

$$S_{\text{узла}} = \frac{1}{6} \sum_{j=1}^6 S_j.$$

Разработанная модель предоставляет системный инструмент для количественной оценки и оптимизации устойчивости узлов связи специального назначения многонациональных группировок войск. Её ключевыми преимуществами являются: интеграция трёх основных аспектов устойчивости (живучесть, помехоустойчивость, надёжность) и возможность поиска гарантированных решений в условиях неопределённости действий противника. Модель может быть использована на этапах планирования, проектирования и оперативного управления системами связи многонациональных группировок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Боговик А.В., Игнатов В.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки. – СПб.: ВАС, 2006. – 180 с.
2. Гончаров В.Н. Сети связи специального назначения. – М.: Радио и связь, 2001. – 256 с.
3. Пенин П.И. Устойчивость систем военной связи. – М.: Воениздат, 1998. – 192 с.
4. Боговик А.В. Теория управления в системах военного назначения. – М.: Воениздат, 2004. – 320 с.
5. Северин В.А. Статистическая теория передачи дискретных сообщений. – М.: Физматлит, 2007. – 496 с.

УДК 621 391

И.В. Синкевич, адъютант; А.Г. Яценко, адъютант  
(Военная академия связи, г. Санкт-Петербург, Россия)

#### **ПРЕДЛАГАЕМЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ДОСТУПНОСТИ КАК СВОЙСТВО СИСТЕМЫ СВЯЗИ**

Система связи достаточно сложное организационно-техническое объединение сил и средств, создаваемое для обеспечения обмена сообщениями в системе управления войсками (силами). Широкий функционал данной системы обуславливает наличие множества свойств, которые, в свою очередь, должны соответствовать установленным требованиям. Такими свойствами, согласно руководящих документов, являются: боевая готовность, устойчивость, мобильность, пропускная способность, разведзащищенность, доступность и управляемость. Современный бой характеризуется высоко динамичными действиями. Когда пункты управления достаточно часто перемещаются в ходе боевых

действий, их доступность к общему ресурсу связи транспортной сети становится немаловажным фактором. Это обусловлено тем, что возможности системы управления в значительной степени зависят от способности, обеспечивающей её систему связи предоставить должностным лицам органов управления требуемый ресурс связи с заданным качеством, не только на месте, но и в движении. В связи с этим, одной из существенных характеристик системы связи – является доступность. При этом доступность можно рассматривать как способность системы связи предоставить необходимый перечень услуг должностным лицам непосредственно на пункте управления, а можно рассматривать как способность транспортной сети предоставить свой ресурс конкретному узлу связи для выполнения своих задач в ходе боевых действий. Постоянное перемещение органов и пунктов в тактическом звене управления, неопределенность их местоположения предъявляют дополнительные требования по предоставлению должностным лицам органов управления возможности доступа к ресурсу системы связи в любой точке территории (полосы обороны). Следствием этого, требование по доступности отдельных узлов связи к системе связи приобретает большую значимость.

В ряде источников, под доступностью понимается способность системы связи обеспечивать должностным лицам органов управления и оперативному составу управления различных звеньев возможность доступа к ресурсам системы связи (в частности к каналам общего пользования) при сохранении установленных приоритетов и способов установления связи [1,2,3]. К сожалению, ни в одном из них конкретно не описано, что подразумевается под словами «возможность доступа».

Если для большинства свойств системы связи физический смысл, показатели и критерии чётко определены, то с доступностью возникает проблема: отсутствует ясное понимание её физической сущности и аргументированное обоснование её количественных показателей.

Доступность системы связи зависит, от ряда факторов и прежде всего, от структуры и топологии размещения её элементов в полосе соединения, протяжённости линий доступа, физико-географических условий местности, а также наличия сил и средств связи. Для обеспечения своевременного обмена информацией обязательными должны быть следующие условия доступа [4]:

1. Пространственная доступность – возможность имеющимися средствами связи организовать линии связи привязки на определённой территории.

2. Физическая доступность – физическое сопряжение телекоммуникационного оборудования узлов связи пунктов управления с транспортной сетью связи.

3. Технологическая доступность – соответствие реализуемых технологий и протоколов телекоммуникационного оборудования на узлах связи пунктов управления и транспортной сети связи.

4. Структурная доступность – организация требуемого количества независимых маршрутов между узлами связи, для соответствующей категории информационных направлений.

5. Пропускная способность – возможность передавать и принимать по организованным маршрутам требуемый объём информации (сообщений).

И всё-таки, как сформулировать физический смысл доступности?

С учётом изложенных выше условий доступа, смысл доступности можно сформулировать как наличие физического контакта между узлом – потребителем и узлом, обеспечивающим передачу части ресурса сети транспортной сети связи.

Этот физический контакт, может быть электрическим, если оба узла находятся на месте и между ними существует связь по проводному или волоконно-оптическому кабелю. Если же между узлами существует радио (радиорелейная, спутниковая) связь, то речь может идти об электромагнитном контакте.

Таким образом, исходя из высказанных утверждений, в обобщённом случае, можно считать, что физический смысл доступности к сети – это способность системы связи обеспечить контакт с целью передачи части своего ресурса потребителю, то есть узлу связи, нуждающемуся в доступе.

Следующий вопрос, который требует конкретизации это показатели оценки качества (степени) доступности узлов связи к системе связи. Согласно ряду источников, в качестве показателей доступности приведены вероятность санкционированного доступа абонента (узла связи) к ресурсам системы связи в любом месте района боевых действий –  $P_{\text{дост}}$  и среднее время доступа в систему связи –  $T_{\text{срдост}}$ . Однако и здесь отсутствует чёткое понимание что выступает в качестве  $P_{\text{дост}}$  и  $T_{\text{срдост}}$ .

Если в качестве  $T_{\text{дост}}$  принять время, в течение которого линия связи доступа обеспечивает физический контакт с транспортной сетью связи, тогда сумма интервалов времени ( $\Delta t_i$ ), в течение которого физи-

ческая линия связи доступа обеспечивает получение необходимого ресурса, то есть исправна, будет равна  $T_{идост} = \sum_{i=1}^n \Delta t_i$ .

Следовательно, среднее время доступа будет определяться из выражения:

$$T_{срдост} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}{n},$$

где  $n$  – количество интервалов, когда линия связи доступа обеспечивает получение необходимого ресурса из транспортной сети.

Все технические и организационные меры по повышению доступности направлены на достижение одной цели: время исправной работы системы связи должно стремиться к максимально возможному значению  $T_{срдост} \rightarrow \max$ .

Вероятность санкционированного доступа к ресурсам системы связи в любом месте района боевых действий, на основании вышеуказанных утверждений предлагается оценивать как:

$$P_{дост} = 1 - (1 - P_{дост}^{ЭК})(1 - P_{дост}^{ЭМК}),$$

где  $P_{дост}^{ЭК}$  – вероятность доступности системы связи при наличии электрического контакта между узлом – потребителем и узлом доступа транспортной сети связи;

$P_{дост}^{ЭМК}$  – вероятность доступности системы связи при наличии электромагнитного контакта между узлом – потребителем и узлом доступа транспортной сети связи.

Теперь обратимся к критериям данных показателей. В отдельных источниках [5,6] критерием вероятности доступности служит выражение  $0,98 \leq P_{дост} \leq 0,98$ . Что означает эта цифра «0,98» и значению какого приоритета (согласно определению) она соответствует, к сожалению, не говорится. Нет понятия и к какому звену управления этот критерий относится.

В настоящее время определены группы важности направлений связи по устойчивости. Возможно и доступность тоже следует оценивать исходя из важности конкретных направлений связи, поскольку в настоящее время такие количественные значения отсутствуют.

С этой целью предлагается для обоснования критериальных значений показателя доступности воспользоваться обобщенной функцией (шкалой) желательности Харрингтона.

Значение вероятности доступности, по понятным причинам, должно быть равно или близко к единице. Другими словами, оно должно удовлетворять очень хорошему значению обобщенной функции

(шкалы) желательности Харрингтона. Данная функция желательности – это многоинтервальная шкала, которая используется для комплексной оценки объекта по совокупности показателей, преобразуя их в единую числовую оценку [7]. Она позволяет сравнивать объекты по разноразмерным критериям, приписывая каждому уровню соответствия определённое значение и категорию.

При определении количественного значения вероятности доступности, необходимо определить для каждой группы важности величину вероятности доступности  $P_{дост}$ , которая бы отражала степень выполнения боевых задач. Метод Харрингтона позволяет перейти от объективных, но трудно сопоставимых численных значений к субъективной, но единой для всех системе оценки «желательности». Эта шкала интерпретируется следующим образом (таблица 1).

**Таблица 1 – Шкала желательности Харрингтона**

Балл желательности (d)	Качественная интерпретация (уровень желательности)
1.00 - 0.80	Очень высокая / Отличная
0.80 - 0.63	Высокая / Хорошая
0.63 - 0.37	Средняя / Удовлетворительная
0.37 - 0.20	Низкая / Плохая
0.20 - 0.00	Очень низкая / Недопустимая

Необходимо сопоставить значения  $P_{дост}$  с этими качественными уровнями.

Для этого используется функция вида  $d = \exp[-\exp(-Y)]$ , где  $Y$  – это некоторая линейная функция от нашего показателя. Для применения шкалы необходимо установить функциональную связь между вероятностью доступности  $P_{дост}$  и баллом желательности  $d$ . Наиболее простой и наглядной является линейная зависимость:

$$d = a \times P_{дост} + b,$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые на основе граничных условий.

Определим граничные условия. Мы знаем, что для военной системы связи:

- значение  $P_{дост} = 0,98$  – это целевой, высокий показатель. Его желательность должна быть близка к «Отличной». Примем его за верхнюю границу шкалы с желательностью  $d = 0,80$ .
- также необходимо установить нижнюю границу не на нуле, а на каком-то минимально приемлемом уровне, например,  $P_{дост} = 0,70$

(ниже которого система связи не выполняет задачу) и назначить ему  $d = 0,20$ .

Строим функцию пересчета. Для простоты и наглядности мы можем использовать не экспоненциальную функцию, а линейное преобразование, которое достаточно эффективно в нашем случае.

Построим шкалу, где:

- $d = 0,20 \rightarrow P_{\text{дост}} = 0,70$  (низкий порог, система связи на грани срыва);

- $d = 0,80 \rightarrow P_{\text{дост}} = 0,98$  (целевой показатель)

Рассчитаем линейное уравнение  $d = a \times P_{\text{дост}} + b$ :

1.  $0.20 = a \times 0,70 + b$ ;

2.  $0.80 = a \times 0,98 + b$ .

Вычтем первое уравнение из второго:

$$0.60 = a \times 0,28 \rightarrow a = \frac{0,60}{0,28} \approx 2,14.$$

Подставим  $a$  в первое уравнение:

$$0.20 = 2,14 \times 0,70 + b \rightarrow 0.20 = 1,498 + b \rightarrow b = 0,20 - 1,498 \approx -1,298$$

Итоговая формула для желательности по доступности приобретает вид:

$$d_{\text{дост}} = 2,14 \times P_{\text{дост}} - 1,30.$$

Для планирования целевых показателей необходима обратная зависимость  $P_{\text{дост}} = f(d)$ . Выражаем её из итоговой формулы:

$$P_{\text{дост}} = \frac{d + 1,30}{2,14}.$$

Теперь мы можем оценить любой элемент системы (канал связи, узел) и отнести его к одной из данных категорий, которые напрямую определяют приоритет.

Требования по доступности должны предопределяться условиями, при которых линия доступа способна обеспечить передачу (приём) требуемого объёма информации (сообщений) на заданном направлении связи. В связи с этим, при обосновании требований по доступности её необходимо увязать с объёмом передаваемой информации (сообщений) за среднее время доступа  $T_{\text{срдост}}$ .

На практике объём фактически переданных сообщений  $V_{факт}$  может быть ниже требуемого  $V_{треб}$  из-за помех, загруженности или применении упрощённых режимов работы.

Таким образом, предлагается ввести зависимость  $P_{дост}$  от объёма переданных сообщений  $V$  и соответствующую ему качественную шкалу.

На основании руководящих документов, объём переданной информации (сообщений) увязывается с качеством управления и устанавливается качественная шкала соответствия, представленная в таблице 2, которая увязывает зависимость  $V$  со степенью выполнения задач управления войсками.

**Таблица 2 – Качественная оценка объёма передаваемой информации (сообщений)**

Балл желательности ( $d_c$ )	Качественная оценка	Объём передаваемых сообщений ( $V, \%$ )	Степень обеспечения управления
0,90	Отлично	$\geq 80$	В полном объеме
0,70	Хорошо	$\geq 60$	Затруднено
0,50	Удовлетворительно	$\geq 40$	Нарушено
$< 0,37$	Плохо	$< 40$	На грани срыва
$< 0,20$	Недопустимо	$< 20$	Сорвано

Таким образом, реальная доступность системы связи характеризуется двумя независимыми параметрами: её вероятностью доступности ( $P_{дост}$ ) и зависимостью вероятностей доступности от объёма переданных сообщений ( $V$ ).

Эффективность системы связи предлагается оценивать композитным показателем желательности  $D$ , являющимся средним геометрическим частных показателей по доступности  $d_{дост}$  и объёму передаваемой информации (сообщений)  $d_c$ :

$$D = \sqrt{d_{дост} \cdot d_c},$$

где  $d_{дост}$  – желательность по доступности, рассчитанная по формуле  $d_{дост} = 2,14 \times P_{дост} - 1,30$  на основе вероятностей доступности;

$d_c$  – желательность по объёму передаваемой информации (сообщений), назначается согласно таблице 2.

Данный подход отражает принцип компенсации: при деградации одного параметра для сохранения общего качества системы должен быть повышен другой.

Для каждой группы важности устанавливается нормативное (целевое) значение композитного показателя желательности  $D$ , которое система должна обеспечивать.

Первый приоритет –  $D^1 = 0,90$  (отличное общее качество).

Второй приоритет –  $D^2 = 0,70$  (хорошее общее качество);

Третий приоритет –  $D^3 = 0,50$  (удовлетворительное качество).

Принципиальным для планирования является нормальный режим работы системы связи, когда линия доступа обеспечивает передачу не менее 80% требуемого объёма информации (сообщений) и управление войсками «в полном объёме». В этом случае  $d_c$  принимается равным нормативному баллу желательности для данной группы ( $d_c = 0,9$ , качественная оценка «Отлично»).

Из выражения  $D = \sqrt{d_{доct} \cdot d_c}$  следует, что для достижения композитного показателя желательности  $D$  необходимо обеспечить  $d_{доct}$ , также равное этому баллу. Следовательно, базовые требования к вероятности доступности рассчитываются непосредственно по формуле  $P_{доct} = \frac{d + 1,30}{2,14}$  для нормативных баллов желательности, установленных для каждой группы.

Аналогично производится расчет вероятностей доступности для второго и третьего приоритетов.

На основе рассчитанных значений композитного показателя желательности  $D$  в таблице 3 приведены полученные результаты вероятностей доступности  $P_{доct}$  для различных групп важности направлений связи.

**Таблица 3 – Требования к вероятности доступности  $P_{доct}$  по группе важности направлений связи**

Приоритет (группа важности)	Балл желательности	Качественная оценка	Требуемая вероятность доступности ( $P_{доct}$ )
первый	0,90	Отлично	$\geq 0,98$
второй	0,70	Хорошо	$\geq 0,93$
третий	0,50	Удовлетворительное	$\geq 0,84$

*Примечание.* Баллы желательности 0.90, 0.70 и 0.50 не были взяты из какой-то конкретной формулы или внешнего источника, а определены как средние значения качественных зон. Их выбор является нормативно-экспертным решением, ос-

нованным на логике шкалы Харрингтона и оперативных требованиях к группам важности.

Поскольку, шкала делится на качественные зоны, необходимо сопоставить три группы важности с этими зонами так, чтобы между ними был четкий и логичный интервал.

- Зона «Отличная» (0.80 – 1.00): самые важные (критичные) элементы системы.
- Зона «Хорошая» (0.63 – 0.80): важные, но не критичные элементы.
- Зона «Удовлетворительная» (0.37 – 0.63): элементы стандартной важности.

Таким образом, в настоящей статье сделана попытка определить физический смысл доступности системы связи; уточнить показатели доступности  $T_{срдост}$  и  $P_{дост}$  и обосновать требования к  $P_{дост}$  для различных групп важности направлений связи с использованием обобщенной функции (шкалы) желательности Харрингтона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наставление по связи в соединениях и воинских частях Сухопутных войск. М.: Воениздат, 2019. 296 с.
2. Основы организации связи в сухопутных войсках. Часть 3. Основы организации связи в частях и подразделениях общевойсковых соединений / Под ред. В.В. Панкина. – СПб.: ВУС, 2003 г. 312 с.
3. Основы организации связи. Учебник / Под общ. ред. Ю.А. Пирогова – СПб.: ВАС, 2007. 540 с.
4. Смирнов И.Ю. Доступность телекоммуникационных ресурсов операторов связи сетей общего пользования для корпоративной системы управления // В сборнике: состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Информационная безопасность». Сборник статей III Всероссийской научно-технической конференции. – Анапа, 2021. С. 635-642.
5. Крухмалев В.В., Гордиенко В.Н., Моченов А.Д. и др. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. Учебник для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2004. 510 с.
6. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учебное пособие для вузов. Изд. 3-е. М.: Высшая школа, 2000. 480 с.
7. Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Изд. 2-е. М.: Наука, 1976. 280 с.