

УДК 623.465.5

Проблемные вопросы организации информационного обеспечения управления ударными авиационными комплексами

Васильев В.А.^{1*}, Федюнин П.А.^{1}, Данилин М.А.^{1***}, Васильев А.В.²**

¹*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
ул. Старых Большевиков, 54 «А», Воронеж, 394064, Россия*

²*Главный научный метрологический центр Минобороны России,
ул. Комарова, 13, Московская область, Мытищи, 141006, Россия*

** e-mail: vashome60@mail.ru*

*** e-mail: fpa1@yandex.ru*

**** e-mail: maxxxl78@mail.ru*

Статья поступила 10.03.2019

Аннотация

В статье дается обоснование необходимости дальнейшего совершенствования организации информационного обеспечения управления ударными авиационными комплексами при непосредственной поддержке Сухопутных войск. Проведен анализ процесса организации информационного обеспечения управления – сбора, обработки и передачи информации во времени. Оценено влияние задержки сообщений в канале управления, обусловленной возмущающими воздействиями, на эффективность управления ударным авиационным комплексом. Выявлено противоречие между необходимостью повышения интенсивности передачи управляющей информации с целью поддержания ее адекватности и ограниченными возможностями сети воздушной радиосвязи по пропускной способности.

Обозначены перспективные направления разрешения данного противоречия.

Ключевые слова: целеуказание и наведение; информационное обеспечение управления авиацией; задержка сообщений в канале управления; интенсивность информационного обмена.

Введение

Особенности настоящего момента, связанные с изменением характера боевых действий, требуют уточнения и совершенствования алгоритмов управления средствами непосредственной авиационной поддержки тактических воинских формирований (ТВФ). Именно эффективное управление, организованное на основе применения информационных технологий и современных средств управления, является важнейшим условием максимального использования боевых возможностей ударных авиационных комплексов (УАК). Все это, с учетом развития теории и практики автоматизации процесса управления войсками (силами), предопределяет необходимость исследования таких проблем как создание (модернизация) систем управления авиацией и обеспечение их устойчивого функционирования; развитие и внедрение эффективных комплексов средств автоматизации управления, обеспечивающих высокую ситуационную осведомленность в работе лиц боевых расчетов (ЛБР) пунктов управления авиацией (ПУА); поиск новых методов исследования систем управления авиацией и оценки их эффективности. При этом все возрастающее внимание в исследованиях указанных проблем уделяется вопросам организации информационного обеспечения процессов управления.

Данная статья продолжает цикл работ по исследованию эффективности управления ударными пилотируемыми и беспилотными авиационными комплексами при их наведении на одиночный подвижный малоразмерный малозаметный наземный объект [1-5]. Целью настоящей работы является разработка методики оценки влияния задержки сообщений в канале связи, обусловленной случайными возмущениями, на организацию информационного обеспечения управления УАК в реальных условиях функционирования ПУА.

Характеристика предметной области исследования

Система наведения УАК на наземные цели представляет собой совокупность органов и пунктов управления, каналов и средств связи, а также методов управления УАК в процессе их наведения на наземные объекты. В общем случае наводимыми УАК могут быть самолеты штурмовики, фронтовые и дальние бомбардировщики и многофункциональные истребители при работе по наземным целям, а также ударные беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Управление этими летательными аппаратами осуществляется в процессе их полета по маршруту в район цели и далее непосредственно в район применения средств поражения. Согласно функциональной модели системы управления авиацией [1, 6], построенной с использованием методологии SADT [7], управляющая роль ПУА сводится к периодической передаче в бортовой комплекс УАК команд боевого управления (информации целеуказания, корректирующих команд или передаче команд на изменение маршрута при наведении на новые цели или при выявлении опасных зон, обусловленных обнаружением систем ПВО противника).

Представим краткое описание первого уровня модели [1] выделив значимые

для функционирования ПУА условия, а именно ограничения, накладываемые на время нахождения сообщений в канале связи, связанные с режимом реального времени управления авиацией и необходимостью передачи информации критичной к задержкам.

В основе «Управления» лежит реализация принятого командиром ТВФ решения на бой и боевые задачи в форме боевых распоряжений с командного пункта (КП) авиации.

Обеспечивающая функции управления «Входная информация» включает в себя три объектно-ориентированных направления: данные о своих войсках (в том числе о состоянии УАК); данные о противнике и данные о специальных характеристиках обстановки.

«Выходная информация» (*Q*) включает в себя:

команды боевого управления УАК;

тактическую информацию для КП авиации о наземной и воздушной обстановке в полосе ответственности;

информацию для КП авиации и КП ТВФ о выполнении задач;

информацию для КП противовоздушной обороны о времени влета авиации в зону ответственности ТВФ, о маршрутах полета авиации, о полосах и коридорах пролета авиации.

К «Механизмам», отражающим физические аспекты функции первого уровня относятся ЛБР ПУА, каналы и средства связи.

Источники данных (*D*) формируют «входную информацию», которая поступает в программно-технический комплекс (ПТК) соответствующего ПУА с

задержкой, зависящей от параметров источников и состояния используемых каналов связи. Моменты времени использования «выходной информации» для целей управления определяются задержками, которые зависят от качества алгоритмического, программного и технического обеспечения ПТК; состояния каналов связи между ПУА и экипажем УАК, а также между ПУА и взаимодействующими подразделениями ТВФ. Суммарное время задержки, в общем случае, для m видов «выходной информации» может быть представлено системой уравнений:

$$\tau_{\Sigma}^{ij} = \tau_{\Sigma}^{D_i} + \tau_{алг}^j + \tau_{\Sigma}^{Q_j}, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

где τ_{Σ}^{ij} – суммарное время задержки информации с момента начала измерений i -тым датчиком до момента использования j -той «выходной информации»; $\tau_{\Sigma}^{D_i}$ – задержка получения информации от i -того источника (с учетом времени измерений); $\tau_{алг}^j$ – время обработки данных для формирования j -той «выходной информации»; $\tau_{\Sigma}^{Q_j}$ – задержка прохождения сформированной j -той «выходной информации» в системе связи.

Выражение (1) отражает тот факт, что каждая из возможных связей n источников данных с потребителями «выходной информации» Q_m имеет собственное время задержки. При этом величина времени $\tau_{\Sigma}^{D_i}$ имеет как детерминированную, так и случайную составляющие. Детерминированная составляющая зависит от параметров источников информации и установленного порядка информационного взаимодействия в системе управления. Наличие случайной составляющей обусловлено воздействием на систему управления

множества внутренних и внешних факторов, и в первую очередь – преднамеренных помех (ПП). Под воздействием ПП уменьшается эффективная пропускная способность линий связи вследствие изменения доступного частотного или временного ресурса, а также из-за необходимости многократной передачи поврежденных сообщений [8, 9]. В итоге задержка $\tau_{\Sigma}^{D_i}$ может привести к искаженным представлению и оценке тактической обстановки, состояния УАК и наземной цели (задача идентификации) и, как следствие, к принятию ЛБР ПУА ошибочных решений. То же проявление относительно информации Q_m (при наличии $\tau_{\Sigma}^{D_i}$) порождает ту или иную степень дезорганизации управления УАК (задача управления).

В настоящее время влияние задержек сообщений на работу системы управления рассматривают с двух позиций [10]:

компенсация задержек за счет использования экстраполяторов;

учет влияния задержек на работу алгоритма управления.

В том и в другом случае перед исследователем и разработчиком встает сложная задача оценки величины τ_{Σ}^{ij} с учетом ее случайного характера. Сложность совместного решения задач идентификации и управления заключается в том, что в процессе информационного обмена структура связи меняется случайным образом, при этом закономерности изменения задержки сигнала при получении информации состояния и изменения задержки в канале передачи управляющих воздействий могут существенно различаться. В этом случае целесообразно рассматривать задачу идентификации как самостоятельную задачу и как составную часть задачи

управления. Искусственное расчленение задачи, по мнению авторов, позволит упростить расчеты и организацию управления, возможно при некотором снижении качества решения общей проблемы.

С учетом указанных обстоятельств в статье рассматривается подход к оценке влияния задержки сообщений в канале управления УАК на качество информационного обеспечения управления при допущении отсутствия зависимости от качества решения задачи идентификации.

Методика оценки влияния задержки сообщений на качество информационного обеспечения управления УАК

Поставленная в статье научная задача решалась применительно к условиям функционирования перспективных сетей воздушной радиосвязи (СВРС), структурно входящих в объединенную систему связи Вооруженных сил (ВС) [11]. На СВРС в условиях ведения боевых действий планируется возложить информационное обеспечение авиации и ретрансляцию информационных потоков от подразделений Сухопутных войск и от развертываемых в районе боевых действий разведывательных сетей на основе БПЛА.

Условимся, что порядок доступа к общему частотно-временному ресурсу СВРС определяется алгоритмом случайного многостанционного доступа с проверкой несущей, для которого известна модель системы массового обслуживания (СМО) [12-17]. При этом информационные потоки по логическим соединениям представляются стационарным пуассоновским потоком, а среда передачи – каналом радиосвязи множественного доступа (КМД). Использование данной модели позволяет определить время задержки пакета τ_3 как функцию от

интенсивности информационного обмена λ и параметров сети [13]:

$$\tau_3 = \frac{D_{mes}}{C} \left[\left(\frac{\lambda}{SC} - 1 \right) \left(2 \frac{d_{max} C}{cD_{mes}} + 1 + K \right) + 1 + \frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \right], \quad (2)$$

где S – доля успешных передач определяется как:

$$S = \frac{\left(\lambda e^{-\frac{\lambda d_{max}}{cD_{mes}}} \right)}{\lambda \left(1 + 2 \left(\frac{d_{max} C}{cD_{mes}} \right) \right) + C e^{-\frac{\lambda d_{max}}{cD_{mes}}}},$$

где D_{mes} – объем пакета; C – пропускная способность канала; d_{max} – радиус сети; c – скорость распространения электромагнитных волн; K – количество повторов передачи сообщения в случае ошибки при отправке.

Выражение (2) однозначно определяет состояние сети. Как показано в работе [13] устойчивое состояние сети характеризуется малым временем задержки и наибольшей производительностью. Для неустойчивого состояния характерны необратимый рост времени задержки и снижение производительности. Это обусловлено тем, что при случайном характере поступления пакетов для передачи даже без воздействия ПП возможна ситуация (состояние коллизии [17]), когда число вновь сформированных пакетов превышает возможности канала по успешной передаче. Представление процесса информационного обмена без введения в модель сети элементов, учитывающих состояние сети в условиях воздействия ПП, может привести к ошибке в определении задержки сообщений. Поскольку результативность целеуказания и наведения УАК на маневрирующую наземную цель напрямую зависит от задержек сообщений управления, то это ведет к ошибке в

определении информационного ущерба управлению. Под информационным ущербом ($\gamma(\tau_3)$) здесь понимается относительная величина численно равная отношению:

$$\gamma(t) = \frac{P_{\max} - P(t)}{P_{\max}}, \quad (3)$$

где P_{\max} и $P(t)$ – соответственно максимальное значение показателя эффективности управления УАК в текущих (прогнозируемых) условиях обстановки и значение показателя при использовании информации в момент времени $t = t_0 + \tau_3$; t_0 – начало передачи сообщения.

Использование зависимости (3) позволяет в данной задаче исключить из рассмотрения условия визуального поиска наземной цели [5, 18], чтобы оценивать влияние задержки $\gamma(\tau_3)$ на процесс управления УАК только с информационных позиций.

Таким образом, противоречие между реальным состоянием КМД, определяемым относительной пропускной способностью при воздействии случайных возмущений, и идеализированной моделью КМД приводит к ошибкам в определении информационного ущерба управлению по задержке и, как следствие, к снижению эффективности управления УАК.

Для качественного рассмотрения влияния на КМД случайных возмущений (коллизий и ПП) используются следующие общие допущения:

СВРС состоит из M однотипных статистически одинаковых абонентов;

процесс генерации пакетов абонентами представляет собой стационарный

пуассоновский процесс с суммарной интенсивностью $\lambda = \sum_{m=1}^M \lambda_m$;

если более одного абонента одновременно начинают передачу, то возникает коллизия, аналогично – в случае действия ПП;

не успешно переданный пакет передается абонентом повторно с вероятностью $P_{повт}$, а ПП воздействует на канал с вероятностью P_{nn} ;

в конце каждого цикла передачи абонент, осуществляющий ее, по каналу обратной связи, не подверженному влиянию ПП, оповещается об успешной передаче или искажений пакета.

Здесь следует отметить, что анализ реальных значений интенсивности трафика указывает на существенную нестационарность трафика в канале управления и зависимость значения интенсивности трафика от этапа полета самолета [18, 19]. При этом в [20] отмечается, что наибольшая нагрузка проявляется на конечном этапе – выходе самолета в район цели. В настоящей работе допущение о соответствии трафика стационарному пуассоновскому процессу основывается на результатах анализа алгоритма целеуказания и наведения УАК с учетом относительно малой по времени длительности рассматриваемого этапа.

Для принятых допущений относительная пропускная способность сети S имеет вид [17]:

$$S = \frac{D_c G e^{-G} (1 - P_{nn})}{1 + (D_c + 1)(1 - e^{-G})}, \quad (4)$$

где $G = \lambda + nP_{повт}$ – интенсивность трафика, поступающего в канал связи; n –

количество заблокированных абонентов.

Дальнейшие рассуждения приводятся с учетом выявленной линейной зависимости относительной пропускной способности сети S от вероятности P_m .

Установлено, что информационный ущерб управлению по задержке сигнала в канале связи для условий целеуказания и наведения УАК на подвижную наземную цель определяется выражением

$$\gamma = 1 - e^{-\frac{kV^2\tau_3^2}{3}}, \quad (5)$$

где k – коэффициент, характеризующий динамические элементы модели управления УАК (скорость самолета, радиус разворота и др.); V – средняя скорость цели.

Выражение (5) справедливо при следующих принятых предположениях о характере движения цели:

1. Размерность геометрического подпространства предполагаемого района авиационного удара \mathbf{R}^2 , т.е. движение цели происходит на плоскости. Пространство \mathbf{R}^2 изотропно, поэтому условия движения цели всюду одинаковы.

2. Направление и величина скорости V определяются тактическими и техническими соображениями, а также свойствами дорожной сети в районе боевых действий. При этом цель может часто изменять направление и величину скорости движения, так, что изменение координат цели за время τ_3 складывается из некоторого количества малых последовательных перемещений по различным направлениям.

3. Движение цели по дорогам предполагает, что вектор скорости в процессе

движения будет отклоняться от предполагаемого направления не более, чем на острый угол.

В результате проведенного качественного анализа влияния условий функционирования системы управления авиацией на величину информационного ущерба управлению γ выявлено противоречие, ведущее к конфликтам при организации эффективного информационного обеспечения управления УАК. Противоречие заключается в том, что для обеспечения заданного информационного ущерба требуется снижение периода выдачи на борт УАК управляющих воздействий. Однако, обусловленный этим рост интенсивности информационного потока в КМД вызывает увеличение значения задержки сообщений (рис.1, а) и, соответственно, информационного ущерба управлению УАК. При этом ущерб управлению тем больше, чем больше активных абонентов в сети (рис. 2, б), выше вероятность воздействия ПП на КМД (рис. 1, б) и маневренные характеристики цели (рис. 2, а).

Разрешением указанного противоречия может стать назначение величины интенсивности обновления управляющей информации при которой не будет превышен заданный допустимый информационный ущерб в текущих (прогнозируемых) условиях тактической обстановки и априорно известных динамических характеристиках цели. Однако такой подход при большом количестве вариантов условий обстановки, а также вследствие случайного характера большинства ее параметров и параметров движения цели, по мнению авторов, обладает низкой эффективностью. Его более совершенная версия представляется в адаптивном управлении интенсивностью трафика в канале управления УАК или (и), как предложено в [19, 20], скоростями логических соединений в СВРС, что, однако,

при практической реализации потребует изменения параметров протокола управления доступом в КМД.

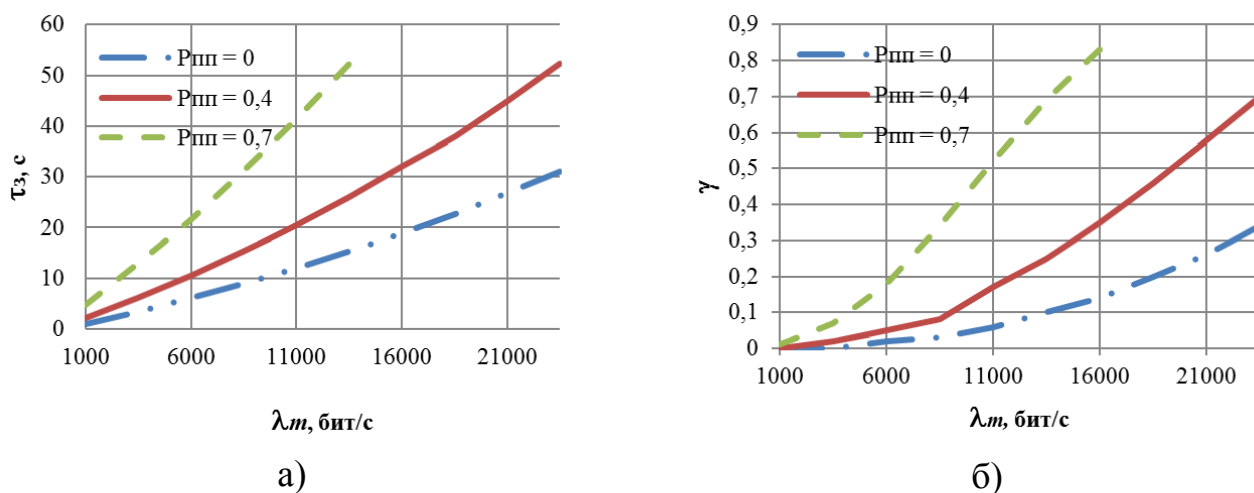


Рис. 1. Моделирование задержки сообщения (а) и информационного ущерба управлению (б) в зависимости от загрузки для различных значений вероятности воздействия преднамеренных помех

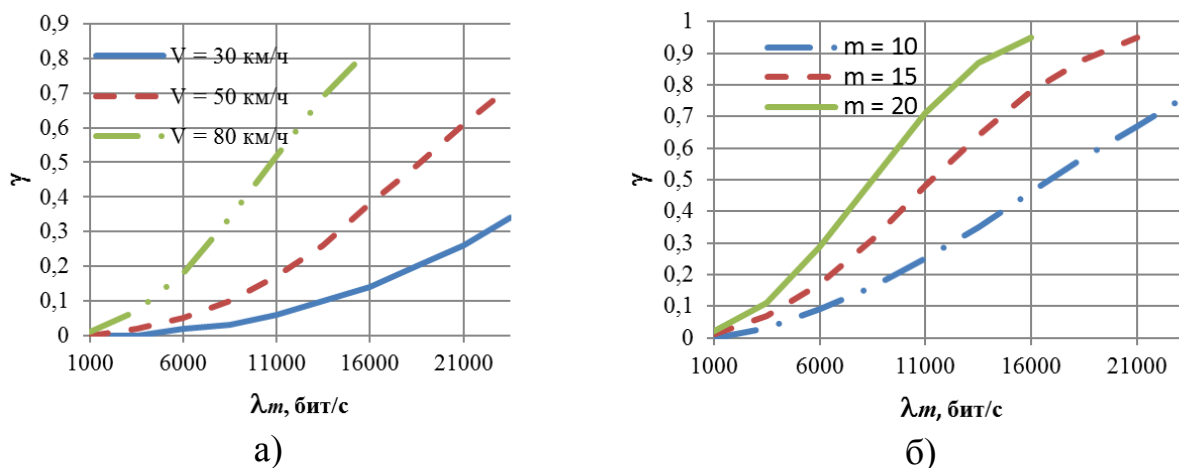


Рис. 2. Моделирование информационного ущерба управлению в зависимости от загрузки для различных скорости цели (а) и количества абонентов в сети (б)

Альтернативой (дополнением) предположительно сложному программно-техническому решению проблемы является, как было отмечено выше, использование экстраполяторов в программном обеспечении ПТК ЛБР ПУА.

Выводы

Анализ полученных результатов показывает, что внедрение новых технологических решений по построению СВРС и ее интеграции в объединенную систему связи ВС еще не решает значительного количества проблем в организации информационного обеспечения УАК при непосредственной поддержке ТВФ на поле боя. СВРС по прежнему доступны наземным и авиационным средствам радиоэлектронного подавления противника, а возможности сети по пропускной способности не соответствуют потребностям в объемах передаваемой информации для обеспечения своевременной передачи критичной к задержкам управляющей информации.

Одним из перспективных направлений совершенствования СВРС является адаптивное распределение частотно-временного ресурса сети с учетом интенсивности трафика, передаваемого по каналам управления отдельными летательными аппаратами. Практическая реализация данного подхода позволит обеспечить требуемую своевременность информационного обмена на этапе непосредственного целеуказания и наведения, и, соответственно, повысит вероятность наведения УАК на цель. При этом следует отметить, что платой за повышение эффективности боевого применения авиации является необходимость реализации сложных программных и технических решений.

Авторы статьи предлагают развивать другое, менее затратное и трудоемкое в реализации, направление совершенствования СВРС, а именно – использование потенциала глубоко проработанных в теории и широко применяемых на практике методов прогнозирования. Нетривиальность решений при этом подходе объясняется

тем, что разработка эффективных алгоритмов прогноза сопряжена с рядом сложностей. Серьезные затруднения вызывает, прежде всего, синтез алгоритмов в условиях малых выборок данных о тактической обстановке, состоянии УАК и наземной цели. Кроме этого, в силу стохастической природы временных интервалов передачи управляющих воздействий на УАК достоверно определить время прогноза не представляется возможным.

Таким образом, потребность в совершенствовании организации информационного обеспечения управления УАК с ПУА с одной стороны, и ограничения, возникающие при попытке реализации существующих подходов, с другой, дают право с уверенностью говорить об актуальности дальнейших исследований в данной области.

Библиографический список

1. Васильев В.А., Чистилин Д.А., Линник Е.А., Стафеев М.А. Модель оценки эффективности управления авиацией в интересах тактических воинских формирований в условиях воздействия преднамеренных помех // Теория и техника радиосвязи. 2016. № 2. С. 17 – 20.
2. Ивануткин А.Г., Данилин М.А., Пресняков М.Ю. Подход к выбору показателей эффективности связи и радиотехнического обеспечения полетов авиации // Труды МАИ. 2016. № 86. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=67818>
3. Васильев В.А., Данилин М.А., Мосин А.И., Стафеев М.А. Определение показателя обоснованности решения на управление авиацией, принимаемого в условиях неопределенности // Теория и техника радиосвязи. 2017. № 1. С. 79 – 82.

4. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. - М.: Машиностроение, 1985. - 96 с.
5. Васильев В.А., Федюнин П.А., Стафеев М.А., Васильев А.В. Научно-методический аппарат для оценки возможностей системы управления авиацией по информационному обеспечению процессов целеуказания и наведения // Теория и техника радиосвязи. 2018. № 4. С. 5 – 14.
6. Сыпало К.И., Кузнецов М.Н. Самонаведение аэробаллистического высокоскоростного беспилотного летательного аппарата на терминальном участке полета с учётом неопределённости его аэродинамических характеристик и влияния неконтролируемых факторов // Труды МАИ. 2011. № 48. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=27498>
7. Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Структурный анализ систем: IDEF – технологии. - М.: Финансы и статистика, 2003. - 208 с.
8. Саранцев Г.В. Теоретические и научно-методические основы обеспечения построения сложных организационно-технических систем военной связи в локальных войнах и вооруженных конфликтах: Монография. - СПб.: Военная академия связи, 2007. - 180 с.
9. Владимиров В.И. Информационные основы радиоподавления линий радиосвязи в динамике радиоэлектронного подавления. - Воронеж: ВИРЭ, 2003. - 276 с.
10. Реутов А.П., Черняков М.В., Замуруев С.Н. Автоматизированные информационные системы: методы построения и исследования. - М.: Радиотехника, 2010. - 265 с.
11. 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.

12. Степанов С.Н. Теория телетрафика: концепции, модели, приложения. - М.: Горячая линия - Телеком, 2015. - 868 с.

13. Клейнрок Л. Вычислительные сети с очередями. - М.: Мир, 1979. - 600 с.

14. Ефимов А.Н. Информация: ценность, старение, рассеяние. - М.: Изд-во Знание, 1978. - 63 с.

15. Макаренко С.И. Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях нестабильности входного трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2007. Т. 5. № 3. С. 94 - 96.

16. Крушель Е.Г., Степанченко И.В. Информационное запаздывание в цифровых системах управления: Монография. - Волгоград: ВолГТУ, 2004. - 124 с.

17. Макаренко С.И. Подавление пакетных радиосетей со случайным множественным доступом за счет дестабилизации их состояния // Журнал радиоэлектроники. 2011. № 9. С. 2.

18. Краснов А.М. Основы анализа процесса прицеливания в авиационных системах управления вооружением // Труды МАИ. 2012. № 61. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35640>

19. Назаров А.Н., Сычев К.И. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. - Красноярск: Изд-во Поликом, 2010. - 389 с.

20. 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. № 1 (7). С. 29 - 46.