

*Николай Александрович Масесов (канд. техн. наук)*

*Леонид Александрович Бондаренко*

*Екатерина Александровна Ефанова*

*Олег Игоревич Садыков*

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев, Украина*

## ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Одной из самых востребованных и громких проблем в телекоммуникационных сетях является разработка методологических основ оценки живучести иерархических телекоммуникационных систем при их разрушении и восстановлении. В статье отражены взгляды авторов на внедрение в практику работы органов управления связью проведения расчетов функциональных характеристик, которые позволяют определить качество работы системы связи. Предложен из перспективных методов штабной модели проведения расчетов живучести системы связи на основе расчетов показателей связности системы, который позволит решить проблему обеспечения живучести телекоммуникационных сетей, что также связан с достоверностью и точностью передаваемой информации, количеством возможных реконфигураций сети, а также способностью продолжения функционирования сети при получении разрушений.

**Ключевые слова:** живучесть; надежность; функциональная живучесть; структурная живучесть; устойчивость.

### Вступ

Оценка живучести телекоммуникационных сетей военного назначения является составной частью деятельности органов управления связью (ОУС) при планировании связи на операцию (бой). Исследование живучести сложных технических систем, которыми являются телекоммуникационные сети военного назначения, невозможно без количественной оценки показателей живучести.

**Постановка проблемы.** Разнообразие телекоммуникационных сетей, процессов их разрушения и восстановления делают проблему разработки методологических основ оценки живучести иерархических телекоммуникационных систем крайне востребованной при проведении оперативных расчетов ОУС.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В публикациях [1-3] под живучестью сети понимаются различные свойства систем и сетей связи, характеризующие их устойчивость к отказам элементов.

В [4] под живучестью системы связи понимается “устойчивость системы связи к повреждению элементов стихийными факторами и преднамеренными воздействиями противника”.

В [5] под живучестью понимается “свойство системы связи сохранять и восстанавливать способность к выполнению основных функций в заданном объеме и в течение заданной наработки при изменении структуры системы и (или) алгоритмов и условий ее функционирования вследствие неблагоприятных воздействий”.

Живучесть характеризует устойчивость сети связи против действия причин, лежащих вне сети и приводящих к разрушениям или значительным повреждениям некоторых её частей. Живучесть – свойство сети сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях, создаваемых воздействием внешних дестабилизирующих

факторов [6].

И, наконец, в [7] дано определение живучести применительно к системе военной связи: “Способность системы военной связи обеспечивать управление войсками или силами и оружием в условиях воздействия оружия противника”.

При анализе вышеприведенных определений обратим внимание на следующее. Во-первых, живучесть рассматривается применительно к сложным техническим системам, в том числе и сетям связи. Во-вторых, живучесть рассматривается как внутреннее свойство системы, которым она обладает независимо от условий применения и проявляется только при воздействии внешних дестабилизирующих факторов (ВДФ), в том числе и поражающих факторов (ПФ) оружия. И, наконец, в-третьих, живучесть определяется как свойство сложной системы сохранять (восстанавливать) способность к выполнению основных функций.

**Целью статьи** является выработка наиболее приемлемых и эффективных подходов к оценке живучести телекоммуникационных сетей военного назначения при проведении оперативных расчетов ОУС.

### Изложение основного материала исследования

Опираясь на анализ литературы [1-8] сформулируем понятия “надежности” и “живучести” с целью определения их различий.

Оба понятия связаны с работоспособностью телекоммуникационной системы во времени, т.е. с выполнением заданных функций в установленном объеме на требуемом уровне качества в течение определённого периода эксплуатации или в произвольный момент. Различия этих понятий обусловлены, прежде всего, различиями причин или факторов, нарушающих нормальное функционирование системы, и характером

нарушений.

**Надёжность** телекоммуникационных систем [8] есть их свойство обеспечивать обмен информацией, сохраняя во времени значения установленных показателей качества в заданных условиях эксплуатации. Она отражает влияние на работоспособность системы главным образом внутрисистемного фактора – случайных отказов техники и программного обеспечения, вызываемых процессами старения элементов аппаратуры, дефектами технологии её изготовления или ошибками обслуживающего персонала.

**Живучесть** [1-7] характеризует устойчивость системы связи против действия причин, лежащих вне системы и приводящих к разрушениям, значительным повреждениям или временной потере работоспособности всей сети или некоторой части её элементов – узлов и линий связи. Следовательно, под живучестью следует понимать свойство сети сохранять способность выполнять требуемые функции в условиях, создаваемых воздействием ВДФ.

В силу небольших перерывов связи из-за случайных отказов многие связи могут обходиться без резервирования. С учётом же аспекта живучести без резерва не обойтись, так как обслуживаемые процессы управления, как правило, не допускают столь длительного отсутствия связи.

Случайные отказы характерны для отдельных устройств, линий или каналов связи. При этом отказ одного технического устройства на узле связи обычно не вызывает отказов других устройств, а тем более целого элемента или всего узла связи. Исключение составляют общие коммутаторы, маршрутизаторы, системы электропитания и др. Поэтому при расчёте надёжности системы или сети связи отказы её структурных элементов, не имеющих общих устройств, считаются взаимнезависимыми.

Поражающие факторы могут выводить из строя одновременно несколько элементов узла, и даже системы. Так, если воздействию ВДФ подвергается узел связи, то могут оставаться не пораженными лишь его вынесенные элементы. Поскольку аппаратура систем передачи обычно размещается в составе ядра узла связи, при поражении узла с большой вероятностью выйдут из строя подходящие к нему кабельные линии связи. Соответственно могут быть нарушены все связи, осуществляемые данным узлом. В период массированного артиллерийского или ядерного удара противника взаимная зависимость событий-поражений распространяется на все элементы системы. Естественно, что эти особенности нельзя не учитывать при расчёте живучести систем и сетей связи.

Следует иметь в виду и неодинаковую степень погрешности исходных данных для оценки надёжности и живучести систем. Если по эксплуатационно-техническим отказам техники и линий связи имеется достаточный статистический материал, позволяющий с достаточно высокой степенью точности производить расчеты надёжности сетей, то прогнозирование

воздействия на сети ВДФ весьма проблематично, а следовательно оценка живучести сети (системы) связи может быть лишь ориентировочной и ограничиваться штабной моделью оценки.

Таким образом, надёжность и живучесть – различные и самостоятельные понятия, требующие своих решений при планировании и оценке сетей военной связи.

В зависимости от класса систем, их сложности, степени организованности, а также от выбранного уровня анализа состояние телекоммуникационной сети возможно оценивать по наиболее общему свойству отражающему влияние всех факторов, приводящих к отказам – показателю устойчивости.

Под устойчивостью телекоммуникационных сетей следует понимать их способность выполнять свои функции в сложной, резко меняющейся обстановке в условиях помех и массированного воздействия противника. Как правило, устойчивость является интегральным свойством, определяемым живучестью, помехоустойчивостью и надёжностью, под которыми понимается способность сети функционировать в условиях воздействия всех видов оружия (огневого, радиоэлектронного, информационного) и технических отказов, сохраняя в установленных пределах значения всех качественных показателей [9, 11].

В зависимости от условий функционирования телекоммуникационных сетей, при воздействии ВДФ, можно выделить следующие свойства:

структура – свойство системы, обусловленное наличием совокупности элементов и устойчивой взаимосвязью между ними;

стойкость элементов к воздействию ВДФ – свойство элементов, обеспечивающее их стойкость к воздействию поражающих факторов;

восстанавливаемость – свойство системы, обусловленное возможностью устранения повреждений и восстановления её работоспособности;

управляемость – свойство системы, обеспечивающее сохранение требуемого уровня работоспособности за счет управления маршрутизацией обмена информацией между абонентами сети или ее реконфигурации;

разведзащищенность – свойство системы, обеспечивающее невозможность идентификации ее элементов средствами разведки противника.

Перечисленные выше свойства обуславливают соответствующие показатели живучести телекоммуникационных сетей, такие как:

функциональная живучесть – свойство системы сохранять требуемый уровень работоспособности за счет принятого алгоритма управления маршрутизацией обмена информацией между абонентами системы или ее реконфигурации;

техническая живучесть – свойство системы сохранять выполнение своих функций за счет восстановления работоспособности ее элементов;

элементная живучесть – свойство элементов телекоммуникационных сетей, характеризующее их стойкость к воздействию поражающих факторов и способность восстанавливать работоспособность;

Отметим, что набор перечисленных свойств не

является замкнутым, его можно расширить или сузить, а проведение количественной оценки живучести телекоммуникационных сетей военного назначения может определяться исходя из системы взглядов и наличия ресурсов при планировании операции (боя).

По определению телекоммуникационная сеть предназначена для доставки любой информации между терминальными комплексами и банками данных в заданном сочетании [9]. Телекоммуникационная сеть это динамическая система как по структуре (топологические характеристики могут получать положительные или отрицательные приращения), так и по потокам, которые нестабильны по интенсивности, случайны по местам зарождения и погашения.

Важной задачей оценки степени живучести системы является выбор критериев и показателей живучести.

Основными критериями живучести являются: критерий соответствия сети заданным показателям качества и оценки степени ее функциональности;

критерий оценки эффективности реконфигурации и оптимального перераспределения ресурсов, а также динамики восстановления функциональных возможностей после сбоя;

критерий, характеризующий изменение производительности и скорости передачи информации в сети при выполнении различных действий в условиях деградации сетевых ресурсов;

критерий связности сети, характеризующий процесс удаления всех ребер, присоединенных к некоторому узлу, изолируя его и прерывая все пути к другим узлам (при представлении сети связи в виде ориентированного графа).

Основными показателями живучести являются [4]:

показатель вероятности сохранения системой состояния восстановления в течение заданного времени;

показатель неуязвимости; условный закон непоражения, характеризующий “динамику” сохранения системой состояния работоспособности при количестве воздействий на систему;

условный закон неуязвимости структуры, характеризующий “динамику” сохранения системой состояния работоспособности при последовательном удалении ее элементов;

число воздействий, при котором система теряет состояние способности;

среднее число изъятых из структуры элементов, при котором она теряет состояние работоспособности.

Системы военной связи относятся к корпоративным сетям, в которых, в отличие от глобальных сетей, допускается административное управление качеством и набором предоставляемых услуг. Такое ограничение позволяет ввести ограничения при проведении оперативных расчетов живучести корпоративных сетей связи и принять за основу решение задач, связанных с анализом структурной живучести – задачам

оценки связности топологической структуры в зависимости от понятия “разрушение”.

Для облегчения разработки методов оценки живучести множество сетей связи условно разбиваются на два класса – двухполюсные (однозвенные) и многополюсные (многозвенные)[10]. Понятие двухполюсной сети целесообразно использовать в случае необходимости оценки живучести связи на информационном направлении, т.е. между определённой парой полюсов многополюсной системы связи.

Для потребителей (должностных лиц ПУ), использующих сеть военной связи, предоставляемые линии связи, как правило, всегда являются многозвенными (составными). Причем состав отдельных звеньев этих линий зависит от выбранных маршрутов прохождения информации по сети.

В силу открытости доступа к среде распространения сигналов, а следовательно подверженности влиянию ВДФ, наиболее слабым звеном в системе связи являются радиолинии. (радио, радиорелейные, тропосферные, широкополосного доступа и спутниковые)

За базовую характеристику развед- и помехозащищенности в условиях РЭБ целесообразно принять устойчивость однозвенной линии, трактуемую как ее способность обеспечить своевременную и достоверную передачу информации при всех видах воздействий [11]. Например, обобщенный показатель устойчивости однозвенной радиолинии связи имеет вид:

$$K_{\text{вЛС}} = K_{\text{жРЛ}} \times K_{\text{ПУ}} \times P_{\text{тн}}; \quad (1)$$

где  $P_{\text{тн}}$  - техническая надежность радиолинии;

$K_{\text{жРЛ}} = (1 - P_{\text{опРЭС1}}) \times (1 - P_{\text{опРЭС2}})$  – живучесть радиолинии, трактуемая как вероятность сохранения работоспособности (выживания) радиосредств, входящих в линию, в условиях РЭБ;

$P_{\text{опРЭС1}}$  и  $P_{\text{опРЭС2}}$  – вероятность огневого поражения РЭС, входящих в радиолинию, разведывательно-ударными комплексами или высокоточным оружием;

$K_{\text{ПУ}}$  – помехоустойчивость однозвенной радиолинии.

В современных средствах военной связи на этапах проектирования закладываются довольно жесткие требования по технической надежности. В соответствии с этим в задачах оценки устойчивости линий военной связи в условиях РЭБ вполне допустимо считать вероятность безотказной работы аппаратуры за время операции (боя)  $P_{\text{тн}} = 1$ .

В данном случае устойчивость однозвенной радиолинии будет определяться в основном ее живучестью и помехоустойчивостью:

$$K_{\text{вРЛ}} = K_{\text{жРЛ}} \times K_{\text{ПУ}}; \quad (2)$$

Если считать выходы из строя звеньев линий связи в условиях РЭБ независимыми событиями, то устойчивость многозвенной линии может быть найдена из выражения:

$$K_{\text{вЛС}}(N) = \prod_{i=1}^N K_{\text{вРЛ}i}, \quad (3)$$

где  $N$ - количество звеньев радиолинии.

Устойчивость многозвенной линии должна рассчитываться как вероятность сохранения

работоспособности одновременно  $N$  звеньев, составляющих данную линию:

$$K_{vLC}(N) = P\{K_{vRL1} \geq K_{vRL1доп}, K_{vRL2} \geq K_{vRL2доп}, \dots, K_{vRLN} \geq K_{vRLNдоп}\} \quad (4)$$

При этом, очевидно, выражение (3) может служить нижней (гарантированной) оценкой устойчивости многозвенной (составной) линии военной связи.

Как следует из (2) и (3) основой расчета устойчивости линий военной связи является расчет показателей помехоустойчивости и живучести отдельных звеньев этих линий.

Методики расчета показателей помехозащищенности различных типов средств и линий военной связи от радиоэлектронного подавления (РЭП) должны разрабатываться как самостоятельные приложения к оперативным расчетам.

Как следует из (1) для оценки живучести линий военной связи необходимо рассчитать вероятность огневого поражения технических средств, входящих в их состав. Для проведения таких расчетов прежде всего необходимы характеристики, отражающие боевые возможности средств поражения и модель, отражающая динамику обнаружения, выбора и оперативного поражения целей.

#### Оценка живучести сетей военной связи по вероятности связности.

Телекоммуникационную сеть, при ее исследовании, возможно представить в виде графа, вершинами которого являются узлы коммутации, а ребрами – каналы связи. Такое представление сети позволяет при исследовании живучести применять в качестве математического аппарата теорию графов [12].

При определении вероятности связности сети предполагается, что в сети имеются избыточные (по сравнению с деревом) ребра, допускающие их разрыв. Любые повреждения древовидной сети приводят к потере связности и её живучесть становится равной нулю. Но анализ атак на сети показывает, что сети продолжают функционировать, даже если они распались на фрагменты. Задача данной оценки заключается в том, чтобы установить, как меняется вероятность связности при увеличении размера узлов сети, имеющей одинаковое число избыточных ребер при равной вероятности рабочего состояния или разрыва ребер, и, наоборот, как меняется вероятность связности в сети постоянного размера при увеличении в ней числа избыточных ребер. Данная задача требует разработки программы, с помощью которой можно менять исходные данные: размер и структуру сетей, вероятности рабочего состояния или разрыва ребер и исследовать динамику вероятности связности [13].

Алгоритм решения данной задачи позволяет графически вывести на дисплей терминала топологию сети, сформировать неприведенное уравнение связности, определить числовые коэффициенты членов приведенного полинома. Интерфейс программы выводит граф сети, определяет полином связности, строит таблицу результатов и рисует графики связности для каждой из сетей [12, 13].

С увеличением размера узлов сети при одинаковом числе избыточных ребер и равной вероятности живучести вероятность связности уменьшается в диапазоне  $0 \leq p \leq 1$ . При любом (но постоянном) числе избыточных ребер и одинаковой вероятности  $p$  увеличение узлов приводит к уменьшению  $P_c$  и снижению её прочности. Верхнюю границу  $P_c$  дает сеть, имеющая топологию “треугольник”.

Число членов полинома связности на единицу больше числа избыточных ребер и не зависит от размера сети [12,13]. Последовательное их прибавление приводит к росту числа членов полиномов связности, увеличению значений  $P_c$  при одинаковых  $p$ . С увеличением числа избыточных ребер при одинаковом размере сети вероятности связности возрастают.

#### Расчет показателей связности информационного направления.

Под информационным направлением (направлением связи) следует понимать пару корреспондирующих друг с другом узлов связи пунктов управления, например УС ОКП ОК – УС ОКП мбр, УС ЗКП ОК – УС ОКП мбр и т. д. [7].

Для организации доставки информации в том или ином информационном направлении обычно задействуется часть ресурса сети связи, которая либо закрепляется за данным направлением на определенный этап проведения операции, либо представляется по требованию абонентов узлов связи данного направления.

Для повышения устойчивости информационного направления передача информации между УС ПУ обычно осуществляется по нескольким, как правило, независимым маршрутам с использованием различных родов связи. Таким образом, с точки зрения структуры каждое информационное направление может быть представлено совокупностью информационных цепей (маршрутов передачи информации). Под информационным маршрутом в данном случае понимается путь прохождения информации от  $i$ -го УС ПУ к  $j$ -му УС ПУ.

При графоаналитическом описании сети связи маршрутом прохождения информации называется упорядоченная последовательность ребер, начинающееся в  $i$ -й вершине (УС ПУ $_i$ ), заканчивающееся в  $j$ -й вершине (УС ПУ $_j$ ) и не проходящая дважды через один и тот же узел, причем конец каждого предыдущего ребра в промежуточном, для данного пути узле, совпадает с началом последующего [11]. Причем установления таких путей для корреспондирующих пар узлов связи ПУ называют маршрутизацией. Рангом пути  $R_{ij}$  называют число ребер, организующих этот путь. Минимальный ранг пути равен 1, максимальный  $R_{ijmax} = N - 1$ , когда путь проходит через все узлы.

В общем случае информационный маршрут для ориентированного графа сети обладает свойством направленности. Однако, поскольку каналы сетей связи в основном являются каналами дуплексными, то и соответствующий маршрут прохождения информации можно рассматривать

как двухсторонний (ненаправленный). В этом случае вместо термина информационный маршрут часто используют понятие информационная цепь [11]. В свою очередь каждая информационная цепь представляет собой фактически многозвенную линию передачи, моделью которой может служить последовательное соединение однородных или разнородных однозвенных линий связи. Тогда основным показателем качества доставки информации по информационной цепи может служить устойчивость информационной цепи, трактуемая как вероятность своевременной достоверной передачи информации  $i$ -го УС ПУ к  $j$ -му УС ПУ.

Для расчета устойчивости информационной цепи при этом могут быть использованы выражения (3) или (4).

Для оценки качества информационного направления могут быть использованы различные показатели и критерии.

Так, если использовать известное в теории сетей понятие связности, определяемое как количество независимых путей между парами узлов, то показателем качества информационного направления может быть выбрана вероятность наличия  $m$  независимых информационных цепей между  $ij$ -ми корреспондирующими УС ПУ, устойчивость которых в условиях ВДФ соответствует заданным требованиям.

Требования к связности информационного направления должны, прежде всего, задаваться исходя из реализуемой на нем пропускной способности.

При передаче дискретных сообщений требуемая пропускная способность отдельной  $i$ -й информационной цепи на направлении связи определяется выражением [11]:

$$C_i \geq v_i \{1 + p_{оши} \log p_{оши} + (1 - p_{оши}) \log(1 - p_{оши})\}, \quad (5)$$

где  $v_i$  – техническая скорость передачи информации по  $i$ -й информационной цепи, определенная при ее планировании;

$p_{оши}$  – допустимая вероятность ошибки в передаче одного бита информации по  $i$ -й цепи.

Если в одной и той же информационной цепи предполагается одновременная передача сообщений нескольких типов ( $L$ ) с различными требованиями к достоверности, то пропускная способность определяется по формуле:

$$C_i \geq \sum_{l=1}^L v_{il} [1 + p_{ошиl} \log p_{ошиl} + (1 - p_{ошиl}) \log(1 - p_{ошиl})], \quad (6)$$

где  $v_{il}$  и  $p_{ошиl}$  – требуемые техническая скорость передачи и вероятность ошибки для сообщений  $i$ -го типа, передаваемым по информационной цепи.

Тогда требуемую пропускную способность  $k$ -го направления связи можно определить из соотношения:

$$C_k \geq \sum_{i=1}^M C_i, \quad (7)$$

где  $M$  – число независимых информационных цепей на  $k$ -м информационном направлении.

При использовании на направлении связи информационных цепей с одинаковой пропускной способностью, минимально требуемое их количество может быть определено по формуле:

$$m_{\min} \geq \frac{C_k}{C_{ik}} \quad (8)$$

Воздействие на линии военной связи средств радиоэлектронного и огневого поражения противника приводит к снижению устойчивости информационных цепей, а следовательно и качества передачи информации.

Число информационных цепей  $k_n(t)$ , пригодных для обеспечения связи в этом случае, может рассматриваться как случайная величина

Процесс  $k_n(t)$  представляет собой результат сложения взаимно не зависимых потоков разрушений звеньев сетей, обусловленных огнем поражением или радиоэлектронным подавлением РЭС, входящих в состав информационных цепей, а также потока восстановления, путем замены выведенных из строя звеньев резервными или включении помехозащищенных режимов работы РЭС. Поэтому он может рассматриваться как многомерный процесс рождения и гибели, каждая компонента которого является однородной бинарной марковской цепью со средним значением и корреляционной функцией, определяемыми из выражений [11]:

$$\bar{k} = \frac{\mu_k - \lambda_k}{2(\mu_k + \lambda_k)} + \frac{1}{2}; \quad (9)$$

$$V_{kk}(\tau) = \frac{\mu_k \lambda_k}{\mu_k + \lambda_k} \times \exp [ -(\mu_k + \lambda_k)\tau ]; \quad (10)$$

где  $\lambda_k$  интенсивность потока перехода  $k$ -й информационной цепи в неработоспособное состояние из-за огневого или радиоэлектронного поражения ее звеньев;

$\mu_k$  интенсивность потока переходов  $k$ -й информационной цепи в работоспособное состояние за счет включения резервных РЭС или перевода их в режимы помехозащиты.

Вероятность стационарного состояния такой марковской цепи имеет вид:

$$P_k = \frac{\mu_k}{\mu_k + \lambda_k}, \quad (11)$$

$$P_r = \frac{\binom{\lambda}{r}}{r!}, \forall r = 1, k, \quad (12)$$

и выражает коэффициент готовности  $k$ -й информационной цепи. При этом вероятность  $r$ -го стационарного состояния информационного направления в целом можно определить с помощью выражений (11),(12), где  $\lambda = \sum_{k=1}^m \lambda_k$  и  $\mu = \sum_{k=1}^m \mu_k$  – суммарная интенсивность потоков отказов и восстановлений на информационном направлении, состоящем из  $k$  независимых информационных цепей.

С учетом выражений (9) - (12) коэффициент связности информационного направления, определяемый как вероятность того, что на данном направлении окажутся неработоспособными не более  $x = m - m_{\min}$  информационных цепей, может выражено формулой [11]:

$$K_{\text{св ин}} \leq \frac{\sum_{r=0}^{m-m_{\min}} \frac{\binom{\lambda}{r}}{r!}}{\sum_{r=0}^m \frac{\binom{\lambda}{r}}{r!}}, \quad (13)$$

где  $m_{\min}$  – минимально требуемое число информационных цепей на направлении связи, определяемое из выражения (8).

За показатель эффективности направления связи может быть принята вероятность сохранения в работоспособном состоянии не менее  $Q$  из  $M$  запланированных информационных цепей на данном направлении [11]:

$$K_{\text{св ин}} = P \left\{ m \geq \frac{Q}{M} \right\} \quad (14)$$

$$K_{\text{св нс}} = \sum_{i=Q}^M C_M^i \prod_{j=1}^i K_{ej} \prod_{j=1}^{M-i} (1 - K_{yj}), \quad (15)$$

$$K_{\text{св мин}} = 1 - \prod_{j=1}^M (1 - K_{yj}) \quad (16)$$

В частном случае из (15) может быть вычислена минимальная связность информационного направления, как вероятность сохранения на нем хотя бы одной информационной цепи.

### Выводы и перспективы дальнейших исследований

Используя предложенный метод расчета живучести телекоммуникационных сетей по показателю связности представляется возможным

#### Литература

1. Коробов А.А., Шевчук Ю. Б. Надежность сетей передачи данных / А. А. Коробов, Ю. Б Шевчук. Вычислительные сети. – М.: Наука – 1981. – 165 -199 с.
2. Нечепуренко М. И. Модели структурного резервирования систем / Прикладные задачи на графах и сетях. Новосибирск: Мат-лы Всесоюзн. совещания – 1981. – 57-86 с.
3. Дудник Б. Я. Овчаренко В. Ф., Орлов В. К. и др. Надежность и живучесть систем связи./ Б. Я Дудник, В. Ф Овчаренко, В. К. Орлов и др. – М.: Радио и связь, –1984. –215 с.
4. Попков В. К. Математические модели живучести сетей связи. – Новосибирск: СО АН СССР. 1990. –235 с.
5. Черкесов Г. Н. Методы и модели оценки живучести сложных систем. — М.: Знание, —1987. —55 с.
6. Нетес В.А. Надежность сетей связи в период перехода к NGN. М : – Вестник связи, №9. 2007. – 4-5 с.
7. ДСТУ В3265 – 95 Зв'язок військовий. Терміни та визначення. Чинний від 1997 – 01 – 01 Державний

производить оперативные расчеты при выработке решения по организации связи на операцию с использованием пространственно-топологических моделей сетей связи.

Основными исходными данными для расчета являются пространственно-топологические модели сетей связи и систем противодействия, под которыми в данном случае понимаются:

варианты структур сетей связи;

типы используемых радиоэлектронных средств для реализации сети, координаты их размещения и основные тактико-технические характеристики;

предполагаемая структура системы радиоэлектронной борьбы противника;

типы используемых противником средств огневого поражения, радиоэлектронного подавления, их тактико-технические характеристики и предполагаемые координаты размещения.

Методики оценки помехоустойчивости радиоэлектронных средств, а также воздействие систем огневого поражения противника на систему связи должны стать предметами отдельных исследований.

- стандарт України, С.23
8. Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи/ Г.Б. Давыдов, В.Н. Рогинский, А.Я. Толчан. – М.: Связь, 1977. – 360 с.
  9. Додонов А.Г. Живучесть информационных систем. А.Г Додонов, Д.В. Ландэ. – Киев.: Наук. думка, 2011. – 256с.
  10. Шмалько А.В. Цифровые сети связи: основы планирования и построения. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 434с.
  11. Боговик А.В. Эффективность систем военной связи и методы ее оценки / А.В. Боковик, В.В. Игнатов, СПб.: ВАС. 2006. –. 182 с.
  12. Птицын Г.А. Живучесть телекоммуникационных сетей. Учебное пособие под ред. Петракова А.В. – М.: МУТСИ. 2009. –96 с.
  13. Громов Ю.Ю. Синтез и анализ живучести сетевых систем: монография / Ю.Ю. Громов, В.О. Драчев, К.А. Набатов,– М. : Машиностроение-1, 2007. – 152. – 400 с.
  14. Стекольников Ю.И. Живучесть систем.– СПб: – Политехника, 2002. – 152 с.

## ОЦІНКА ЖИВУЧОСТІ ІЄРАРХІЧНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Леонід Олександрович Бондаренко

Микола Олександрович Масесов (канд. техн. наук, с.н.с.)

Катерина Олександрівна Єфанова

Олег Ігорович Садиков

### Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, Україна

Однією з найпопулярніших і важливих проблем у телекомунікаційних мережах є розробка методологічних основ оцінки життєвості ієрархічних телекомунікаційних систем при їх руйнуванні та відновленні. В статті відображені погляди авторів на впровадження в практику роботи органів управління зв'язком проведення розрахунків функціональних характеристик, які дозволяють визначити якість роботи системи зв'язку. А також запропоновано один із перспективних методів штатної моделі проведення розрахунків живучості системи зв'язку на основі розрахунків показників зв'язку системи, що дозволить вирішити проблему забезпечення живучості телекомунікаційних мереж, що пов'язано з достовірністю та точністю передаваної інформації, кількістю можливих реконфігурацій мережі, а також здатністю продовження функціонування мережі при отриманні руйнувань.

**Ключові слова:** живучість; надійність; функціональна живучість; структурна живучість; стійкість.

**EVALUATION OF LIVING HIERARCHICAL TELECOMMUNICATION NETWORKS OF MILITARY PURPOSE**

**Leonid A. Bondarenko**

*Nikolay A. Masesov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow)*

**Kateryna A. Efanova**

**Oleg I. Sadykov**

**Military Institute of Telecommunications and Informatization, Kyiv, Ukraine**

*One of the most demanded and loud problems in telecommunication networks is the development of methodological bases for evaluating the survivability of hierarchical telecommunication systems when they are destroyed and restored. The article reflects the views of the authors on the introduction into practice of the work of the management bodies of the communication of the performance of calculations of functional characteristics, which allow to determine the quality of the communication system. Also, one of the promising methods of a staff model for calculating the survivability of a communication system based on the calculations of system connectivity indicators is proposed, which will solve the problem of ensuring the survivability of telecommunication networks, which is also related to the reliability and accuracy of the information transmitted, the number of possible network reconfigurations, as well as the ability to continue functioning of the network in the event of destruction.*

**Keywords:** survivability; overnature; functional vitality; structured vitality; stickiness.

**References**

- 1. Korobov A.A.,** Shevchuk U.B. (1981) Reliability of data transmission networks. Computing networks. [Nadezhnost' setey peredachi dannykh] **2. Nechepurenko M.** (1981) Models of structural redundancy of systems / Application tasks on graphs and networks [Model strukturnogo rezervirovaniya sistem] Novosibirsk 57-86 p. **3. Dudnik B.,** Owcharenko V., Orlov K. Reliability and survivability of communication systems (1984) [Nadegnost i givyches system svaythy] Moskow 215p. **4. Popkov V.K.** (1990) Mathematical models of survivability of communication networks. [Mathematichnaay model zhivuchest setey svaythy] **5. Cherkaso G.N.,**(1987) \ Methods and models for estimating the survivability of complex systems [Metody i modely othinky zhivuchesti sloznyh system] Moskow., 55 p. **6. Netes V.A.** (2007) Reliability of communication networks during the transition to NGN [Nadegnost setey svaythy v period perehoda k NGN ]. Moskow N9 – 4-5 p. Access mode: www.president.gov.ua. **7. DSTU V3265 – 95** svaythok viyskoviy Terminy I Viznachenay (1997) – 23p **8. Davidov G.B.,** Roginskiy W.N., Tolchan **9. Dodonov A.H.** (2011) The vitality of information systems [givyches informatsiynih system].. – Kiev.: – 256 c. **10. Shmalko A.S.** (2001) Digital communication networks: the fundamentals of planning and construction. [THifrovie sety svaythy: osnovy planirovaniya postroeniya] Moskow. – 434p. **11. Bogovik A.V.** (2006) The effectiveness of military communications systems and methods for its evaluation [Effectivnost system voennoy svaythy I metody othinky]SPb,.–. 182 p. **12. Ptithen G.A.** (2009) Survivability of telecommunication networks [Zhivuchest telecommunicatiy nih setey] Moskow. –96 p. **13. Gromov U.** (2007). Synthesis and analysis of the survivability of network systems: monograph [Sintez i analiz zhivuchesti seteyekh sistem] Moskow. –400 p. **14. Stecolnikov U.** (2002) Survivability of systems [Zhivuchest' sistem] – 152 p.