

используемого оборудования, а возможность создания модулей и интеграции с внешними сервисами делает систему гибкой и масштабируемой в зависимости от конкретных задач.

#### Список используемых источников

1. Ермишян А. Г. Теоретические основы построения систем связи: Учебник. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем связи. СПб.: 2005. 740 с.
2. OpenSource проект Zabbix. URL: <http://www.zabbix.com/ru/>
3. Иванов В. Г., Панихидников С. А., Немцев Е. А. Применение геоинформационного портала военного назначения как технологической платформы военно-технического сотрудничества должностных лиц объединённых штабов ОДКБ // «Военно-техническое сотрудничество России: история и современность»: материалы работы научной конференции. 2012. СПб.: Политехника-сервис, 2013.
4. Горбунов А. А., Пономорчук А. Ю., Иванов В. Г. Использование геоинформационных систем при принятии управленческих решений в единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2015. № 2. С. 71–77.

## РАСЧЕТ СВОЕВРЕМЕННОСТИ ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЙ В СИСТЕМЕ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА

Д.А. Калмыков, С.П. Кривцов, О.П. Тевс

*В работе представлена методика расчета показателей своевременности доставки пакета в системах связи специального назначения. Методика учитывает устойчивость направлений связи (маршрутов доставки пакетов), на которые оказывают влияние дестабилизирующие факторы, в первую очередь огневое и радиоэлектронное воздействие противника.*

*Ключевые слова: вероятность своевременной доставки пакета, устойчивость, коэффициент устойчивости, направление связи, маршрут доставки пакета, узел связи, узел коммутации, линия связи.*

## THE CALCULATION TIMELINESS OF MESSAGE DELIVERY IN THE SPECIAL PURPOSE COMMUNICATION SYSTEM IN THE TERMS OF ENEMY IMPACT

Kalmykov D., Krivtsov S., Tevs O.

*The article presents the methodology of calculating package delivery timeliness package in the special purpose communication system. The method takes into account the resistance of the communication directions (routes of packages delivery), which are the influence of destabilizing factors, primarily fire and radioelectronic enemy impact.*

*Keywords: the probability of timely packages delivery, the resistance, the resistance factor, the communication direction, the route of package delivery, the node, the switching node, the communication line.*

Основным предназначением системы связи специального назначения является обеспечение своевременного обмена всеми видами сообщений в системе управления войсками и силами. Способность системы связи выполнять эту задачу определяется временем передачи сообщений  $t_{\text{пер}}$  и вероятностью своевременной передачи сообщений  $P_{\text{пер}}$  как вероятности того, что время передачи сообщения не превысит допустимого  $P (t_{\text{пер}} \leq T_{\text{пер доп}})$ .

В соответствии с тем, что в настоящее время системы связи специального назначения создаются на основе средств и комплексов связи, обеспечивающих пакетную передачу сообщений, в качестве показателя своевременной передачи сообщений предлагается использовать время  $t_{\text{дост. пак}}$  и вероятность  $P_{\text{дост. пак}}$  своевременной доставки пакета, требования к которым приведены в таблице [1].

ТАБЛИЦА. Требования к своевременности передачи сообщений

Показатель	Требования
Вероятность своевременной доставки пакета $P_{\text{дост. пак}}$	Для трафика реального времени $P_{\text{дост. пак}} \geq 0,95$ Для трафика передачи данных $P_{\text{дост. пак}} \geq 0,99$
Время доставки пакета $t_{\text{дост. пак}}$	Для трафика реального времени $t_{\text{дост. пак}} \leq 400$ мс Для трафика передачи данных $t_{\text{дост. пак}} \leq 3000$ мс

Время доставки пакета при пересылке от отправителя к получателю определяется следующим выражением [2]:

$$t_{\text{дост. пак}} = t_{\text{пк}} + t_3 + t_{\text{буф}},$$

где  $t_{\text{пк}}$  – время задержки пакетизации, определяемое временем, необходимым на выполнение операции преобразования сигнала и его пакетизацию;  $t_3$  – время задержки переноса пакета, определяемое временем прохождения пакетов по узлам коммутации (узлам связи) сети связи, которое зависит от используемых технологий и числа различных сетевых устройств, включенных в маршрут прохождения пакетов, а также от производительности (технических характеристик) устройств, осуществляющих пересылку пакетов;  $t_{\text{пк}}$  – время задержки на приемной стороне в буфере джиттера, определяемое временем работы устройств на узле получателя.

Вероятность своевременной доставки пакета определяется выражением [2]:

$$P_{\text{дост. пак}} = 1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{доп}}}{t_{\text{дост. пак}}}\right), \quad (1)$$

где  $t_{\text{доп}}$  – допустимое время доставки пакета и  $t_{\text{дост. пак}}$  – реальное (рассчитанное) время доставки пакета.

Но, рассчитав время доставки пакета, нельзя гарантировать его стопроцентную доставку. Важнейшим параметром, определяющим своевременную передачу сообщений, является устойчивость системы связи. Необходимость достижения заданного уровня устойчивости направлений связи диктуется требованиями к своевременности связи. Это объясняется непосредственной связью между показателями устойчивости системы связи и своевременности передачи сообщений – коэффициентом устойчивости направления связи  $K_{\text{уст. нс}}$  и вероятностью своевременности передачи сообщений  $P_{\text{пер}}$ . Всегда  $P_{\text{пер}} \leq K_{\text{уст. нс}}$ , так как физический смысл коэффициента устойчивости направления связи  $K_{\text{уст. нс}}$  заключается в готовности технических средств связи и образованных ими линий связи к передаче сообщений на направлении связи в любой произвольно выбранный момент времени.

Соответственно выражение (1) справедливо в том случае, когда узлы и линии связи на маршруте доставки пакета обладают абсолютной устойчивостью. В системах связи специального назначения при расчете вероятности своевременной доставки пакета следует учитывать влияние на узлы и линии связи дестабилизирующих факторов, основным из которых будет воздействие противника. Следовательно, выражение (1) примет вид:

$$P_{\text{дост. пак}} = \left[ 1 - \exp\left(-\frac{t_{\text{доп}}}{t_{\text{дост. пак}}}\right) \right] \cdot K_{\text{уст. нс}}, \quad (2)$$

Таким образом, для оценки вероятности своевременной доставки пакета необходимо первоначально рассчитать коэффициент устойчивости направления связи, по которому передается пакет.

В целом устойчивость направления связи в выражении (2) представляет собой обобщенную устойчивость всех возможных маршрутов доставки пакета, определяемых устойчивостью узлов коммутации и линий связи, входящих в маршрут доставки пакета, т. е.

$$K_{\text{уст. нс}} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - K_{\text{уст. } i}),$$

где  $K_{\text{уст. } i}$  – показатель устойчивости узлов коммутации (узлов связи) и линий связи, составляющих  $i$ -й маршрут доставки пакета, а  $N$  – количество возможных маршрутов на направлении связи между двумя конечными узлами связи (узлами коммутации).

Таким образом, маршрут доставки пакета представляет собой совокупность направлений связи. Следовательно, расчет устойчивости направления связи по маршруту доставки пакета следует проводить на основе графа сети

связи, где вершинами будут являться узлы связи (коммутации), а ребрами – линии связи их соединяющие, обеспечивающие доставку пакета:

$$K_{уст. i} = \prod_{j=1}^M K_{уст. ус_j} \cdot \prod_{k=1}^K K_{уст. лс_k},$$

где  $K_{уст. ус_j}$  – устойчивость узлов коммутации (узлов связи), входящих в  $i$ -й маршрут доставки пакета;  $M$  – количество узлов коммутации (узлов связи), входящих в  $i$ -й маршрут доставки пакета;  $K_{уст. лс_k}$  – устойчивость линий связи, соединяющих  $j$ -й и  $(j - 1)$ -й узлы коммутации, входящие в  $i$ -й маршрут доставки пакета;  $K$  – количество линий связи, соединяющих узлы коммутации, входящие в  $i$ -й маршрут доставки пакета, при этом очевидно, что  $K = M - 1$ .

Если между двумя смежными узлами связи развернуто несколько параллельных (резервных) линий связи, то их устойчивость определяется на основе выражения:

$$K_{уст. лс} = 1 - \prod_{q=1}^Q (1 - K_{уст. лс_q}),$$

где  $K_{уст. лс_q}$  – устойчивость каждой из линий связи, а  $Q$  – общее количество линий связи, соединяющих  $j$ -й и  $(j - 1)$ -й узлы коммутации, входящие в  $i$ -й маршрут доставки пакета.

Устойчивость направления связи – это интегральное свойство системы связи, определяемое, исходя из характера воздействия дестабилизирующих факторов, живучестью, помехоустойчивостью и надежностью. Основными видами воздействия на систему связи специального назначения со стороны противника будут огневое и радиоэлектронное противодействие, направленные на уничтожение или нарушение работы отдельных элементов и системы связи в целом.

Способность системы связи специального назначения противостоять воздействию противника позволит выполнить предъявляемые к ней требования по своевременной доставке сообщений.

Радиоэлектронное подавление направлено на срыв обмена информацией за счет воздействия на приемные устройства активными и пассивными радиоэлектронными помехами, что говорит о том, что помехоустойчивость определяется устойчивостью функционирования линий связи, которая зависит от помехозащищенности (доступности) линий связи средствам разведки и подавления комплекса радиоэлектронного подавления (РЭП), т. е.

$$K_{уст. лс} = K_{пз} = 1 - (1 - K_{пз}) \cdot (1 - K_{пу}), \quad (3)$$

где  $K_{пз}$  – коэффициент разведзащищенности радиолинии;  $K_{пу}$  – коэффициент устойчивости радиолинии к воздействию преднамеренных помех (коэффициент помехоустойчивости).

Коэффициент разведзащищенности радиолинии определяется энергетической доступностью излучений средств связи для обнаружения средствами разведки комплекса РЭП:

$$K_{pz} = 1 - P_{обн}, \quad (4)$$

где  $P_{обн}$  – вероятность энергетической доступности излучений средств связи для обнаружения средством разведки комплекса РЭП.

При этом вероятность энергетической доступности излучений средств связи для обнаружения средствами разведки комплекса РЭП рассчитывается как вероятность превышения излучения средства связи на входе приемника средства разведки комплекса РЭП некоторого порогового значения, определяемого чувствительностью приемника средства разведки комплекса РЭП [3]:

$$P_{обн} = \int_{P_{то}}^{\infty} w(P_{ts}) dP_{ts}, \quad (5)$$

где  $w(P_{ts})$  – плотность вероятности распределения уровня излучения средства связи  $P_{ts}$  на входе приемника средства разведки комплекса РЭП;  $P_{то}$  – уровень чувствительности приемника средства разведки комплекса РЭП.

Коэффициент устойчивости радиолинии к воздействию преднамеренных помех определяется энергетической доступностью средств связи средствам подавления комплекса РЭП:

$$K_{пy} = 1 - P_{пд}, \quad (6)$$

где  $P_{пд}$  – вероятность энергетической доступности средств связи средству подавления комплекса РЭП.

При этом вероятность энергетической доступности средств связи средствам подавления комплекса РЭП рассчитывается как вероятность превышения преднамеренной помехой, создаваемой на входе приемника средства связи средством РЭП, некоторого порогового значения, определяемого уровнем полезного сигнала и защитным отношением «сигнал/помеха» на входе приемника средства связи [3]:

$$P_{обн} = \int_{P_{rs} + Q_z}^{\infty} w(P_{rp}) dP_{rp}, \quad (7)$$

где  $w(P_{rp})$  – плотность вероятности распределения уровня помехи  $P_{rp}$ , создаваемой средством РЭП на входе приемника средства связи;  $P_{rs}$  – уровень полезного сигнала на входе приемника средства связи;  $Q_z$  – защитное отношение сигнал/помеха.

Соотношения (3)–(7) позволяют определять показатель помехозащищенности (устойчивости) линий связи для различных уровней полезных сигналов и соответствующих им дистанций связи между узлами связи в условиях воздействия преднамеренных помех.

Огневое воздействие противника и техническая надежность средств связи определяют устойчивость функционирования узлов связи (коммутации), которую предлагается рассчитывать на основе выражения:

$$K_{\text{уст. ус}} = K_{\text{ог}} \cdot P_{\text{жив}},$$

где  $K_{\text{ог}}$  – коэффициент оперативной готовности средств связи, входящих в состав узла связи (узла коммутации);  $P_{\text{жив}}$  – вероятность выживания узла связи в условиях воздействия на его элементы различных видов оружия противника (живучесть).

Живучесть узла связи рассматривается через вероятность поражения  $P_{\text{пораж } l}$  входящих в его состав  $L$  элементов (средств и комплексов связи) в случае огневого воздействия противника:

$$P_{\text{жив}} = 1 - \prod_{l=1}^L P_{\text{пораж } l}.$$

Вероятность поражения  $l$ -го элемента (средства) узла связи в случае огневого воздействия противника определяется выражением [3]:

$$P_{\text{пораж } l} = P_{\text{вскр}} \cdot P_{\text{пр. реш}} \cdot P_{\text{дост}} \cdot P_{\text{физ. пораж } l}, \quad (8)$$

где  $P_{\text{вскр}}$  – вероятность вскрытия узла связи средствами разведки противника;  $P_{\text{пр. реш}}$  – вероятность принятия решения на поражение обнаруженного и распознанного узла связи;  $P_{\text{дост}}$  – вероятность доставки носителя боеприпаса в район цели (район размещения узла связи);  $P_{\text{физ. пораж } l}$  – вероятность физического поражения цели ( $l$ -го элемента узла связи) с учетом выполнения инженерных мероприятий по защите узла связи от огневого воздействия противника.

Выражение (8) показывает, что живучесть узла связи напрямую зависит от его разведзащищенности, как способности противостоять вскрытию средствами разведки противника.

Коэффициент оперативной готовности является показателем эксплуатационной надежности средств связи, входящих в состав узла связи, и используется для прогнозирования безотказной работы средств узла связи в течение заданного промежутка времени  $\Delta t$ :

$$K_{\text{ог}} = K_{\text{гсс}} \cdot P_{\text{бо}},$$

где  $P_{\text{бо}} = \exp\left(-\frac{\Delta t}{T_0}\right)$  – вероятность безотказной работы средств связи за промежуток времени  $\Delta t$ ;  $T_0$  – наработка на отказ рассматриваемого средства связи;  $K_{\text{гсс}}$  – ко-

эффицент готовности средств узла связи к передаче информации, который зависит от наличия на узле связи свободных средств, позволяющих обеспечить информационный обмен.

Коэффициент готовности средств узла связи к передаче информации за период времени  $\Delta t$  определяется в соответствии с первой формулой Эрланга [4]:

$$K_{гсс} = 1 - \left[ \frac{(\Delta t)^L}{L!} \sum_{k=0}^L \frac{(\Delta t)^k}{k!} \right].$$

Таким образом, для оценки вероятности своевременной доставки пакета в системе связи специального назначения в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, в первую очередь противника, необходимо рассчитать устойчивость направления связи (маршрута), по которому передается пакет. Для расчета устойчивости направления связи необходимо знать устойчивость составляющих маршрут доставки пакета узлов и линий связи.

Предлагаемая методика оценки показателей своевременности доставки пакета учитывает, как внутренние параметры системы связи, которые зависят от характеристик используемого оборудования, так и от параметров внешней среды, характеризующих условия функционирования системы связи специального назначения, в том числе воздействие вероятного противника.

#### Список используемых источников

1. ОТТ 2.1.200-2010. Общие тактико-технические требования к системам военной связи. М.: 16 ЦНИИС, 2010. 41 с.
2. Гольдштейн Б. С., Соколов Н. А., Яновский Г. Г. Сети связи: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 400 с.
3. Боговик А. В., Игнатов В. В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. СПб.: ВАС, 2006. 184 с.
4. Лившиц Б. С., Пшеничников А. П., Харкевич А. Д. Теория телетрафика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Связь, 1979. 224 с.

## ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНТЕНН, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТАХ РАДИОСВЯЗИ

**Н.Я. Карасик, Н.О. Лукьянов, Б.В. Сосунов**

*Проведен расчет вероятности обеспечения связи с требуемым качеством при неизвестном азимуте корреспондента. Если считать, что азимут корреспондента неизвестен, а уровень помех на входе приемника постоянный, то отношение сигнал/шум на входе приемника будет случайной величиной, подчиняющейся нормальному закону. В статье представ-*