



Общероссийский математический портал

А. А. Зацаринный, Н. Г. Буроменский, А. И. Гаранин, Метод формирования системы показателей живучести информационно-телекоммуникационных сетей, *Системы и средства информ.*, 2014, том 24, выпуск 1, 138–152

DOI: 10.14357/08696527140109

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением  
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 3.135.213.212

15 октября 2024 г., 17:19:46



## МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

*А. А. Зацаринный<sup>1</sup>, Н. Г. Буроменский<sup>2</sup>, А. И. Гаранин<sup>3</sup>*

**Аннотация:** Для объективного исследования свойств живучести информационно-телекоммуникационных сетей (ИТС) как сложных технических систем необходима количественная оценка этих свойств. При этом каждое свойство ИТС должно иметь количественную характеристику, которая определяется соответствующим показателем живучести. Для количественной характеристики полного перечня свойств ИТС необходимо сформировать систему показателей живучести. В статье предложены методические подходы к формированию системы показателей живучести ИТС, основанные на анализе условий их применения, оценке факторов, влияющих на живучесть системы, и определении свойств, которыми должна обладать система для выполнения требуемых функций. Для определения таких свойств рассматривается некоторая конфликтная ситуация, в которой две противоборствующие группировки решают задачи достижения предпочтительных для каждой из них состояний. Принято, что приоритетной задачей конфликтующей стороны является выведение из строя ИТС, функционирующей в составе критически важной информационной инфраструктуры в условиях преднамеренных поражающих действий. При этом никаких ограничений на применяемые средства поражения не накладывается. Выполнен анализ факторов, влияющих на живучесть системы, определены свойства живучести ИТС. Для определения количественных характеристик свойств живучести введено вероятностное пространство и на его основе предложены единичные и комплексные показатели живучести. Даны рекомендации по использованию единичных и комплексных показателей при проектировании, производстве и эксплуатации ИТС.

**Ключевые слова:** информационно-телекоммуникационные сети; условия эксплуатации; поражающие факторы; случайная величина; свойства; живучесть; показатели живучести

**DOI:** 10.14357/08696527140109

### 1 Введение

Задача разработки показателей живучести является составной частью методологии анализа и синтеза живучести сложных технических систем, в том числе и ИТС [1–15]. Это объясняется тем, что объективное исследование живучести

<sup>1</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, azatsarinny@ipiran.ru

<sup>2</sup>Филиал ФГКУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, г. Мытищи, buromienskii@mail.ru

<sup>3</sup>Институт проблем информатики Российской академии наук, algaranin@mail.ru

сложных технических систем невозможно без количественной оценки показателей живучести. Разнообразие ИТС, процессов их разрушения и восстановления делают проблему разработки методических основ формирования показателей живучести крайне востребованной.

В упомянутых выше публикациях предлагается большое число показателей живучести сложных систем. При этом в некоторых работах [6, 7, 16] дается достаточно содержательная классификация свойств и показателей живучести. Однако методики определения показателей в приведенных работах не в полной мере учитывают влияние на живучесть ИТС условий применения объекта исследования. Именно этим и объясняется большое число показателей живучести и отсутствие какой-либо взаимосвязи между ними. Рассмотрим кратко эволюцию понятия «живучесть» применительно к различным системам.

В большинстве публикаций [2, 3, 5] под живучестью сети понимаются различные свойства систем и сетей связи, характеризующие их устойчивость к отказам элементов.

В [7] под живучестью системы связи понимается «устойчивость системы связи к повреждению элементов стихийными факторами и преднамеренными воздействиями противника».

В [10, 11, 13–15] под живучестью (катастрофоустойчивостью) системы понимается «способность системы сохранять критически важные информационные и программные ресурсы и продолжать выполнение своих функций в условиях деградации архитектуры системы в результате стихийных бедствий, техногенных аварий и катастроф, целенаправленного воздействия людей».

В [1] «под живучестью системы понимается ее способность длительное время, с учетом вероятностей состояний системы, при которых она еще остается работоспособной, сохранять свои характеристики и обеспечивать выполнение своих функций при определенных методах и условиях ее эксплуатации».

В [6] 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».

И, наконец, в [12] дано определение живучести применительно к системе военной связи: «Способность системы военной связи обеспечивать управление войсками, силами и оружием в условиях воздействия обычного и ядерного оружия противника».

При анализе вышеприведенных определений обратим внимание на следующее. Во-первых, живучесть рассматривается применительно к сложным техническим системам [1, 6, 10, 13], системам и сетям связи [4, 5, 7, 8]. Во-вторых, живучесть рассматривается как внутреннее свойство системы, которым она обладает независимо от условий применения и проявляется только при воздействии неблагоприятных внешних факторов (НВ) и поражающих факторов (ПФ) оружия. И, наконец, в-третьих, живучесть определяется как свойство сложной системы сохранять (восстанавливать) способность к выполнению основных функций.

С учетом вышеизложенного живучесть ИТС определим как свойство, обеспечивающее ее устойчивость к неблагоприятным внешним воздействиям, факторам обычного и специального оружия, а также способность полного или минимально необходимого восстановления основных функций в заданных условиях применения.

В статье предлагаются методические подходы к определению показателей живучести ИТС.

## 2 Основные факторы, влияющие на устойчивость функционирования информационно-телекоммуникационных сетей

Повреждения и разрушения ИТС происходят в результате воздействия ПФ обычного, специального оружия и НВ. Под обычным оружием будем понимать средства поражения (СРП), применяющие различные виды боеприпасов в обычном снаряжении.

К специальному оружию относится ядерное оружие и так называемое оружие функционального воздействия на ИТС, осуществляемого с использованием мощных импульсов электромагнитных излучений (ИЭИ).

Ядерное оружие представляет собой наиболее разрушительный вид оружия с широким набором ПФ, основными из которых являются воздушная ударная волна, световое излучение, проникающая радиация и радиоактивное заражение местности [17–19].

Что касается оружия функционального воздействия, то ПФ являются интенсивность поля излучения на элементах ИТС и спектральный состав потока излучения. Импульсы электромагнитных излучений оказывают комплексное воздействие на ИТС за счет высокой проникающей способности через антенно-фидерные устройства. Это вызывает различные функциональные повреждения в радиоприемных, радиопередающих устройствах и в системе электроснабжения.

Формализуем условия применения (УП) ИТС. Для этого введем следующие обозначения:

$e_0 \in E_0$  — множество внешних воздействующих факторов (ВВФ);

$e_{\text{ПФ}} \in E_{\text{ПФ}}$  — множество ПФ.

Тогда  $E = E_0 \cup E_{\text{ПФ}}$  — условия применения ИТС.

Далее в работе рассматриваются УП, связанные только с воздействием ПФ, т. е.  $e_{\text{ПФ}}, e_{\text{ПФ}} \in E_{\text{ПФ}}$ .

## 3 Основные свойства информационно-телекоммуникационных сетей

Наиболее общим свойством системы связи, отражающим влияние всех факторов, приводящих к отказам системы, является устойчивость.

Устойчивость — свойство системы связи, заключающееся в ее способности осуществлять своевременную передачу информации в необходимом объеме и с качеством, не хуже заданного при определенных условиях функционирования.

В зависимости от условий функционирования ИТС можно выделить следующие свойства:

- структура — свойство системы, обусловленное наличием совокупности элементов и устойчивой взаимосвязью между ними;
- стойкость элементов к ПФ — свойство элементов, обеспечивающее их стойкость к воздействию ПФ;
- восстанавливаемость — свойство системы, обусловленное возможностью устранения повреждений и восстановления ее 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.

На рисунке приведена классификация (дерево) свойств, определяющих живучесть ИТС.

Живучесть ИТС	Структура
	Стойкость элементов к ПФ
	Восстанавливаемость
	Управляемость
	Разведзащищенность

Классификация (дерево) свойств, определяющих живучесть ИТС

Перечисленные выше свойства обуславливают соответствующие единичные показатели живучести ИТС.

Структурная живучесть — свойство системы сохранять выполнение своих функций хотя бы на минимально допустимом уровне в течение требуемого времени при пассивном противодействии повреждениям элементов системы.

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 ИТС, характеризующее их стойкость к воздействию ПФ и способность восстанавливать работоспособность.

Разведзащищенность в данном случае также является одним из единичных свойств живучести ИТС.

Отметим, что набор свойств, представленных на рисунке, не является замкнутым, его можно расширить или сузить. Это определяется системой взглядов (принципов) на обеспечение живучести ИТС.

#### 4 Пространство элементарных событий

Под пространством элементарных событий в данном случае понимается совокупность случайных событий, определяющих устойчивость функционирования ИТС в условиях применения.

Основой для построения пространства элементарных событий и системы показателей живучести ИТС является приведенное выше дерево свойств и их возможные варианты проявления в УП.

Предлагаемый подход базируется на стремлении совместить субъективные представления о живучести ИТС с достаточной степенью объективности ее оценки.

Для оценки живучести, а соответственно, и своевременности предоставления требуемых услуг пользователю предлагаются следующие стохастические параметры:

1. Случайная величина (СВ)  $\xi_{\text{жив}}(e, t)$ , характеризующая состояние работоспособности ИТС, которое отождествляется с живучестью, в качестве возможных элементарных событий принимает одно из трех значений:
  - (а) «ИТС находится в исправном состоянии», если в процессе информационного обмена, начавшегося в момент  $t$  и протекающего в условиях  $e$ ,  $e \in E$ , ИТС обеспечивает пользователю возможность решения всех задач по управлению объектами группировки;
  - (б) «ИТС находится в неисправном, но работоспособном состоянии», если для информационного обмена, начавшегося в момент  $t$  в условиях  $e$ ,  $e \in E$ , ИТС имеет повреждения и/или находится в состоянии восстановления при быстрой реакции системы технического обеспечения (СТО) ИТС и пользователю обеспечивается ограниченная (на уровне не ниже минимально допустимого) возможность решения задач по управлению объектами группировки;
  - (в) «ИТС находится в неработоспособном состоянии», если для информационного обмена, начавшегося в момент  $t$  в условиях  $e$ ,  $e \in E$ , ИТС имеет повреждения, не позволяющие пользователю решать задачи по управлению объектами, даже на минимально допустимом уровне с учетом возможностей СТО ИТС по ее восстановлению.

Необходимо подчеркнуть, что если элементы ИТС имеют скрытые дефекты и в реальности система функционирует ненормально вследствие наличия скрытых дефектов (возможен, например, «сбой в работе оконечных устройств»), но пользователь не подозревает о сбоях в работе, все равно такое состояние ИТС будем относить к значению «ИТС находится в исправном состоянии».

2. Случайная величина  $\xi_{\text{стр}}(e, t)$ , характеризующая влияние структуры на живучесть (структурная живучесть) ИТС в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,

$t \in T_{\Pi}$ , при ограничениях на восстановление и живучесть элементов, принимает одно из трех значений:

- (а) «Структурная живучесть ИТС высокая», если в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , обеспечивается связность системы на уровне, достаточном для решения всех задач по управлению объектами группировки;
- (б) «Структурная живучесть ИТС допустимого уровня», если в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , обеспечивается связность на уровне, обеспечивающем решение минимально необходимого объема задач по управлению объектами группировки;
- (в) «Структурная живучесть ИТС низкая», если в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , связность системы не обеспечивает решение задач даже в минимально необходимом объеме.

3. Случайная величина  $\xi_{гж}(e, t)$ , характеризующая восстановление работоспособности ИТС (техническая живучесть), принимает одно из трех значений:

- (а) «Обеспечивается восстановление ИТС при быстрой реакции СТО ИТС», если время  $\tau$  устранения повреждений, начавшегося в момент  $t$ , не превышает  $\tau_{зад}$  и  $\xi_{жив}(e, t) = \text{«ИТС находится в исправном состоянии»}$ ;
- (б) «Обеспечивается восстановление ИТС при медленной реакции СТО ИТС», если  $t_{в} \leq t_{в доп}$  (где  $t_{в доп}$  — допустимое время восстановления) и  $\xi_{жив}(e, t) = \text{«ИТС находится в неисправном, но работоспособном состоянии»}$ ;
- (в) «Восстановление ИТС не обеспечивается», если  $t_{в} > t_{в доп}$  при медленной реакции СТО ИТС и  $\xi_{жив}(e, t) = \text{«ИТС находится в неработоспособном состоянии»}$ .

При этом быстрая реакция СТО ИТС означает на практике устранение повреждений ИТС за установленное время. Восстановление при медленной реакции СТО ИТС означает устранение повреждений ИТС за минимально допустимое время, при превышении которого может возникнуть угроза невыполнения поставленной задачи. Методические вопросы построения СТО ИТС, обеспечивающие восстановление элементов системы за требуемое время, приведены в работе [20].

4. Для оценки функциональной живучести ИТС предлагается стохастический параметр  $\xi_{фж}(e, t)$ . Случайная величина  $\xi_{фж}(e, t)$  характеризует степень управляемости ИТС и принимает одно из трех значений:

- (а) «Обеспечивается управление ИТС при быстрой реакции АСУ», если время  $t_y$  предоставления пользователю услуг в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , в УП  $e$ ,  $e \in E$ , не превышает заданного,  $t_y \leq t_{y зад}$ , и  $\xi_{жив}(e, t) = \text{«ИТС находится в исправном состоянии»}$ ;
- (б) «Обеспечивается управление ИТС при медленной реакции АСУ», если время  $t_y$  предоставления пользователю услуг не превышает заданного,

- $t_y \leq t_{y \text{ зад м}}$  (где  $t_{y \text{ зад м}}$  и  $t_{y \text{ зад б}}$  — задаваемые ограничения на время предоставления АСУ услуг — верхняя и нижняя границы), несмотря на то что  $\xi_{\text{жив}}(e, t) = \langle \text{ИТС находится в неисправном состоянии} \rangle$ ;
- (в) «Управление ИТС не обеспечивается»,  $\xi_{\text{жив}} = \langle \text{ИТС находится в неисправном состоянии} \rangle$ .
5. Случайная величина  $\xi_{\text{эж}}(e, t)$  — характеризует живучесть элемента ИТС и принимает одно из следующих значений:
- (а) «Элементарная живучесть высокая», если за время  $t, t \geq T_{\text{бд}}$ , в условиях  $e, e \in E$ , обеспечивается стойкость к воздействию ПФ;
- (б) «Элементарная живучесть на допустимом уровне», если за время  $t, t \geq T_{\text{п}}$ , в условиях  $e, e \in E$ , стойкость элементов к ПФ обеспечивается на допустимом уровне;
- (в) «Элементарная живучесть не обеспечивается», если за время  $t, t \geq T_{\text{п}}$ , в условиях  $e, e \in E$ , стойкость элементов к ПФ не обеспечивается.
6. Случайная величина  $\xi_{\text{рзв}}(e, t)$ , характеризующая разведзащищенность ИТС, принимает одно из трех значений:
- (а) «Разведзащищенность элементов ИТС обеспечивается», если за время  $t, t \geq T_{\text{бд}}$ , в условиях  $e, e \in E$ , средствами разведки противника не могут быть идентифицированы элементы СВС;
- (б) «Разведзащищенность элементов ИТС на допустимом уровне», если за время  $t, t \geq T_{\text{бд}}$ , в УП  $e, e \in E$ , средствами разведки противника идентифицировано допустимое число элементов ИТС;
- (в) «Разведзащищенность элементов ИТС не обеспечивается», если за время  $t, t \geq T_{\text{бд}}$ , в УБП  $e, e \in E$ , средствами разведки противника идентифицировано число элементов ИТС больше допустимого.

При необходимости учета других факторов, влияющих на живучесть ИТС, например за счет безопасности связи, вероятностное пространство живучести ИТС может быть расширено и представлено в виде

$$\xi_{\text{бс}}(e, t) = \varphi(\xi_{\text{вир}}(e, t), \xi_{\text{умышл}}(e, t)),$$

где  $\xi_{\text{бс}}(e, t)$ ,  $\xi_{\text{вир}}(e, t)$  и  $\xi_{\text{умышл}}(e, t)$  — случайные величины, характеризующие соответственно безопасность связи, наличие или отсутствие скрытых вирусных искажений, умышленные действия противника по искажению информации;  $\varphi$  — неизвестная функция.

Аналогичным образом пространство элементарных событий для введенных параметров может быть сужено. К примеру, для  $\xi_{\text{тж}}(e, t)$  возможно оставить вместо трех событий два: «Обеспечивается восстановление ИТС» (объединяющее первые два) и «Восстановление ИТС не обеспечивается».



Все множество случайных величин, характеризующих живучесть ИТС, разделим на три подмножества, дающих возможность оценить в целом уровень ее живучести.

Живучесть ИТС предлагается характеризовать стохастическим параметром  $\xi_{\text{жив}}(e, t)$ :

- **«Живучесть ИТС высокая»**, если:
  - $\xi_{\text{стр}}(e, t) = \text{«Структурная живучесть ИТС высокая»}$ ;
  - $\xi_{\text{тж}}(e, t) = \text{«Обеспечивается восстановление ИТС при быстрой реакции СТО ИТС»}$ ;
  - $\xi_{\text{эж}}(e, t) = \text{«Живучесть элементов ИТС высокая»}$ ;
  - $\xi_{\text{фж}}(e, t) = \text{«Обеспечивается управление ИТС при быстрой реакции АСУ»}$ ;
  - $\xi_{\text{рзв}}(e, t) = \text{«Разведзащищенность высокая»}$ ;
- **«Живучесть ИТС допустимого уровня»**, если:
  - $\xi_{\text{стр}}(e, t) = \text{«Структурная живучесть ИТС допустимого уровня»}$ ;
  - $\xi_{\text{тж}}(e, t) = \text{«Обеспечивается восстановление работоспособности ИТС при медленной реакции СТО»}$ ;
  - $\xi_{\text{эж}}(e, t) = \text{«Живучесть элементов ИТС на допустимом уровне»}$ ;
  - $\xi_{\text{фж}}(e, t) = \text{«Обеспечивается управление ИТС при медленной реакции АСУ»}$ ;
  - $\xi_{\text{рзв}}(e, t) = \text{«Разведзащищенность на допустимом уровне»}$ ;
- **«Живучесть ИТС низкого уровня»**, если:
  - $\xi_{\text{стр}}(e, t) = \text{«Структурная живучесть ИТС низкая»}$ ;
  - $\xi_{\text{тж}}(e, t) = \text{«Восстановление ИТС не обеспечивается»}$ ;
  - $\xi_{\text{эж}}(e, t) = \text{«Живучесть элементов ИТС низкая»}$ ;
  - $\xi_{\text{фж}}(e, t) = \text{«Управление ИТС не обеспечивается»}$ ;
  - $\xi_{\text{рзв}}(e, t) = \text{«Разведзащищенность на низком уровне»}$ ;
- **«Живучесть ИТС сомнительного уровня»** при всех остальных сочетаниях параметров  $\xi_{\text{стр}}(e, t)$ ,  $\xi_{\text{тж}}(e, t)$ ,  $\xi_{\text{эж}}(e, t)$ ,  $\xi_{\text{фж}}(e, t)$  и  $\xi_{\text{рзв}}(e, t)$ .

## 5 Система показателей живучести информационно-телекоммуникационных систем

На основе разработанного выше вероятностного пространства предложим систему показателей живучести ИТС.

Пусть каждое из приведенных выше свойств в УП проявляется случайным образом. Такое предположение вполне естественно и не требует пояснений.

Тогда СВ  $\xi_{\text{жив}}(e, t)$ , характеризующую способность ИТС обеспечивать управление объектами группировки в УП, представим в виде множества, включающего следующие элементарные события:

$$\xi_{\text{жив}}(e, t) = \{\xi_{\text{стр}}(e, t), \xi_{\text{тж}}(e, t), \xi_{\text{эж}}(e, t), \xi_{\text{фж}}(e, t), \xi_{\text{рзв}}(e, t)\}, \quad (1)$$

где  $\xi_{\text{стр}}(e, t)$  — СВ, характеризующая влияние структуры на живучесть ИТС в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ ;  $\xi_{\text{тж}}(e, t)$  — СВ, характеризующая восстановление работоспособности ИТС;  $\xi_{\text{эж}}(e, t)$  — СВ, характеризующая живучесть элемента ИТС;  $\xi_{\text{фж}}(e, t)$  — СВ, характеризующая степень управляемости ИТС;  $\xi_{\text{рзв}}(e, t)$  — СВ, характеризующая разведзащищенность ИТС.

На основе полученного вероятностного пространства предложим систему показателей живучести ИТС. Формирование системы показателей произведем с использованием следующих методических положений.

Введем вероятностное пространство  $(Q, S, P)$ , где  $Q$  — конечное пространство элементарных событий, введенное выше;  $S$  — класс всех подмножеств множества  $Q$ , удовлетворяющий свойствам  $\sigma$ -алгебры для сформированного пространства СВ;  $P$  — вероятностная мера на пространстве элементарных событий. При этом, поскольку  $\Omega = (\omega_k)$  конечно, достаточно установить отображение  $\omega_k \rightarrow p_k = P(\omega_k)$  такое, что  $p_k \geq 0$  и  $\sum_k p_k = 1$ . Такое соответствие предлагается

на основе формализации процессов обеспечения живучести ИТС путем применения предельной теоремы для регенерирующих процессов и использования результатов анализа одно- и многолинейных систем массового обслуживания [4]. Выделим при этом систему единичных и комплексных показателей.

Под единичными показателями будем понимать вероятность свершения каждого элементарного события рассмотренного выше пространства.

$P_{\text{стр}}(e, t)$  — вероятность того, что в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , обеспечивается работоспособность ИТС на уровне, достаточном для решения требуемого объема задач по управлению объектами оборонного и народнохозяйственного назначения без учета восстановления (вероятность того, что  $\xi_{\text{стр}}(e, t) = \text{«Структурная живучесть высокая»}$ ).

$\tilde{P}_{\text{стр.д}}(e, t)$  — вероятность того, что в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , обеспечивается работоспособность ИТС на уровне, позволяющем решать минимально необходимый (допустимый) объем задач по управлению объектами оборонного и народнохозяйственного назначения (вероятность того, что  $\xi_{\text{стр}}(e, t) = \text{«Структурная живучесть ИТС на допустимом уровне»}$ ).

$\bar{P}_{\text{стр.н}}(e, t)$  — вероятность того, что работоспособность ИТС не обеспечивает решения задач по управлению объектами оборонного и народнохозяйственного назначения даже на минимально допустимом уровне в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$  (вероятность того, что «Структурная живучесть ИТС низкая»).

$P_{\text{жф}}(e, t)$  — вероятность того, что время предоставления услуг должностному лицу для обеспечения управления объектами оборонного и народнохозяйственного назначения в УП  $e$ ,  $e \in E$ , не превысит заданного  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$  (вероятность того, что  $\xi_{\text{упр}}(e, t) = \text{«Обеспечивается управление ИТС при быстрой реакции АСУ»}$ ).

$\tilde{P}_{\text{уф}}(e, t)$  — вероятность того, что время предоставления должностному лицу услуг для решения задач управления объектами оборонного и народнохозяйствен-

ного назначения в УП  $e, e \in E$ , не превышает допустимого  $t, t \in T_{\Pi}$  (вероятность того, что  $\xi_{\text{фж}}^c(e, t) = \text{«Обеспечивается автоматизированное управление ИТС при медленной реакции АСУ»}$ ).

$\bar{P}_{\text{фж}}(e, t)$  — вероятность того, что время предоставления должностному лицу услуг не обеспечивает управление объектами оборонного и народнохозяйственного назначения в УП  $e, e \in E$ , в течение времени  $t, t \in T_{\Pi}$  (вероятность того, что  $\xi_{\text{упр}}(e, t) = \text{«Автоматизированное управление системой не обеспечивается»}$ ).

$P_{\text{тж}}(e, t)$  — вероятность того, что время восстановления заданного уровня работоспособности ИТС системой технического обеспечения ИТС за установленное время  $t_{\text{в}}$  в УП  $e, e \in E$ , не превышает допустимого  $t_{\text{доп}}$  (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Обеспечивается восстановление работоспособности ИТС при быстрой реакции СТО ИТС»}$ ).

$\tilde{P}_{\text{тж}}(e, t)$  — вероятность того, что время восстановления  $t_{\text{в}}$  работоспособности ИТС системой технического обеспечения ИТС превышает допустимое, но меньше  $T_{\Pi}$  в УП  $e, e \in E$  (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Обеспечивается восстановление работоспособности ИТС при медленной реакции СТО ИТС»}$ ).

$\bar{P}_{\text{тж}}(e, t)$  — вероятность того, что время восстановления работоспособности ИТС в УП  $e, e \in E$ , превышает время  $T_{\Pi}$  (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Восстановление ИТС не обеспечивается»}$ ).

$P_{\text{рзв}}(e, t)$  — вероятность того, что средствами обнаружения и разведки противника в УБП  $e, e \in E$ , в течение времени  $t, t \in T_{\text{бд}}$ , не будут идентифицированы элементы СВС (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Разведзащищенность СВС обеспечивается»}$ ).

$\tilde{P}_{\text{рзв}}(e, t)$  — вероятность того, что средствами обнаружения и разведки противника в УБП  $e, e \in E$ , в течение времени  $t, t \in T_{\text{бд}}$ , число вскрытых элементов СВС будет на допустимом уровне (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Разведзащищенность СВС на допустимом уровне»}$ ).

$\bar{P}_{\text{рзв}}(e, t)$  — вероятность того, что число вскрытых средствами обнаружения и разведки противника элементов СВС УБП  $e, e \in E$ , в течение времени  $t, t \in T_{\text{бд}}$ , превысит допустимое значение (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Разведзащищенность СВС не обеспечивается»}$ ).

Дифференциальное выражение показателей живучести ИТС представляет собой распределение вероятностей состояний ИТС и имеет вид:

$$\{(P_{\text{стр}}(e, t), \tilde{P}_{\text{стр}}(e, t), \bar{P}_{\text{стр}}(e, t)); (P_{\text{фж}}(e, t), \tilde{P}_{\text{фж}}(e, t), \bar{P}_{\text{фж}}(e, t)); \\ (P_{\text{тж}}(e, t), \tilde{P}_{\text{тж}}(e, t), \bar{P}_{\text{тж}}(e, t)); (P_{\text{эж}}(e, t), \tilde{P}_{\text{эж}}(e, t), \bar{P}_{\text{эж}}(e, t)); \\ (P_{\text{рзв}}(e, t), \tilde{P}_{\text{рзв}}(e, t), \bar{P}_{\text{рзв}}(e, t))\}.$$

Интегральная оценка показателей живучести представляет собой распределение мер живучести по обобщенным состояниям ИТС:

$$P_{\text{жив}}(e, t) = \{P_{\text{жив.в}}(e, t), P_{\text{жив.д}}(e, t), P_{\text{жив.н}}(e, t)\},$$

которая отражает распределение живучести ИТС при решении задач по управлению объектами группировки в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ . Здесь:

$P_{\text{жив.в}}(e, t)$  — вероятность того, что ИТС способна обеспечить пользователю в любой момент  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , все предусмотренные услуги по управлению объектами группировки в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$  (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Живучесть ИТС высокая»}$ );

$P_{\text{жив.д}}(e, t)$  — вероятность того, что система способна выполнять задачи по управлению объектами группировки в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$ , на минимально допустимом уровне (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Живучесть ИТС на допустимом уровне»}$ );

$P_{\text{жив.н}}(e, t)$  — вероятность того, что система не обеспечивает выполнение задач по управлению объектами группировки в УП  $e$ ,  $e \in E$ , в течение времени  $t$ ,  $t \in T_{\Pi}$  (вероятность того, что  $\xi(e, t) = \text{«Живучесть ИТС низкая»}$ ).

Таким образом, построено пространство элементарных событий и предложена система показателей для оценки и анализа живучести ИТС.

Введение дифференциального и интегрального выражений для комплексной оценки живучести ИТС обусловлено наличием различных способов дальнейшего применения, разрабатываемых методов оценки живучести. Так, для более глубокого представления о различных свойствах ИТС, выбора менее дорогостоящих путей повышения живучести, а также выявления узких мест при применении ИТС целесообразно использовать дифференциальное выражение показателей живучести. В то же время, если предстоит сравнение нескольких ИТС или предлагаемых (реализованных) способов защиты, то зачастую только интегральные выражения показателей позволяют сделать окончательный выбор.

## 6 Заключение

В работе проведен анализ факторов, влияющих на живучесть системы. Проведена классификация основных свойств ИТС. Разработан метод формирования показателей живучести ИТС с учетом влияния условий применения ИТС.

Предложен методический подход к формированию системы показателей живучести ИТС, основанный на анализе условий их применения, оценке факторов, влияющих на живучесть системы, и определении свойств, которыми должна обладать система для выполнения требуемых функций.

Для определения количественных характеристик свойств живучести предложены единичные и комплексные показатели живучести. Даны рекомендации по использованию единичных и комплексных показателей при проектировании, производстве и эксплуатации ИТС.

## Литература

1. *Кративин В. Ф.* О теории живучести сложных систем. — М.: Наука, 1978. 247 с.
2. *Коробов А. А., Шевчук Ю. Б.* Надежность сетей передачи данных // Вычислительные сети. — М.: Наука, 1981. С. 165–199.
3. *Нечепуренко М. И.* Модели структурного резервирования систем // Прикладные задачи на графах и сетях: Мат-лы Всесоюзн. совещания — Новосибирск, 1981. С. 57–86.
4. *Щербина Л. П.* Основы теории сетей военной связи. — Л.: ВАС, 1983. 65 с.
5. *Дудник Б. Я., Овчаренко В. Ф., Орлов В. К. и др.* Надежность и живучесть систем связи. — М.: Радио и связь, 1984. 215 с.
6. *Черкесов Г. Н.* Методы и модели оценки живучести сложных систем. — М.: Знание, 1987. 55 с.
7. *Попков В. К.* Математические модели живучести сетей связи. — Новосибирск: СО АН СССР, 1990. 235 с.
8. *Буроменский Н. Г.* О моделировании живучести систем связи военного назначения. — Мытищи: 16 ЦНИИИ МО РФ, 1996. Научно-технический сборник № 4. С. 8–13.
9. *Буроменский Н. Г.* Детерминированные характеристики живучести систем связи военного назначения. — Мытищи: 16 ЦНИИИ МО РФ, 1996. Научно-технический сборник № 4. С. 23–27.
10. *Будзко В. И., Беленков В. Г., Кейер П. А.* К выбору варианта построения катастрофоустойчивых информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики, 2003. Вып. 13. С. 16–40.
11. *Будзко В. И., Соловьев А. Н., Киселев Э. В.* Вопросы защиты от угроз со стороны обслуживающего персонала в катастрофоустойчивых центрах обработки информации // Системы и средства информатики, 2003. Вып. 13. С. 41–63.
12. ГОСТ РВ 52216-2004 Связь военная. Термины и определения. 11 с.
13. *Кейер П. А., Будзко В. И., Беленков В. Г.* Катастрофоустойчивые решения в информационно-телекоммуникационных системах высокой доступности // Научно-емкие технологии, 2005. Т. 6. № 6. С. 38–47.
14. *Кейер П. А., Будзко В. И., Козлов А. Н.* Оптимизация построения и функционирования средств обеспечения катастрофоустойчивости // Системы высокой доступности, 2006. Т. 2. № 1. С. 30–45.
15. *Зацаринный А. А., Гаранин А. И., Козлов С. В.* Некоторые методические подходы к оценке надежности элементов информационно-телекоммуникационных сетей // Системы и средства информатики, 2011. Вып. 21. С. 21–33.
16. *Тараканов К. В.* Математика и вооруженная борьба. — М.: Воениздат, 1974. 240 с.
17. *Мырова Л. О., Попов В. Д., Верхотуров В. И. и др.* Анализ стойкости систем связи к воздействию излучений. — М.: Радио и связь, 1993. 186 с.
18. *Четиженко А. Э.* Радиоэлектронная аппаратура и ядерный взрыв. — М.: Воениздат, 1997. 210 с.
19. *Буроменский Н. Г.* Войска связи свою задачу выполнили // Москва — Чернобылю. — М.: Воениздат, 1998. Кн. 1. С. 290–304.

20. Зацаринный А. А., Буроменский Н. Г., Гаранин А. И. Методические вопросы формирования системы технического обеспечения информационно-телекоммуникационных сетей // Системы и средства информатики, 2013. Т. 23. № 2. С. 154–169.

*Поступила в редакцию 14.02.14*

---

---

## **METHOD OF FORMING THE SYSTEM OF INDICATORS OF INFORMATION AND TELECOMMUNICATION SYSTEMS VITALITY**

*A. A. Zatsarinnyy<sup>1</sup>, N. G. Buromensky<sup>2</sup>, and A. I. Garanin<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation

<sup>2</sup>Branch of the Federal State Government Institution “46 Central Research Institute of Defence Ministry of Russia,” Mytishchi 141006, Moscow Region, Russian Federation

**Abstract:** For objective investigation of the properties of survivability of information and telecommunication systems (ITS) as complex technical systems, a qualitative assessment of these properties is needed. Each property of ITS should have a quantitative characteristic, which is determined by the respective indicator of vitality. For quantitative characterization of the full list of properties of ITS, it is necessary to create a system of indicators of vitality. The article suggests methodical approaches used to form a system of indicators of survivability of ITS based on the analysis of the conditions of their application, evaluation of factors influencing survivability of the system, and definition of the properties that a system should have in order to perform the required functions. To determine these properties, the paper considers some conflict situation in which two opposing factions solve the task of achieving a preference for each of them. It was decided that the priority for each of the conflicting sides is the disabling of its functioning in the critical information infrastructure in conditions of intentional damaging effects. No limitation on the means used for defeat is imposed. The analysis of factors affecting vitality of the system defined the properties survivability ITS. To determine the quantitative characteristics of survivability properties, the paper introduces a probability area and on its basis single and comprehensive measures of survivability are offered. The paper provides recommendations for using single and complex indices to design, manufacture, and operate ITS.

**Keywords:** information and telecommunication systems; operating conditions; affecting factors; random variable; property; survivability; indicators of survivability

**DOI:** 10.14357/08696527140109

## References

1. Krapivin, V. F. 1978. *O teorii zhivuchesti slozhnykh sistem* [The theory of complex systems survivability]. Moscow: Nauka [Science]. 247 p.
2. Korobov, A. A., and Yu. B. Shevchuk. 1981. Nadezhnost' setey peredachi dannykh [Reliability of data transmission networks]. *Vychislitel'nye Seti* [Computer Networks]. Moscow: Nauka [Science]. 199–165.
3. Nechepurenko, M. I. 1981. Modeli strukturnogo rezervirovaniya sistem [Model structural redundancy systems]. *Prikladnye zadachi na grafax i setyakh* [Applied problems on graphs and networks]. Novosibirsk. 57–86.
4. Shcherbina, L. P. 1983. *Osnovy teorii setey voennoy svyazi* [Fundamentals of the theory of military communication networks]. Leningrad: Military Academy of communications. 65 p.
5. Dudnik, B. Ya., V. F. Ovcharenko, V. K. Orlov, et al. 1984. *Nadezhnost' i zhivuchest' sistem svyazi* [Reliability and survivability systems]. Moscow: Radio i svyaz' [Radio and communications]. 215 p.
6. Cherkosov, G. N. 1987. *Metody' i modeli otsenki zhivuchesti slozhnykh sistem* [Methods and models for the assessment of complex systems survivability]. Moscow: Znanie [Knowledge]. 55 p.
7. Popkov, V. K. 1990. *Matematicheskie modeli zhivuchesti setey svyazi* [Mathematical models of communication systems survivability]. Novosibirsk: The Siberian Branch USSR Academy of Sciences. 235 p.
8. Buromenskii, N. G. 1996. O modelirovanii zhivuchesti sistem svyazi voennogo naznacheniya [About modeling of survivability of military-purpose communication systems]. Mytishchi: 16 CNIII MO RF [16 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russian Federation]. Scientific and technical collection. 4:8–13.
9. Buromenskii, N. G. 1996. Determinirovannye kharakteristiki zhivuchesti sistem svyazi voennogo naznacheniya [Deterministic characteristics survivability of military-purpose communication systems]. Mytishchi: 16 CNIII MO RF [16 Central Research Institute of the Ministry of Defense of Russian Federation]. Scientific and technical collection. 4:23–27.
10. Budzko, V. I., V. G. Belenkov, and P. A. Kajer. 2003. K vyboru varianta postroeniya katastrofoustoychivyykh informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem [To the choice of variants of building the disaster-recovery information and telecommunication systems]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 13:16–40.
11. Budzko, V. I., A. N. Solov'ev, and E. V. Kiselev. 2003. Voprosy zashchity ot ugroz so storony obsluzhivayushchego personala v katastrofoustoychivyykh tseentrakh obrabotki informatsii [Issues of protection against threats from the staff in resilient centers information]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 13:41–63.
12. GOST RV 52216-2004 Svyaz' voennaya. Terminy' i opredeleniya [Link military. Terms and definitions]. Moscow: Gosstandart of Russia. 11 p.
13. Kejer, P. A., V. I. Budzko, and V. G. Belenkov. 2005. Katastrofoustoychivye resheniya v informatsionno-telekommunikatsionnykh sistemakh vysokoy dostupnosti [Resilient solutions in information-telecommunication systems with high availability]. *Naukoemkie Texnologii* [Scientific Technologies] 6(6): 38–47.

14. Kejer, P. A., V. I. Budzko, and A. N. Kozlov. 2006. Optimizatsiya postroeniya i funktsionirovaniya sredstv obespecheniya katastrofoustoychivosti [Optimization of the construction and functioning of means for provision of disaster recovery]. *Sistemy Vysokoy Dostupnosti* [High Availability Systems] 2:30–45.
15. Zatsarinnyy, A. A., A. I. Garanin, and S. V. Kozlov. 2011. Nekotorye metodicheskie podkhody k otsenke nadezhnosti elementov informatsionno-telekommunikatsionnykh setey [Some methodical approaches to the estimation of the reliability of elements of information-telecommunication networks]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics* 21:21–33.
16. Tarakanov, K. V. 1974. *Matematika i vooruzhennaya bor'ba* [Mathematics and armed struggle]. Moscow: Voenizdat. 240 p.
17. Myrova, L. O., V. D. Popov, and V. I. Verkhoturov. 1993. *Analiz stoykosti sistem svyazi k vozdeystviyu izlucheniya* [The analysis of stability of systems due to the effects of radiation]. Moscow: Radio i svyaz' [Radio and Communication]. 186 p.
18. Chepizhenko, A. Z. 1997. *Radioelektronnaya apparatura y yadernyy vzryv* [Electronic equipment and nuclear explosion]. Moscow: Voenizdat. 210 p.
19. Buromenskii, N. G. 1998. Voyska svyazi svoyu zadachu vpolnili [Communication troops fulfilled their task]. *Moskva — Chernobylyu* [Moscow to Chernobyl]. I:290–304.
20. Zatsarinnyy, A. A., N. G. Buromenskii, and A. I. Garanin. 2013. Metodicheskie voprosy formirovaniya sistemy tekhnicheskogo obespecheniya informatsionno-telekommunikatsionnykh setey [The methodology of the development of the system of technical security of information and telecommunication networks]. *Sistemy i Sredstva Informatiki — Systems and Means of Informatics*. 23(2):154–169.

Received February 14, 2014

## Contributors

**Zatsarinnyy Alexander A.** (b. 1951) — Doctor of Science in technology, professor, Deputy Director, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; azatsarinny@ipiran.ru

**Buromenskii Nikolai G.** (b. 1937) — Candidate of Science (PhD) in technology, leading scientist, Branch of the Federal State Government Institution “46 Central Research Institute of Defense Ministry of Russia,” Mytishchi 141006, Moscow Region, Russian Federation; buromienskii@mail.ru

**Garanin Alexander I.** (b. 1951) — Candidate of Science (PhD) in technology, senior scientist, Institute of Informatics Problems, Russian Academy of Sciences, 44-2 Vavilov Str., Moscow 119333, Russian Federation; algaranin@mail.ru