, 2014, no. 5, pp. 39-44 (in Russian).

5. Merkulov V. N., Drogalin V. V., Kanashchenkov A. N., Lepin V. N., Samarin O. F., Solov'ev A. A. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 1. Printsipy postroeniia sistem radioupravleniia. Osnovy sinteza i analiza* [Aviation radio system. Volume 1. Principles of systems radioupravlenie. Fundamentals of synthesis and analysis]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2003. 192 p. (in Russian).

6. Merkulov V. I., Gandurin V. A., Drogalin V. V. and etc. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia* [Aircraft systems control]. Moscow, Air force engineering Academy named after Professor N.E. Zhukovskogo, 2008.

7. Merkulov V. I., Konashenkov A. I., Chernov V. S., Dragalin V. V., Antipov V. N., Antsev G. V., Kulabukhov V. S., Lepin V. N., Sarychev V. A., Sablin V. N., Samarin O. F., Tupikov V. A., Turnetskii L. S., Khar'kov V. P. *Aviatsionnye sistemy radioupravleniia. Tom 3. Sistemy komandnogo radioupravleniia. Avtonomnye i kombinirovannye sistemy navedeniia* [Aviation radio system. Volume 3. Command radio control. Autonomous and combined guidance system]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 320 p. (in Russian).

8. Makarenko S. I., Ponamarev A. V. Study of the Impact of Timeliness of Command Transmission in an Air Radio Communication Network on the Guidance

Quality of an Aircraft at a Target. *Proceedings of Telecommunication Universities*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 126-131 (in Russian) DOI: 10.31854/1813-324X-2019-5-2-126-131.

9. Merkulov V. I. Nauchno-tekhnicheskie problemy razrabotki aviatsionnykh sistem radioupravleniia [Scientific-technical problems of development of aviation systems radio]. *Nauchnye chteniia po aviatsii, posviashchennye pamiati N.E. Zhukovskogo* [Scientific readings on aviation dedicated to the memory of N. E. Zhukovsky], 2015, no. 3, pp. 43-50 (in Russian).

10. Makarenko S. I., Sapozhnikov V. I., Zakharenko G. I., Fedoseev V. E. *Sistemy sviazi* [Radio Communications System]. Voronezh, Military Aviation Engineering University, 2011. 285 p. (in Russian).

11. Makarenko S. I., Fedoseev V. E. *Multichannel communication systems. Secondary networks and subscriber access networks*. Saint-Petersburg, Mozhaisky Military Space Academy Publ., 2014, 179 p. (in Russian).

12. Keistovich A. V., Milov V. R. *Vidy radiodostupa v sistemakh podvizhnoi sviazi* [The types of radio access in system of mobile communication]. Moscow, Goriachaia liniia-Telekom Publ., 2015. 278 p. (in Russian).

13. Bresler I. B., Gorbach A. N., Lanchev V. M., Polushin K. V., Pshenitsyn A. A., Smirnova E. V., Uglovskii E. P. *Sredstva sviazi protivovozdushnoi oborony VVS* [Means of communication, air defense, air force]. Tver, Military Academy of aerospace defense named after Marshal of the Soviet Union G. K. Zhukov, 2003.

14. Voitkevich K. L. *Metody upravleniia trafikom v nazemno-vozdushnykh setiakh sviazi* [Methods of traffic management in ground-air communication networks. Extended Abstract of Dr. habil. Thesis]. Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie "Polet", 1998, 375 p. (in Russian).

15. Alekhin S. V., Voitkevich K. L. Modelirovanie protokola marshrutizatsii dlia besprovodnykh mobil'nykh setei [Simulation of routing Protocol for wireless mobile networks]. *Elektrosviaz*, 2014, no. 7, pp. 7-8 (in Russian).

16. Komiakov A. V., Voitkevich K. L., Sulima A. A. Innovatsionnye resheniia dlia perspektivnykh letatel'nykh apparatov [Innovative solutions for advanced aircraft]. *Delovaia slava Rossii*, 2013, vol. 41, no. 3, pp. 26-27 (in Russian).

17. Voitkevich K. L., Sulima A. A., Zats P. A. Problemy postroeniia kanala upravleniia bespilotnymi letatel'nymi apparatami na osnove DKMV-radiolinii [The problem of constructing a control channel of unmanned aerial vehicles based on dcmu-radio]. *Elektrosviaz*, 2014, no. 7, pp. 9-11 (in Russian).

18. Belousov E. L., Keistovich A. V., Voitkevich K. L., Briantsev V. F., Saifetdinov Kh. I. Sovremennoe oborudovanie seti aviatsionnoi elektrosviazi [Modern equipment of the aeronautical telecommunication network]. *Sistemy i sredstva sviazi, televideniia i radioveshchaniia*, 2012, no. 1-2, pp. 70-73 (in Russian).

19. Belousov E. L., Briantsev V. F., Voitkevich K. L., Keistovich A. V., Saifetdinov Kh. I. Perspektivnoe bortovoe oborudovanie seti aviatsionnoi radiosviazi [Perspective avionics network aeronautical telecommunication]. *Transactions of*

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, 2012, vol. 96, no. 3, pp. 11 (in Russian).

20. Belousov E. L., Briantsev V. F., Voitkevich K. L., Keistovich A. V., Saifetdinov Kh. I. Issues of developing aviation radio communication equipment on “software-defined radio” principle. *Transactions of Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev*, 2012, vol. 95, no. 2, pp. 11-18

21. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Blakitnyi O. A. Problema postroeniia edinoi avtomatizirovannoi sistemy radiosviazi regiona i puti ee resheniia [The Problem of Constructing a Unified Automated Communication Systems of the Region and the Ways of its Solution]. Konferentsiia “*Problemy radiosviazi*” (Proceedings of the Conference “Problems of radio communication”). Nizhni Novgorod, Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie «Polet», 1999 (in Russian).

22. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Organizatsiia upravleniia silami i sredstvami aviatsii regiona [Organization Management of Forces and Means of Air in the Region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

23. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Zadachi boevogo upravleniia edinoi sistemy vozdushnoi radiosviazi v komplekse punktov upravleniia aviatsionnoi gruppировkoi regiona [The tasks of command and control of a unified system of air communication in the complex control of the aviation group of the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

24. Gimbitskii V. A., Snytkin I. I. Funktsional'naia model' protsessa upravleniia aviatsii regiona [Functional model of the process control aviation in the region]. *Voprosy taktiki i operativnogo iskusstva. Sbornik nauchno-metodicheskikh materialov kafedry №100*. Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2003 (in Russian).

25. Gimbitskii V. A. Analiz sistemy vozdushnoi radiosviazi v chastiakh istrebitel'noi aviatsii [Analysis of the air communication system in parts of fighter aircraft]. *Tematicheskii nauchno-tehnicheskii sbornik filiala Voенno-vozdushnai inzhenernai akademii imeni N. E. Zhukovskogo*, Stavropol, 2005, no. 26 (in Russian).

26. Gimbitskii V. A., Bakum A. N. Sovershenstvovaniia boevogo upravleniia aviatsiei PVO [Improvement of Command and Control Air Anti-Aircraft Defence]. *Abstracts of Papers 18 Scientific Technical Conference of Cadet of Stavropol Higher Military Aviation Engineering College*, Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 1996 (in Russian).

27. Kalinin V. I. Metodika otsenki veroiatnosti obsluzhivaniia abonentov s trebuemoi dostovernost'iu v zone obsluzhivaniia stantsii radiodostupa [The method of estimating the probability of customer service with the required accuracy in the service area of the radio access station]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg’s Scientific-

Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

28. Kalinin V. I. Prostranstvennyye modeli zon obsluzhivaniia sistem sviazi s podvizhnymi ob"ektami [Spatial models of service areas of communication systems with mobile objects]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

29. Kalinin V. I. Potokovye setevye modeli v sistemakh sviazi s podvizhnymi ob"ektami [Streaming network models in communication systems with mobile objects]. *66 nauch. konf SPbNTORES A.S Popova* (Abstracts of Paper 66 Scientific Technical Conference of St. Petersburg's Scientific-Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication Named after A. S. Popov), 26 April 2011 (in Russian).

30. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Otsenka effektivnosti setei vozduшной radiosv'iazi pri ispol'zovanii razlichnykh algoritmov mnogostantsionnogo dostupa [Evaluation of the Effectiveness of the Networks to Air Radio Communications Using Different Algorithms for Multiple Access]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv», 2002 (in Russian).

31. Dmitriev A. N., Maksimov A. V., Motin O. V. Modeli setei radiosv'iazi, ispol'zuiushchie razlichnye algoritmy mnozhestvennogo dostupa [Model Radio Communications Networks that use Different Algorithms for Multiple Access Telecommunications]. *Tezisy dokladov iubileinoi nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv», 2002 (in Russian).

32. Dmitriev A. N., Motin O. V. Model aviatsionnogo UKV kanala obmena dannymi [Model aviation ultrashort-waves communication channel]. *Tezisy dokladov nauchno tekhnicheskoi konferentsii (Proceedings of the Conference)*, Kaluga, JSC «Kaluzhskii nauchno-issledovatel'skii institut telemekhanicheskikh ustroystv», 2002 (in Russian).

33. Motin O. V. Model' funktsionirovaniia aviatsionnogo UKV kanala obmena dannymi [The Model of Functioning Aviation Ultrashort-waves Communication channel]. *XXIV voenno-nauchnaia konferentsiia molodykh uchenykh. (Proceedings of the Conference Title XXIV military-scientific conference of young scientists)*, Shchyolkovo, 30 tsentral'nyi nauchno-issledovatel'skii institut Ministerstva oborony Rossiiskoi Federatsii, 2001 (in Russian).

34. Makarenko S. I. Osobennosti raspredeleniia resursov radio seti upravleniia aviatsionnymi kompleksami perekhvata v usloviakh var'irovaniia intensivnosti informatsionnogo obmena [Features of resource allocation radio network control aircraft interception complexes in terms of the variation of the intensity of data exchange]. *Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "VIII nauchnye chteniia po*

aviatsii, posviashchennye pamiati N.E. Zhukovskogo” (Proceedings of the 8nd All-Russian Cientific Conference on Aviation, Dedicated to the Memory of N. E. Zhukovsky). Part 2, Moscow, Military Aviation Engineering Academia named N. E. Zhukovskogo Publ., 2007, 118 p. (in Russian).

35. Makarenko S. I. Zadacha adaptivnogo upravleniia propusknoi sposobnost'iu kanalov seti vozdushnoi radiosviazi v usloviakh kvazistatsionarnosti potokov dannykh [The task of the adaptive bandwidth control channel network air radio in conditions of quasi-stationarity of data streams]. *Sbornik dokladov konferentsii «Problemy sovershenstvovaniia boevykh aviatsionnykh kompleksov, povyshenie effektivnosti ikh ekspluatatsii i remonta»* (Proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference “Problems of improving combat airplane, increasing the efficiency of their operation and repair”), Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 2007, pp. 25-28 (in Russian).

36. Makarenko S. I. Raschet parametrov algoritma adaptivnogo raspredeleniia propusknoi sposobnosti kanalov navedeniia v seti vozdushnoi radiosviazi. [Calculation of parameters of the algorithm adaptive bandwidth channel capacity of guidance channel in the air network radio channel] *Sbornik dokladov iubileinoi Vserossiiskoi nauchno-tekhnicheskoi shkoly-seminara «Problemy sovershenstvovaniia boevykh aviatsionnykh kompleksov, povyshenie effektivnosti ikh ekspluatatsii i remonta»* (Proceedings of All-Russian Scientific and Technical Conference “Problems of Improving Combat Airplane, Increasing the Efficiency of Their Operation and Repair”), Stavropol, Stavropol Higher Military Aviation Engineering College, 2007, pp. 28-33 (in Russian).

37. Aganesov A. V., Makarenko S. I. Aerospace communications network model with traffic routing hierarchical principle. *Radio and telecommunication systems*, 2015, no. 4, pp. 43-51 (in Russian).

38. Aganesov A. V., Makarenko S. I. Model of united air-space network with decentralized traffic routing based on Mesh technology. *Infokommunikacionnye Tehnologii*, 2016, no. 1, pp. 7-16 (in Russian).

39. Aganesov A. V., Makarenko S. I. The traffic balancing method between aero and space segments in aerospace network based on Mesh-technology. *H&ES Research*, 2016, vol. 8, no. 1, pp. 17-25 (in Russian).

40. Smirnov S. V., Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. Integral radio network of aircrafts control from AWACS based on the hierarchical principle of routing. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 3, pp. 54-68 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2018-10304.

41. Smirnov S. V., Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov A. S. AWACS guided integrated aircraft control radio network based on decentralized routing. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2018, vol. 16, no. 1, pp. 57-68 (in Russian). DOI: 10.18469/ikt.2018.16.1.06.

42. Aganesov A. V. Model of Radio Network with CSMA/CA Protocol. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 1, pp. 67-97. Available

at: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/06-Aganesov.pdf> (accessed 16 October 2017) (in Russian).

43. Aganesov A. V., Ivanov M. S., Popov S. A., Shunulin A. V. Increasing space-air communications system network bandwidth using Mesh technology in interworking systems. *Radio Communication Theory and Equipment*, 2016, no. 2, pp. 12-16 (in Russian).

44. Aganesov A. V., Ivanov M. S., Popov S. A. Application Mesh-технологий in systems of the gateway exchange for the purpose of increase of throughput of communication channels. *Okhrana, bezopasnost, sviaz*, 2017, no. 1-1. pp. 196-203 (in Russian).

45. Bogdanov A. E., Popov S. A., Ivanov M. S., Berezin A. V. Compensatory ways of struggle against aim hindrances on frequency in systems of an aviation radio communication using pseudo-casual reorganisation of working frequency. *Radiotekhnika*, 2013, no. 8, pp. 81-85 (in Russian).

46. Smirnov S. V. Air radio network model for AWACS-controlled aircraft. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 2, pp. 165-181. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-02/06-Smirnov.pdf> (accessed 14 November 2017) (in Russian).

47. Kosyakov E. N., Novikov E. A. Metod operativnogo upravleniya radioresursom sputnika-retranslyatora na osnove dinamicheskogo rezervirovaniya kanalov s zapazdyvaniem [Method of operational management of radio resource of the satellite-repeater on the basis of dynamic reservation of channels with delay]. *Informatsiia i kosmos*, 2014, no. 3, pp. 9-13 (in Russian).

48. Novikov E. A., Pavlov A. R., Zinnurov S. H. Method of operative planning of the satellite repeater's time-and-frequency resource under non stationary ingress flow. *Aerospace Instrument Making*, 2014, no. 5, pp. 14-23 (in Russian).

49. Toporkov I. S., Kovalskiy A. A., Zinnurov S. Kh. Model and algorithm of management of process of reservation of a resource of a network of satellite communication at service of the diverse non-stationary traffic. *Izvestiya Instituta inzhenernoy fiziki*, 2016, vol. 1, no. 39, pp. 37-47 (in Russian).

50. Novikov E. A. Operative distribution of satellite repeater radio resource in terms of non-stationary ingress flow with account of time lagged control. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2014, vol. 69, no 2, pp. 79-86 (in Russian).

51. Novikov E. A. Using of structural dynamics models in tasks of time-frequency source distribution in satellite communication system based on DVB-RCS standard. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2013, vol. 64, no 3, pp. 78-83 (in Russian).

52. Zinnurov S. H, Kovalsky A. A., Mitryaev G. A. Task`s solution of satellite communication system`s optimal radio resource planning for the sessions of space appliance`s orbital group managing. *Proceedings of Educational Institutes of Communication*, 2018, vol. 4, no. 1, pp. 67-74 (in Russian).

53. Makarenko S. I., Ivanov M. S., Popov S. A. *Pomekhozashchishchennost' sistem sviazi s psevdosluchainoi perestroikoi rabochei chastity. Monografija*

[Interference Resistance Communication Systems with Frequency-Hopping Spread Spectrum. Treatise]. Saint Petersburg, Svoe Izdatelstvo Publ., 2013, 166 p. (in Russian).

54. Ponamarev A. V. Analysis of research and justification of problems of the development of aviation radio communication networks for combat control of aviation by adapting the control channels of aircraft to the parameters of the traffic transmitted in them. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 42–52 (in Russian).

55. Ponamarev A. V. Improving the efficiency of functioning the air radio communication network of a combat aviation management by adapting the control channels to the intensity of the transferable traffic. *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi*, 2018, vol. 9, no. 3, pp. 29–46 (in Russian).

56. Kudriakov S. A., Kul'chitskii V. K., Povarenkin N. V., Ponomarev V. V., Rubtsov E. A., Sobolev E. V., Sushkevich B. A. *Radiotekhnicheskoe obespechenie poletov vozdushnykh sudov i aviatsionnaia elektrosviaz'* [Radio-technical flight support of aircraft and aeronautical telecommunications]. Saint-Petersburg, Svoe izdatelstvo Publ., 2016.

57. Bobkov Ju. Ja., Tiutiunnikov N. N. *Kontseptual'nye osnovy postroeniia ASU Sukhoputnymi voiskami VS RF: monografiia* [Concepts of ACS of Land forces of armed forces of the Russian Federation. Monograph]. Moscow, Paleotip Publ., 2014. 92 p. (in Russian).

58. Makarenko S. I., Tatarkov M. A. Model of Service the Non-Stationary Traffic in Communication System with CSMA. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, no. 1, 2012, pp. 44-50 (in Russian).

59. Golovchenko E. V., Fedyunin P. A., Afanfs'ev A. D. Generalized model of functioning of the aviation network information and communication. *Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia*, 2019, no. 2, pp. 49-56 (in Russian).

60. Golovchenko E. V., Fedyunin P. A., Baev K. S. Multilevel structure model of the aviation network information and communication. *Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia*, 2020, no. 1, pp. 65-76 (in Russian).

61. Golovchenko E. V., Afanfs'ev A. D., Pershin A. A. The dynamic model of functioning of the aviation network information and communication. *Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia*, 2020, no. 2, pp. 98-107 (in Russian).

62. Afanasev A. D., Golovchenko E. V., Djachenko V. A. Osobennosti raspredelenija paketov v aviacionnoj informacionno-telekommunikacionnoj seti s neodnorodnoj toroidal'noj topologicheskoi strukturoj [Features of packet distribution in an aviation information and telecommunication network with an inhomogeneous toroidal topological structure]. *Informatika: problemy, metodologija, tehnologii. Sbornik materialov XVIII Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoi konferencii: v 7 tomah* [Computer science: problems, methodology, technologies. Collection of materials of

the XVIII International Scientific and Methodological Conference: in 7 volumes]. Voronezh, 2018, pp. 41-45 (in Russian).

63. Fedjunin P. A., Golovchenko E.V., Djachenko V. A., Afanasev A. D. Obosnovanie modeli vhodnogo trafika v aviacionnoj informacionno-telekommunikacionnoj seti [Substantiation of the input traffic model in the aviation information and telecommunication network]. *Informatika: problemy, metodologija, tehnologii. Materialy XVII Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoj konferencii: v 5 tomah* [Computer science: problems, methodology, technologies. Materials of the XVII International Scientific and Methodological Conference: in 5 volumes]. Voronezh, 2017, pp. 484-489 (in Russian).

64. Fedjunin P. A., Jurchenko S. P., Golovchenko E. V., Blinov P. V., Jesaulov S. A. *Programma rascheta verojatnosti obnaruzhenija celi bortovymi sredstvami samoleta v zavisimosti ot zaderzhki informacii na punkte upravlenija o vozdushnoj obstanovke* [The program for calculating the probability of target detection by the aircraft's onboard means, depending on the delay of information at the control point about the air situation]. Patent RU 2019662107, 17.09.2019.

65. Makarenko S. I. Adaptivnoe upravlenie skorostiami logicheskikh soedinenii v kanale radiosvazi mnozhestvennogo dostupa [Adaptive Control Speed Logical Connections in the Radio Multiaccess Channel]. *Information and Control Systems*, 2008, no. 6, pp. 54-58 (in Russian).

Статья поступила 25 ноября 2021 г.

Информация об авторах

Иванов Максим Сергеевич – кандидат технических наук. Старший преподаватель кафедры эксплуатации бортового авиационного радиоэлектронного оборудования. ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». Область научных интересов: сети и системы авиационной радиосвязи. E-mail: point_break@rambler.ru

Адрес: 394074, Россия, Воронеж, Старых Большевиков, д. 54а.

Пономарев Алексей Валерьевич – преподаватель кафедры авиационного и радиоэлектронного оборудования. Краснодарское высшее авиационное училище летчиков имени Героя Советского Союза А.И. Серова. Область научных интересов: сети и системы авиационной радиосвязи. E-mail: dimalex25@bk.ru

Адрес: 350090, Россия, Краснодар, Дзержинского, д. 35.

Макаренко Сергей Иванович – доктор технических наук, доцент. Ведущий научный сотрудник. Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН. Профессор кафедры информационной безопасности. Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина). Область научных интересов: сети и системы связи; радиоэлектронная борьба; информационное противоборство. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Адрес: 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия В.О., д. 39.

Simulation of the teletraffic that transmitted in a radio channel of control combat aircraft. Part 1. Non-stationary teletraffic intensity model at various flight stages

M. S. Ivanov, A.V. Ponamorev, S. I. Makarenko

Relevance. The intensity of the use of the Russian Air Force increased significantly at the beginning of the XXI century. At the same time, problematic technical aspects of the operation and management of combat aircraft began to be identified more often. One of these aspects is the discrepancy between the high requirements for operational control of a combat aircraft and the truly timely teletraffic (commands and data on the air situation) transmission on an aircraft board. Preliminary studies have shown that when transmitting teletraffic, changes in the of transmitted teletraffic intensity on various flight stages and the gist of aircraft tasks are not taken into account. This leads to a decrease of the teletraffic timeliness and, as a result, to a decrease in the efficiency of combat aircraft control. **The goal of the article** is to develop a model of non-stationary teletraffic that transmitted in a radio channel of control combat aircraft. This model takes into account as the stationary part - commands and data on the state of on-board systems, as the non-stationary part - information about the air situation, the volume of which can vary significantly. **Novelty.** The elements of the novelty of the model include taking into account the structure and truly non-stationary of teletraffic in a radio channel of control combat aircraft on various flight stages. **The practical significance of the article** lies in the fact that the developed model of non-stationary teletraffic can be used to increase efficiency of combat aircraft control when aircraft is pointing at an aerial target.

Keywords: teletraffic, aerial radio communication network, aviation, communication organization, military aviation, aircraft control.

Information about Authors

Maxim Sergeevich Ivanov – Ph.D. of Engineering Sciences. Senior Lecturer of Department of Exploitation of Aircraft Electronic Equipment. Military Training and Research Center of the Air Force “Military Air Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and J. A. Gagarin”. Field of research: systems and networks aeronautical radio communication. E-mail: point_break@rambler.ru

Address: 394074, Russia, Voronezh, Old Bolsheviki str., 54a.

Aleksey Valereevich Ponamorev – Lecturer of the Department of Aviation and Radio-electronic equipment. Krasnodar Higher Aviation School of Pilots named after Hero of the Soviet Union A.I. Serov. Field of research: systems and networks aeronautical radio communication. E-mail: dimalex25@bk.ru

Address: 350090, Russia, Krasnodar, Dzerzhinsky str. 35.

Sergey Ivanovich Makarenko – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Leading Researcher. St. Petersburg Federal research center of the Russian Academy of Sciences. Professor of Information Security Department. Saint Petersburg Electro-technical University 'LETI'. Field of research: stability of network against the purposeful destabilizing factors; electronic warfare; information struggle. E-mail: mak-serg@yandex.ru

Address: 197376, Russia, Saint Petersburg, 14th Linia, 39.