

УДК 623.355.6

Методика обоснования требуемого уровня стойкости оборудования сетей связи в условиях внешних деструктивных воздействий

Семенов С. С., Белов А. С., Воловиков В. С., Скубьев А. В.

Постановка задачи: необходимость выполнения требований к устойчивости функционирования сети связи актуализирует вопросы обоснования показателей стойкости оборудования ее элементов к воздействию внешних дестабилизирующих факторов. Требования к стойкости образца средства связи реализуются на стадиях его жизненного цикла, предшествующих эксплуатации. Конкретные же условия функционирования сети связи могут существенно влиять на характеристики поражения ее объектов. Известные способы оценки свойств устойчивости сети связи не позволяют получить значения показателей стойкости составных частей радиоэлектронных средств. Имея такую информацию, можно обосновать требования к показателям живучести и надежности сети связи в целом. **Цель исследования** – прогнозирование технического состояния оборудования на основе анализа результатов моделирования воздействия средств поражения на элементы сети связи. **Новизна:** в отличие от существующего методического обеспечения оценки устойчивости сети связи, в разработанной методике учитываются роль и место образца техники связи в организационно-техническом построении элемента сети связи, а также его конструктивные особенности. Такой подход позволяет получить оценку стойкости непосредственно составной части заданного уровня разукрупнения радиоэлектронного средства к воздействию поражающих факторов. **Результат:** моделирование поражающего воздействия позволяет осуществить прогнозирование технического состояния радиоэлектронных средств элементов сети связи. Получаемые значения показателей поражения составных частей образца средства связи позволяют оценить его свойства: стойкость и надежность. Данная оценка является основой решения научно-технической задачи определения требуемых значений показателя устойчивости сети связи – коэффициента оперативной готовности. Эффект от применения разработанной методики обоснования требуемого уровня стойкости сетей связи в условиях внешних деструктивных воздействий по сравнению с известными составляет 11 %. **Практическая значимость:** предложенную методику предлагается реализовать в виде программного обеспечения для электронно-вычислительной машины. Наличие такого научно-методического обеспечения позволит применять ее для оценки функционирования сетей связи: при их проектировании и эксплуатации, в учебном процессе, а также в ходе научных исследований, решающих задачи управления их качеством. Выработанные критерии эффективности функционирования системы восстановления сети связи могут быть использованы должностными лицами органов управления – в ходе планирования мероприятий материально-технического обеспечения, ремонтных органов – при определении потребностей в запасных частях; результаты расчета показателей стойкости образцов техники связи могут быть использованы при выработке управленческих решений по организации мероприятий защиты элементов сети связи от внешних деструктивных воздействий.

Ключевые слова: стойкость, сеть связи, оборудование связи, внешние деструктивные воздействия, моделирование, методика, составная часть оборудования, коэффициент оперативной готовности.

Библиографическая ссылка на статью:

Семенов С. С., Белов А. С., Воловиков В. С., Скубьев А. В. Методика обоснования требуемого уровня стойкости оборудования сетей связи в условиях внешних деструктивных воздействий // Системы управления, связи и безопасности. 2019. № 1. С. 33–53. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10102.

Reference for citation:

Semenov S. S., Belov A. S., Volovikov V. S., Skubiev A. V. Method of determining the required stability of communication network equipment from external destructive impacts. *Systems of Control, Communication and Security*, 2019, no. 1, pp. 33–53. DOI: 10.24411/2410-9916-2019-10102 (in Russian).

Введение

Особая роль в борьбе с системами государственного и военного управления противоборствующей стороны отводится средствам поражения (СП), характер воздействия которых относится к одному из классов внешних дестабилизирующих факторов – механическому [1]. Поражающие факторы, сопутствующие применению СП, будем называть внешними деструктивными воздействиями.

Технологической основой системы государственного и военного управления являются сети связи (СС). СС представляют собой географически распределенные по территории элементы (узлы связи и линии связи между ними), объединяющие в себе функции традиционных сетей передачи данных, телефонных сетей и предназначенные для своевременной передачи трафика различной природы, с разными вероятностно-временными характеристиками [2].

Создаваемые на основе достижений современной науки обычные высокоточные средства физического воздействия по своим поражающим возможностям не только приближаются к ядерному оружию, но обладают весьма ценным преимуществом, заключающимся в отсутствии прямых экологических последствий после его применения, что полностью меняет характер противоборства. Следует ожидать одиночных, сосредоточенных и массированных ударов высокоточных боеприпасов как наземного, морского, так и воздушного базирования, которые имеются у противостоящей стороны. В результате возможных действий прогнозируются последствия их применения по СС, т.е. оценивается ее устойчивость. Требования к комплексному показателю устойчивости СС – коэффициенту оперативной готовности, выражаются через показатели ее живучести и надежности [1]. Для достоверного прогноза возможных последствий внешних деструктивных воздействий необходимо иметь научно-методический инструментарий, позволяющий получать количественные оценки такого свойства, как стойкость конкретных радиоэлектронных средств, являющихся основой построения элементов СС. Под стойкостью аппаратуры связи понимается ее способность оставаться в работоспособном состоянии на заданном временном интервале времени в условиях внешних дестабилизирующих факторов. Характерно, что требования по обеспечению стойкости объектов электросвязи к механическому воздействию ударной волны взрыва и баллистического удара не предъявляются. Проведенный анализ предметной области показал, что значения основных показателей стойкости образцов техники связи и, как результат, эффективность функционирования СС в современных условиях ниже требуемых [3-5]. При этом, известный научно-методический аппарат не учитывает современные условия функционирования элементов СС при наличии внешних деструктивных воздействий. Применение известных методик не позволяет обосновать с высокой степенью достоверности требуемые значения стойкости оборудования СС.

Предлагается разработать методику как совокупность способов и приемов обоснования требуемого уровня обеспечения стойкости средств связи в условиях внешних деструктивных воздействий на СС [6].

Постановка задачи на разработку методики

Цель методики – получение количественных оценок показателей стойкости оборудования СС и, на основании их анализа, обоснование требуемого уровня данного свойства в условиях применения внешних деструктивных воздействий.

Для формальной постановки и решения задачи в работе введены обозначения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Обозначения

Обозначение	Физический смысл обозначения
Исходные данные	
N	– количество элементов СС (узлов связи)
M	– количества аппаратных связи (АС) в элементе
$R_{сп}$	– ресурс СП, выделенный для применения
Δt	– интервал времени применения СП
$P_{вскр}$	– вероятность вскрытия противоборствующей стороной объекта СС
V	– текущая скорость осколка поражающего элемента
m	– масса осколка
$S_{ср}$	– среднее значение площади мишеня осколка на полете
V_0	– начальная скорость осколка (поражающего элемента)
A	– баллистический коэффициент
Φ	– безразмерный параметр формы осколка
γ_0	– плотность материала осколка
$I_{уб}$	– убойный интервал
$V_{уб}$	– убойная скорость осколка
ρ_v	– плотность воздуха
C_x	– коэффициент лобового сопротивления
$r_i(\Delta t)$	– число отказов в результате повреждений i -й составной части (СЧ) АС
N_0	– число однотипных восстанавливаемых СЧ АС
$h_{ст}^{треб}$	– требуемый критериальный параметр поражения СЧ АС (требуемый стальной эквивалент цели)
$K_{г}^{треб}$	– требуемый коэффициент готовности АС
$K_{ог}^{треб}$	– требуемый коэффициент оперативной готовности АС
d, f	– счетчики
Выходные данные	
g_i	– количество пораженных СЧ i -й номенклатуры
q_i	– вероятность поражения СЧ i -й номенклатуры
$h_{ст}$	– стальной эквивалент цели
$K_{г}$	– коэффициент готовности АС
$K_{ог}$	– коэффициент оперативной готовности АС

При разработке математического аппарата определения характеристик стойкости СЧ в качестве основных допущений и ограничений приняты следующие:

- 1) объект поражения (АС) представляется в виде параллелепипеда, в пределах которого располагаются все СЧ (также в виде параллелепипедов);

- 2) количество СЧ задается согласно конструктивному построению объекта;
- 3) местоположение, форма и размеры АС в процессе воздействия поражающих факторов не изменяются;
- 4) событие поражения СЧ является достоверным при превышении расчетных значений параметров поражающих факторов критериальных значений;
- 5) в качестве поражающего фактора рассматривается осколочное поле;
- 6) плотность воздуха вдоль траектории полета осколка постоянна;
- 7) влияние силы тяжести на осколок пренебрежимо мало;
- 8) площадь мишени осколка на полете равна ее среднему значению;
- 9) коэффициент лобового сопротивления осколка не зависит от его скорости.

В качестве научно-методического аппарата формальной реализации поставленной задачи будет использоваться имитационная модель (ИМ) воздействия СП на основе объектного представления исходных данных. Данный подход является наиболее эффективным способом оценки стойкости оборудования СС для принятия решения о номенклатуре и количестве пораженных СЧ. Определение степени поражения АС (количества СЧ) в результате внешних деструктивных воздействий предлагаемым методом статистического моделирования заключается в последовательном накоплении (в результате многократного решения задачи нанесения ударов СП) статистического материала о значениях искомой величины, носящей случайный характер.

Разработанная методика обоснования требуемого уровня стойкости оборудования СС в условиях внешних деструктивных воздействий представляет собой структурно-логическую последовательность, обобщенная блок-схема реализации которой представлена на рисунке 1.

Содержательное описание этапов методики

В соответствии с имеющейся системой представления исходных и выходных данных, а также принятыми при этом допущениями и ограничениями методика представляет собой совокупность этапов:

- 1) моделирование внешних деструктивных воздействий на АС и ее СЧ;
- 2) определение частных показателей надежности и стойкости АС;
- 3) оценка коэффициента оперативной готовности АС.

Рассмотрим сущность реализуемых методикой функций.

Для количественного определения значений стойкости в блоке 1 задают (вводят) исходную для моделирования информацию, которой будут являться сведения:

- 1) о комплексах, применяемых для поражения элементов СС, типе применяемых СП и их тактико-технических характеристиках, а также характеристиках системы ошибок, сопровождающих нанесение удара СП;

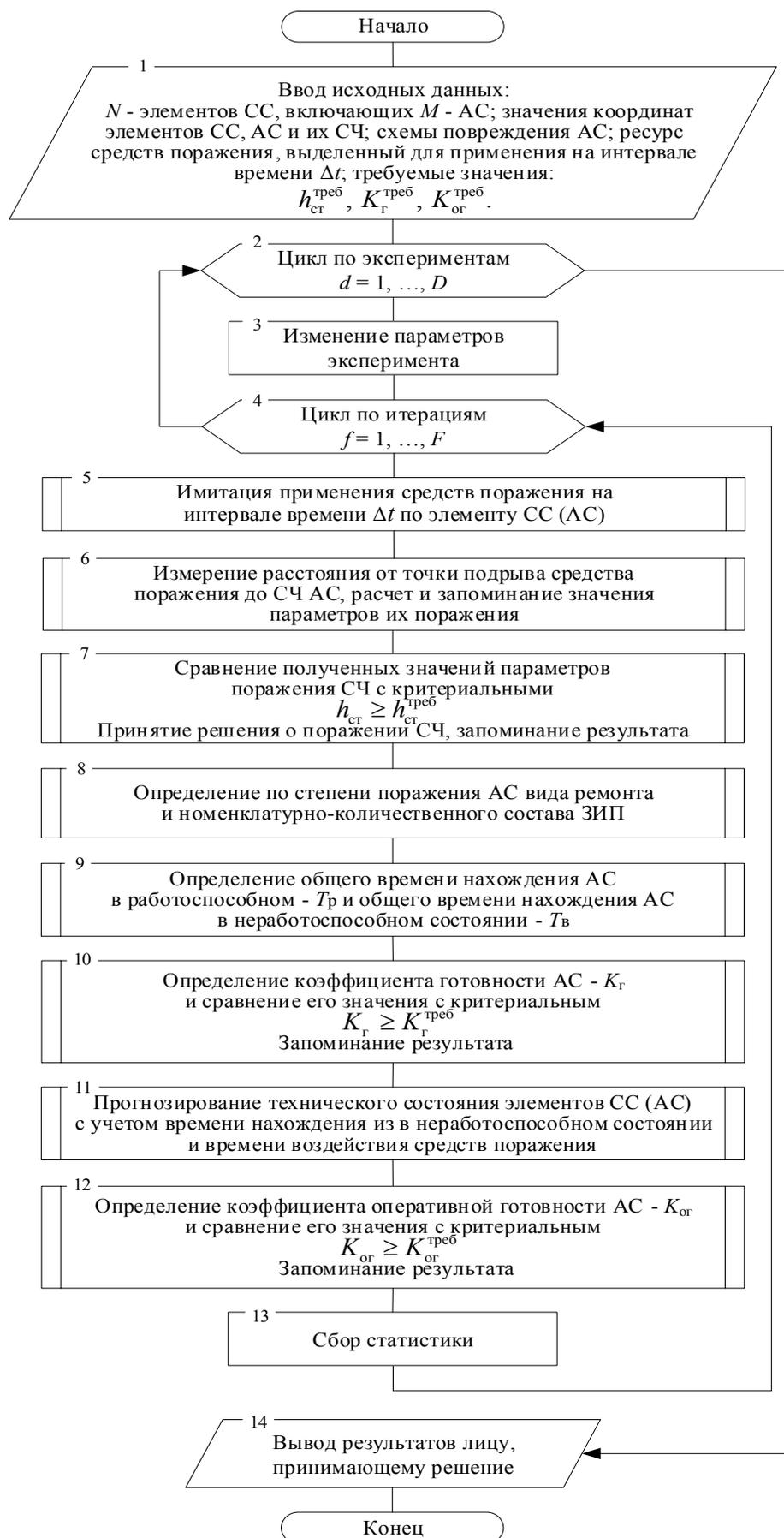


Рис. 1. Блок-схема реализации методики обоснования требуемого уровня стойкости оборудования СС в условиях внешних деструктивных воздействий

- 2) об условиях нанесения удара (дальность пуска, количество СП, положение точек прицеливания);
- 3) об объекте поражения, (тип элемента СС, количество АС и входящих в них СЧ, их координаты, форма, размеры, критериальные параметры поражения СЧ и тип поражения АС [7]).

Для оценки эффективности функционирования СС дополнительно вводятся критериальные значения соответствующих показателей устойчивости.

Геометрические размеры элемента СС, АС и их СЧ задаются в трехмерном пространстве. Конструктивное исполнение аппаратной связи описывается совокупностью СЧ (электронных модулей) i -й номенклатуры. Такое представление современных АС (радиоэлектронных средств) соответствует реализации их магистрально-модульного построения [8].

Положение любого объекта СС в пространстве определяется положением его вершины A' и углом поворота его осей относительно центра системы координат (ЦСК) объекта, частью которого он является (рисунок 2).

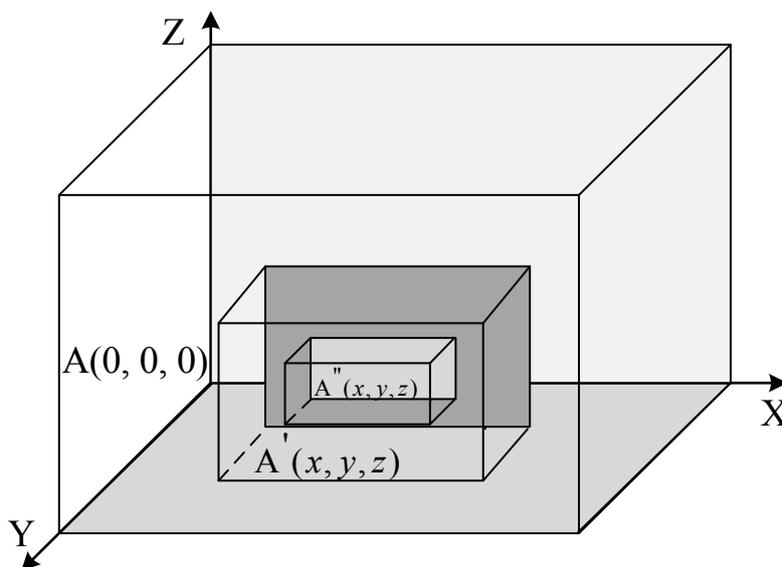


Рис. 2. Реализация схемы построения АС в трехмерной системе координат

Расстановка модулей внутри аппаратной происходит по принципу «матрешки», где ЦСК вышестоящего объекта (АС) (вершина A) является точкой начала координат для определения положения вложенных в него объектов (СЧ АС) (вершина A').

Блок 2 реализует цикл по требуемому количеству экспериментов.

В блоке 3 при необходимости может осуществляться изменение параметров эксперимента.

Блок 4 реализует цикл по требуемому количеству итераций в одном эксперименте.

В блоке 5 имитируют применение СП на время Δt по элементу СС (АС). Действие осколков по СЧ АС сопровождается соударением при относительно умеренных скоростях, при этом в зависимости от свойств материалов ударника

и цели в диапазоне от нескольких сотен м/с до 2,5 км/с внедрение происходит по переходному механизму. В этих условиях степень поражения СЧ АС зависит от скорости удара и толщины СЧ. Толщина пробиваемой СЧ АС при переходном механизме внедрения пропорциональна импульсу ударника, в связи с чем для оценки $h_{ст}$ используется критерий удельного импульса – I , который линейно зависит от толщины преграды [9, 10]:

$$I = \frac{mV}{S_{ср}} \geq I_{кр},$$

где $I_{кр}$ – критическое значение удельного импульса.

Для определения скорости встречи поражающего элемента (ПЭ) с АС (поражаемым объектом) необходимо воспользоваться исследованиями в области внешней баллистики осколков.

Закон изменения скорости ПЭ в функции от пройденного расстояния x является известным законом экспоненциального затухания скорости осколка на полете и имеет вид [9, 10]:

$$V = V_0 e^{-Ax}. \quad (1)$$

В блоке 6 определяются расстояния от точки подрыва СП до СЧ АС, рассчитываются и запоминаются значения параметров поражения СЧ, при этом, определяются расстояния от места взрыва, на котором осколок еще сохраняет скорость, необходимую для поражения СЧ (убойную скорость – $V_{уб}$) [9, 10]:

$$I_{уб} = \frac{1}{A} \ln \frac{V_0}{V_{уб}}.$$

Баллистический коэффициент находится по формуле [9, 10]:

$$A = \frac{\rho_b C_x \Phi}{2\gamma_0^{2/3} m^{1/3}}. \quad (2)$$

В соответствии с принятыми допущениями, для стального осколка на уровне земли убойный интервал может быть определен по экспериментальной формуле [9, 10]:

$$I_{уб} = 145 \frac{m^{1/3}}{C_x \Phi} \lg \frac{V_0}{V_{уб}}.$$

Убойная скорость осколка при тех же допущениях рассчитывается по выражению [9, 10]:

$$V_{уб} = 145 \frac{h_{ст} \Phi}{m^{1/3}}. \quad (3)$$

Таким образом, для определения толщины пробиваемой преграды необходимо выполнить расчеты в следующей последовательности:

- 1) согласно выражению (2) находят баллистический коэффициент A ;
- 2) при известном расстоянии от точки взрыва до СЧ АС (x) вычисляют текущую скорость осколка (V) в точке соударения с преградой по формуле (1);
- 3) опираясь на выражение (3) производят расчет стального эквивалента цели (СЧ), ($h_{ст}$), т.е. предельную толщину пробиваемой (поражаемой) преграды:

$$h_{\text{ст}} = \frac{Vm^{1/3}}{145\Phi}.$$

В блоке 7 сравнивают рассчитанное значение параметра поражения СЧ с требуемым ($h_{\text{ст}} \geq h_{\text{ст}}^{\text{треб}}$), принимают решение о пробитии преграды (поражении СЧ). Расчетные значения количества пораженных СЧ i -й номенклатуры g_i и вероятности их поражения q_i запоминаются.

Степень повреждения АС отождествляется с видом ремонта, который необходимо провести для восстановления ее работоспособности [7]. Зная номенклатуру пораженных СЧ и время, отводимое на восстановление каждого из них, можно определить вид требуемого ремонта для АС.

В блоке 8 определяют:

- 1) вид ремонта АС;
- 2) номенклатуру и количество запасных частей, инструмента и принадлежностей (ЗИП) для проведения ремонта. Расчеты проводят с учетом выбранного показателя достаточности комплекта ЗИП, требуемого $K_r^{\text{треб}}$ и количества типов требуемых запасных элементов, предусматриваемых на основе спецификации или принципиальных схем СЧ АС.

В блоке 9 определяют общее время нахождения АС в работоспособном – T_p и общее время нахождения АС в неработоспособном состоянии – T_v . СЧ АС могут быть как в работоспособном, так и в неработоспособном состояниях. При восстановлении СЧ АС переходит из одного технического состояния в другое. В процессе эксплуатации АС может побывать в каждом из возможных технических состояний многократно. Их (АС) функционирование описывают графом или цепью, узлы которых соответствуют техническим состояниям АС, а ветви указывают все возможные переходы из одного технического состояния в другое [11, 12].

В блоке 10 рассчитывается коэффициент готовности АС – K_r :

$$K_r = \frac{T_p}{T_p + T_v}.$$

Оценивается коэффициент готовности на основе уравнений функционирования при следующих допущениях: потоки отказов СЧ КАС являются простейшими, время восстановления изменяется по нормальному закону. Полученный результат сравнивают с требуемым значением коэффициента готовности АС $K_r \geq K_r^{\text{треб}}$. Итог оценки запоминается.

В блоке 11 осуществляется прогнозирование технического состояния элементов СС (АС) с учетом времени нахождения их в неработоспособном состоянии и времени деструктивных воздействий. При этом, определяют параметр потока отказов на интервале времени Δt – $\omega(\Delta t)$:

$$\omega(\Delta t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} r_i(\Delta t)}{N_0 \Delta t}.$$

Вероятность безотказной работы АС $P(\Delta t)$ за время Δt определяют по формуле [12, 13]:

$$P(\Delta t) = e^{-\omega(\Delta t)\Delta t}.$$

Прогнозирование технического состояния, возможно проводить по внутренним параметрам и по выходным параметрам [11].

В блоке 12 определяют значение коэффициента оперативной готовности АС – $K_{ор}$ [2, 12, 13]:

$$K_{ор} = K_r \cdot P(\Delta t).$$

Для определения коэффициента оперативной готовности $K_{ор}$ возможна вероятностная оценка, в том числе, с учетом любых распределений наработки между повреждениями и времени восстановления, а также, возможна статистическая оценка – отношение числа СЧ АС, работоспособных в произвольный достаточно удаленный интервал времени и проработавших затем в течение заданного времени, к общему числу СЧ АС.

Полученные значения коэффициента оперативной готовности $K_{ор}$ АС сравнивают с требуемыми $K_{ор} \geq K_{ор}^{треб}$. Результат оценки записывают.

В блоке 13 происходит сбор статистических данных по результатам решения расчетных задач (блоки 5-12). На данном этапе завершается реализация первой итерации из общего их количества F , требуемого для получения достоверного результата.

По достижению требуемого количества итераций F (счетчик блока 4) происходит переход к блоку 2, где в зависимости от значения d проведение экспериментов продолжается (переход к блоку 3) или завершается выводом необходимой информации (блок 14) с помощью технических средств автоматизации лицу, принимающему решение.

Таким образом, реализация разработанной методики обоснования требуемого уровня стойкости оборудования сетей связи в условиях внешних деструктивных воздействий позволяет получить на выходе количественную оценку качества функционирования СС.

Основным этапом методики является решение задачи моделирования внешних деструктивных воздействий на СС и оценка их последствий.

Результаты моделирования внешних деструктивных воздействий и их оценка

Оценка качества имитационной модели [7], используемой в разработанной методике, проводилась по критериям точности и чувствительности, а адекватность по имеющейся статистике пусков СП.

Определение необходимого числа реализаций b обеспечивает заданную точность результата. Для определения числа реализаций воспользуемся формулой:

$$b = \frac{t_{\alpha}^2 \cdot p(1-p)}{\varepsilon^2}.$$

Для нахождения вероятности p необходима предварительная оценка на малом числе испытаний. Так как проведение предварительной оценки не

предусматривается, то воспользуемся наихудшим случаем: $p = 0,5$. Для величины доверительного интервала $\varepsilon = 10^{-2}$ и априорной вероятности наступления события $\alpha = 0,99$ значение t -критерия $t_\alpha = 2,53$, а число реализаций:

$$b = \frac{2,53^2 \cdot 0,5(1-0,5)}{10^{-4}} = 61002.$$

Для определения наиболее влияющих входных параметров модели необходимо исследовать чувствительность ИМ.

Проверку чувствительности модели к изменению исходных данных осуществим на примере генерации одного варианта применения СП. Диапазоны изменения входных параметров представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Диапазоны изменения входных параметров

Входной параметр	Минимальное значение параметра	Максимальное значение параметра	Приращение параметра, %
$R_{сп}$	1	20	180
$P_{вскр}$	0,1	0,9	160

Приращение входного параметра δQ вычисляется по формуле:

$$\delta Q = \frac{2 \cdot (\max Q - \min Q)}{\max Q + \min Q} \cdot 100\%,$$

где Q – входной параметр модели.

Расчет количества опытов для исследования чувствительности ИМ показал, что необходимо провести не менее 10 экспериментов, значения входных параметров в ИМ для которых приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Значения входных параметров для оценки чувствительности

№ эксперимента	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{сп}$	2	16	4	8	18	20	6	10	12	14
$P_{вскр}$	0,9	0,2	0,7	0,4	0,9	0,3	0,1	0,8	0,5	0,6

Изменение выходного параметра δU определим по формуле:

$$\delta U = \frac{2 (\max U - \min U)}{\max U + \min U} 100\%,$$

где U – выходной параметр модели.

Результаты исследования чувствительности сведены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты исследования чувствительности ИМ

Входной параметр	Выходной параметр q_i			Соотношение с приращением входного параметра
	min	max	$\delta Y, \%$	
$R_{сп}$	0,1	0,9	160	0,8
$P_{вскр}$	0,1	0,9	160	1

Под устойчивостью результатов ИМ понимают степень ее нечувствительности к изменению входных условий.

При проведении оценки чувствительности ИМ наиболее чувствительным параметром оказался показатель $P_{\text{вскр}}$. Причем, 160 % изменению входного параметра соответствует 160 % изменение выходного результата.

Проверка адекватности разработанной математической модели проводилась на основе сравнения результатов математического ожидания (МОЖ) поражения объекта, полученных при опытно-контрольных пусках СП, и результатов моделирования.

В ходе проведения испытаний были проведены пуски ракетным комплексом с осколочными боевыми элементами [14]. В этих пусках одиночными ракетными ударами поражен групповой объект, состоящий из 50 мишеней, которые имитировали отдельные узлы и агрегаты небронированной техники. Фрагмент результатов поражения мишеней приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Фрагмент результатов опытных пусков ракет

№ пуска	Дальность пуска, км	Число сквозных пробитий	Частота сквозных пробитий
1	300	15	0,248
...
12	250	25	0,338
13	300	17	0,269
...
20	275	22	0,312

Для получения сопоставимых результатов проведено моделирование удара по АС, развернутой на местности необорудованной в инженерном отношении. При этом полагалось, что координаты центра объекта поражения определены достоверно, а удаление объекта поражения от стартовой позиции соответствует данным, приведенным в таблице 5. Для решения задач имитационного моделирования использовалось программное обеспечение «Прогноз» для электронно-вычислительной машины (ЭВМ) [15]. Фрагмент результатов моделирования нанесения ракетного удара приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Фрагмент результатов моделирования

№ пуска	Дальность пуска, км	Степень поражения, %
1	250	56,2
2	300	55,6
...
10	250	56,3

Проверка достоверности данных проведена с помощью пакета статистического анализа Excel, результаты проверки гипотезы о равенстве МОЖ, полученного в результате моделирования удара и результатов пусков, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Проверка гипотезы о равенстве математического ожидания

Значения итоговой статистики	МОЖ (опытные пуски)	МОЖ (моделирование)
Среднее	0,3115	0,2965
Дисперсия	0,0001445	0,0019845
Наблюдения	2	2
Гипотетическая разность средних	0	
df	1	
t -статистика	0,375	
$P(T \leq t)$ одностороннее	0,385799749	
t критическое одностороннее	6,313751514	
Значения итоговой статистики	МОЖ (опытные пуски)	МОЖ (моделирование)
$P(T \leq t)$ двухстороннее	0,771599498	
t критическое двухстороннее	12,70620473	

Анализ данных в таблице 7 показывают, что статистика по результатам опыта $t = 0,375$ значительно меньше критического значения статистики $t_{кр} = 12,70620473$, а значит гипотеза о равенстве степени поражения объекта, полученного в результате моделирования удара и результатов пусков, не отвергается. Исходя из этого, применение ИМ обеспечивает адекватную оценку степени поражения элементов СС и может служить инструментом определения требуемых значений показателей стойкости.

Таким образом, в результате оценки качества разработанной модели, можно сделать вывод, что модель достаточно устойчива к входным параметрам, а проверка адекватности подтвердила факт того, что «отклики» (выходные результаты) модели соответствуют критериям ее качества.

В ходе проведения спланированных вычислительных экспериментов был получен ряд функциональных зависимостей выходных параметров от входных данных модели. Основным результатом моделирования стало получение зависимостей выходных параметров от интенсивности внешних деструктивных воздействий. В качестве модели объекта поражения выбрана АС, фрагмент конструктивного состава которой представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Фрагмент представления магистрально-модульного построения АС в объектно-ориентированной среде программирования

Наименование изделия	Кол-во	Размеры (длина×ширина× высота), см	Размещение относительно ЦСК ($X \times Y \times Z$), см
Аппаратная связи в составе:		640,0×235,0×180,0	
Навигатор	1	20,5×10,0×7,5	210,0×10,0×160,0
ЭВМ	1	40,0×35,0×10,0	200,0×40,0×100,0
Переговорное устройство	1	35,0×7,0×30,0	255,0×0,0×105,0
Шкаф телекоммуникационный 19”в составе:	1	55,0×40,0×80,0	320,0×15,0×30,0
1) мультиплексор первичный в составе:	1	48,3×23,5×14,9	3,35×9,5×65,0
блок первичного генератора (БПГ);	2	2,47×23,5×14,9	1,0×0,0×0,0 4,0×0,0×0,0

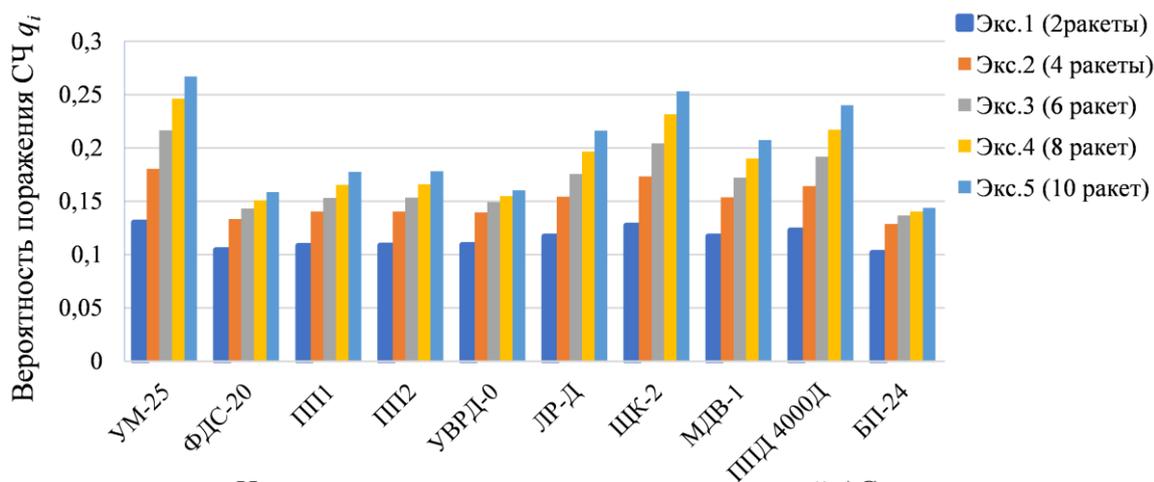
Наименование изделия	Кол-во	Размеры (длина×ширина×высота), см	Размещение относительно ЦСК (X×Y×Z), см
блок контроля линии связи (КЛС);	2	1,97×23,5×14,9	7,0×0,0×0,0 9,5×0,0×0,0
блок основного цифрового канала (ОЦК);	4	1,97×23,5×14,9	12,0×0,0×0,0 14,5×0,0×0,0 17,0×0,0×0,0 19,5×0,0×0,0
блок сигнализации (С1-И);	3	1,97×23,5×14,9	22,0×0,0×0,0 24,5×0,0×0,0 27,0×0,0×0,0
блок канальный (К-8);	1	1,97×23,5×14,9	29,5×0,0×0,0
блок тональной частоты (ТЧ);	3	1,97×23,5×14,9	37,0×0,0×0,0 39,5×0,0×0,0 42,0×0,0×0,0
блок контрольного устройства (КУ-S);	1	2,47×23,5×14,9	45,0×0,0×0,0
2) Радиостанция в составе:	1	43,0×40,0×25,5	545,0×15,0×105,0
блок усилителя мощности (УМ-25);	1	43,0×24,0×25,5	0,0×0,0×0,0
блок фильтров дуплексной связи (ФДС-20);	1	6,5×16,0×25,5	36,5×24,0×0,0
приемопередатчик (ПП 1);	1	20,5×16,0×12,75	16,0×24,0×12,75
приемопередатчик (ПП 2);	1	20,5×16,0×12,75	16,0×24,0×0,0
устройство ввода радиоданных (УВРД-0).	1	37,4×7,0×3,0	548,0×38,0×135,0
Стойка телекоммуникационная 19”в составе:	1	63,0×35,0×120,0	505,0×215,0×30,0
1) Модем	1	48,3×22,3×10,0	7,0×7,7×105,0
2) Щит коммутации (ЩК-2)	1	54,0×15,0×21,0	4,5×15,0×79,0
3)модуль доступа выносной (МДВ-1);	1	48,3×22,55×7,0	7,0×7,45×23,0
4) блок приемопередатчика (ППД 4000Д);	1	48,3×30,0×12,0	7,0×0,0×10,0
5) цифровой модем (ЛР-Д).		48,3×23,5×14,9	7,0×9,5×65,0
Шкаф телекоммуникационный 19”в составе:	1	55,0×40,0×120,0	442,0×220,0×30,0
1) Мультиплексор комбинированный:	1	48,3×22,55×14,9	3,0x7,45x90,0
блок питания (БП-24);	2	4×22,55×14,9	2,0×0,0×0,0 6,0×0,0×0,0
блок xDSL;	2	2,0×22,55×14,9	38,5×0,0×0,0 40,5×0,0×0,0
.....
5) Коммутатор оптический	1	48,3×3,0×10,0	3,0×27,0×70,0

Рассмотрим соответствующие зависимости воздействия осколочного поля на определенные СЧ АС.

Зависимость вероятности поражения СЧ q_i от количества применяемых СП представлена на рисунке 3.

Зависимость количества пораженных СЧ g_i от количества применяемых СП представлена на рисунке 4.

Зависимость вероятности поражения СЧ от их геометрических размеров (v_i) представлена на рисунке 5.



Номенклатура пораженных составных частей АС
Рис. 3. Зависимость вероятности поражения СЧ от количества применяемых СП

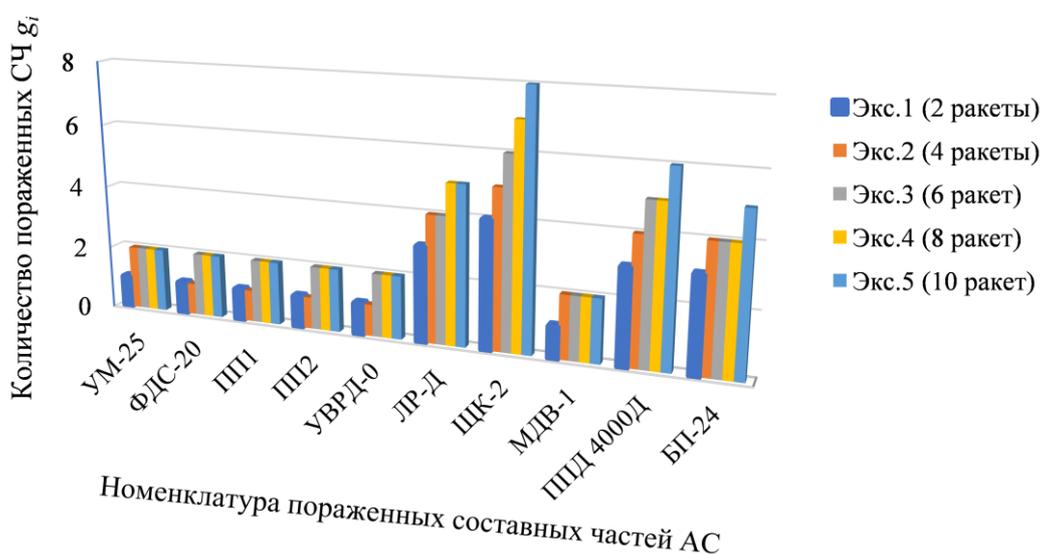


Рис. 4. Зависимость количества пораженных СЧ от количества СП

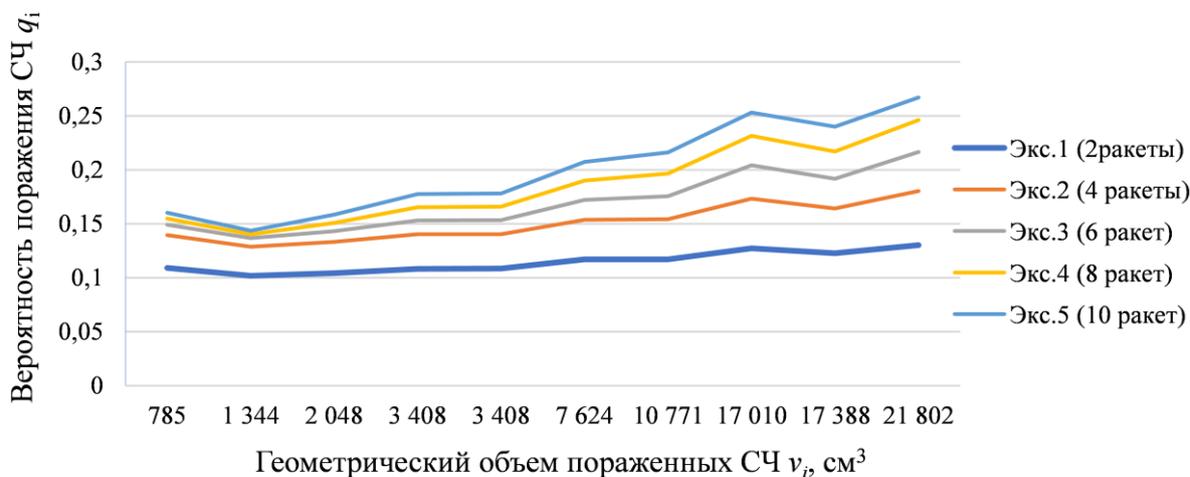


Рис. 5. Зависимость вероятности поражения СЧ от их объема

Зависимость выхода АС в определенный вид ремонта от количества СП представлена на рисунке 6. Полученная зависимость выражена через вероят-

ность (H) того, что АС потребуется проведение текущего, среднего, капитального ремонта или она будет отнесена к безвозвратным потерям.

Полученные зависимости подтверждают корректность вводимых допущений и ограничений при представлении системы «АС – средство поражения» в виде объектно-ориентированной модели, т.к. не противоречат результатам предыдущих исследований и логично вписываются в общие тенденции существующих взглядов.

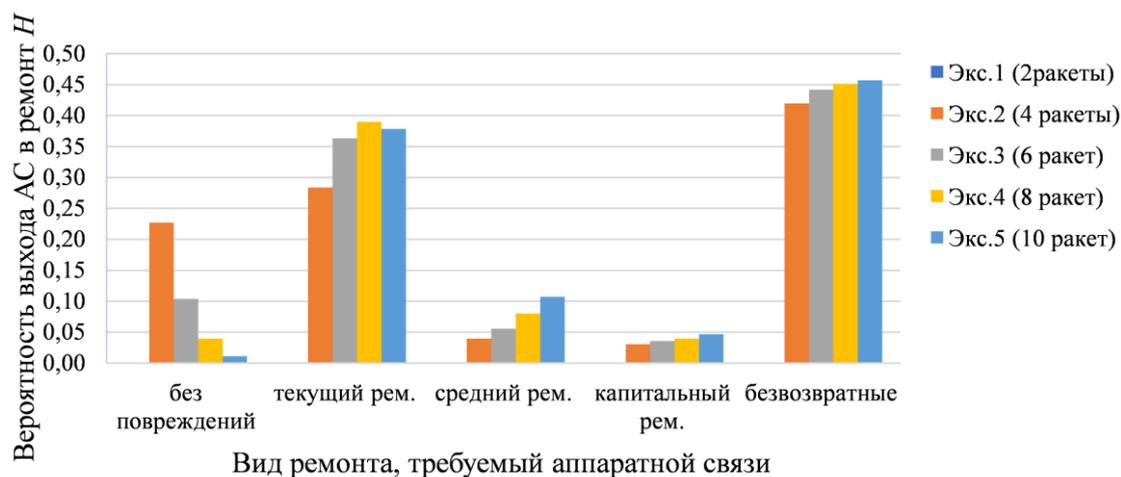


Рис. 6. Зависимость вида ремонта, требуемого АС, от количества СП

Выходные результаты по оценке поражающего действия СП и степени поражения АС, полученные в результате моделирования ударов по ним, используются в качестве исходных данных для реализации последующих этапов методики обоснования требуемого уровня стойкости сетей связи в условиях внешних деструктивных воздействий (рисунок 1).

Выводы

Реализация разработанной методики обоснования требуемого уровня стойкости оборудования сетей связи в условиях внешних деструктивных воздействий позволяет осуществить прогнозирование технического состояния радиоэлектронных средств и принять на этой основе научно-технические решения, использование которых позволит обеспечить требуемые значения показателей устойчивости.

Имитационная модель оценки характеристик стойкости АС и их СЧ в условиях внешних деструктивных воздействий выполнена как система взаимосвязанных моделей. Взаимосвязанная структура модели является основным и единственным условием, при котором достигаются чувствительность и конструктивность выходных показателей к определенному классу входных параметров и условий, описывающих техническое состояние образца техники связи в конкретных условиях эксплуатации. Применение модели как составной части методики при решении расчетных задач в предметной области позволяет на любом из уровней построения системы восстановления в качестве результата получить необходимые данные по степени повреждения образцов и, таким об-

разом, спрогнозировать их техническое состояние. Наличие данной информации позволит повысить эффективность функционирования СС в целом. Предложенный подход к разработке модели, в связи со своей универсальностью, органично вписывается в действующие теоретические конструкции, разработанные для решения задач оценки стойкости элементов СС в условиях внешних деструктивных воздействий.

Новизной разработанного методического обеспечения, в отличие от известного [16, 17], является:

- 1) выход при моделировании на любой уровень разукрупнения образца техники связи, отражающего устойчивые и повторяющиеся отношения (связи) между понятиями поражения СЧ и самого образца;
- 2) решение задачи определения стойкости СЧ потоку осколков, которое показало, что вероятность поражения электронных модулей одного уровня разукрупнения различна (в существующих методиках принимается одинаковой);
- 3) его универсальность, т.к. модель разработана в объектно-ориентированной среде и может наращиваться классами, описывающими поведение системы «образец – внешняя среда» в любых условиях эксплуатации (при наличии других поражающих факторов).

На основе разработанной методики возможно проводить оценку показателей стойкости и для развертываемых групп аппаратных связи (модулей), элементов узлов и линий связи, а, следовательно, формировать требования к качеству СС на любом уровне ее построения.

Разработанная в ходе исследования методика доведена до программной реализации и может использоваться лицом, принимающим решение для оценки и прогнозирования соответствующих параметров, характеризующих эффективность функционирования СС в условиях внешних деструктивных воздействий.

Результаты проведенных исследований эффективности использования разработанной методики показывают, что эффект от ее внедрения по сравнению с известными составляет 11 % [18].

Литература

1. ГОСТ Р 5311-2008. Устойчивость функционирования сети связи общего пользования. Требования и методы проверки. – М.: Стандартинформ, 2009. – 16 с.
2. Ермишян А. Г. Теоретические основы построения систем военной связи в объединениях и соединениях: Учебник. Часть 1. Методологические основы построения организационно-технических систем военной связи. – СПб.: ВАС, 2005. – 740 с.
3. Оценка эффективности огневого поражения ударами ракет и огнем артиллерии. Военно-теоретический труд / под общ. ред. А. А. Бобрикова – СПб.: «Галей Принт», 2006. – 424 с.
4. Гончаренко П. Д., Котасонов Ю. И., Хайков В. Л. Моделирование процессов поражающего действия артиллерийских боеприпасов с использованием компьютерного вычислительного эксперимента: учебное

пособие. – Севастополь: Академия военно-морских сил им. П. С. Нахимова, 2012. – 216 с.

5. Воловиков В. С. Модель процесса восстановления военной техники связи в условиях военного времени // Перспективные системы и задачи управления: сборник материалов Девятой Всероссийской научно-практической конференции. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. – С. 19-28.

6. Ожегов С. И., Шведова Н. Ю. Толковый словарь русского языка: 80000 слов и фразеологий выражений. – М.: АЗЪ, 1994. – 928 с.

7. Воловиков В. С. Методическое обеспечение прогнозирования потребностей системы восстановления ТС и АСУ в комплектах военно-технического имущества связи // Системы управления, связи и безопасности 2015. №1. С. 53-66. – URL: <http://journals.intelgr.com/sccs/archive/2015-01/04-Volovikov.pdf> (дата обращения: 09.01.2019).

8. ГОСТ Р 52003-2003. Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2003. – 10 с.

9. Средства поражения и боеприпасы: учебник / под общ. ред. В.В Селиванова – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 984 с.

10. Балаганский И. А., Мержневский Л. А. Действие средств поражения и боеприпасов: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2004. – 408 с.

11. Никос Кристофидес. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. – 432 с.

12. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т. 8. Эксплуатация и ремонт / под общ. ред. В. С. Авдеевского – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.

13. Эксплуатация и ремонт средств связи / под ред. А.Я. Маслова – СПб.: ВИКА им. А. Ф. Можайского, 1995. – 533 с.

14. Carlucci D. E., Jacobson S. S. Ballistics – theory and design of guns and ammunition. 1st ed. – US: CRC Press; 2008. – 512 p.

15. Воловиков В. С., Семенов С. С., Чихачев В. А. Программное обеспечение расчета стойкости образцов военной техники связи к поражающим факторам огневого воздействия «Прогноз» // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 1524. Зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ и баз данных ВАС 04.06.2015 г.

16. Гречишников Е. В., Поминчук О. В., Иванов В. А., Шашкина Н. А., Белов А. С. Способ моделирования отказов и повреждений сетей связи // Патент РФ № 2351012. 2009. Бюл. № 9.

17. Войцеховский А. И., Белов А. С., Киселев А. А., Иванов В. А., Кривенцов О. Б., Мельнов А. И. Способ моделирования преднамеренных повреждений элементов сети связи // Патент РФ № 2449366. 2012. Бюл. № 12.

18. Семенов С. С., Белов А. С., Воловиков В. С. и др. Способ моделирования системы управления и связи // Патент РФ № 2648584, 26.03.2018.

References

1. State Standard R 5311-2008. Stability of the Public Communication Network. Requirements and Verification Methods. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 16 p. (in Russian).
2. Ermishyan A. G. *Teoreticheskiye osnovy postroyeniya sistem voyennoy svyazi v obyedineniyakh i soyedineniyakh*. Chast 1. *Metodologicheskiye osnovy postroyeniya organizatsionno-tekhnicheskikh sistem voyennoy svyazi* [Theoretical Basis for the Development of Military Communication Systems in Associations and Connections. Part 1. Methodological Basis for the Construction of Organizational and Technical Systems of Military Communication]. St. Petersburg, Military Academy of Communications Publ., 2005. 740 p. (in Russian).
3. Bobrikov A. A. *Otsenka effektivnosti ognevogo porazheniya udarami raket i ognem artillerii* [Evaluation of the Effectiveness of Fire Damage by Missile Strikes and Artillery Fire]. St. Petersburg, Galeya-Print Publ., 2006. 424 p. (in Russian).
4. Goncharenko P. D., Kotasonov Y. I., Khaykov V. L. *Modelirovaniye protsessov porazhayushchego deystviya artilleriyskikh boyepripasov s ispolzovaniyem kompyuternogo vychislitelnogo eksperimenta* [Simulation of the Processes of Artillery Ammunition Damaging Action Using Computer-Aided Computational Experiment]. Sevastopol, Nakhimov Academy of Naval Forces Publ., 2012. 216 p. (in Ukraine).
5. Volovikov V. S. Model of Process of Restoration of Military Equipment of Communication in the Conditions of Wartime. *Perspektivnyye sistemy i zadachi upravleniya. Sbornik materialov 9 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Advanced Systems and Control Problems. Proceedings of the 9th All-Russian Scientific and Practical Conference]. Taganrog, Southern Federal University, 2014, pp. 19-28 (in Russian).
6. Ozhegov S. I., Shvedova N. Y. *Tolkovyy slovar russkogo yazyka. 80000 slov i frazeologiy vyrazheniy. 2-e izd* [Explanatory Dictionary of the Russian Language. 80000 Words and Phraseology of Expressions. 2nd ed.]. Moscow, AZ Publ., 1994. 928 p. (in Russian).
7. Volovikov V. S. Methodical maintenance of forecasting of requirements of system of restoration of equipment of communication and the automated control systems in sets of military-technical property of communication. *Systems of Control, Communication and Security*, 2015, no. 1, pp. 19-28. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2015-01/04-Volovikov.pdf> (accessed 9 January 2019).
8. State Standard R 52003-2003. Levels of Downsizing of Electronic Equipment. Terms and Definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2003. 10 p. (in Russian).
9. Selivanov V. V. *Sredstva porazheniya i boepripasy* [Means of Destruction and Ammunition]. Moscow, Bauman Moscow State University for the Technical Publ., 2008. 984 p. (in Russian).
10. Balaganskii I. A., Merzhnevsky L. A. *Deystvie sredstv porazheniya i boepripasov* [Action Means of Destruction and Ammunition]. Novosibirsk, Novosibirsk State University for the Technical Publ., 2004. 408 p. (in Russian).

11. Nikos Kristofides. *Teoriya grafov. Algoritmicheskiy podkhod* [Graph Theory. An Algorithmic Approach]. Moscow, Mir Publ., 1978, 432 p. (in Russian).
12. Avduyevskiy V. S. *Nadezhnost i effektivnost v tekhnike. V 10 t. T. 8. Ekspluatatsiya i remont* [Reliability and efficiency in engineering. Vol. 10, no. 8. Operation and repair]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1990. 320 p. (in Russian).
13. Maslov A. Y. *Ekspluatatsiya i remont sredstv svyazi* [Operation and Repair of Communication Facilities]. St. Petersburg, Mozhayskiy Military Space Engineering Academy Publ., 1995. 533 p. (in Russian).
14. Carlucci D. E., Jacobson S. S. *Ballistics – Theory and Design of Guns and Ammunition*. 1st ed. US. CRC Press, 2008. 512 p.
15. Volovikov V. S., Semenov S. S., Chikhachev B. A. *Programmnoye obespecheniye rascheta stoykosti obraztsov voyennoy tekhniki svyazi k porazhayushchim faktoram ogneвого vozdeystviya «PROGNOZ». Svidetel'stvo ob ofitsial'noi registratsii programm dlya EVM* [Software for Calculating the Resistance of Military Communication Equipment to Fire Impact Factors «FORECAST». The Certificate on Official Registration of the Computer Program]. № 1524, 2015.
16. Grechishnikov E. V., Pominchuk O. V., Ivanov V. A., Shashkina N. A., Belov A. S. *Sposob modelirovaniya otkazov i povrezhdenij setej svyazi* [Method of Modelling Failures and Damages of Communication Networks]. Patent Russia, no. 2351012. 2009.
17. Vojcekhovskij A. I. Belov A. S. Kiselev A. A. Ivanov V. A. Krivencov O. B. Melnov A. I. *Sposob modelirovaniya prednamerennykh povrezhdenij ehlementov seti svyazi* [Method for Modelling Intentional Damage to the Elements of the Communication Network]. Patent Russia, no. 2449366. 2012.
18. Belov A. S., Volovikov V. S., Grechishnikov E. V., Zrilov O. Y., Semenov S. S., Skubyev A. V. *Sposob modelirovaniya sistemy upravleniya i svyazi* [Method of Control and Communication System Modelling]. Patent Russia, no. 2648584. 2018.

Статья поступила 29 января 2019 г.

Информация об авторах

Семенов Сергей Сергеевич – доктор технических наук, доцент. Профессор кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Область научных интересов: надежность сетей связи, логистика, имитационное моделирование, управление сложными системами. E-mail: semsem@yandex.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Белов Андрей Сергеевич – кандидат военных наук, доцент. Докторант. Михайловская военная артиллерийская академия. Область научных интересов: живучесть инфокоммуникационных систем в условиях деструктивных воздействий. E-mail: andrej2442016@yandex.ru

Адрес: 195009, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 22.

Воловиков Владимир Сергеевич – кандидат технических наук. Доцент кафедры технического обеспечения связи и автоматизации. Военная академия связи имени Маршала Советского союза С.М. Буденного. Область научных ин-

тересов: надежность сетей связи, логистика, управление сложными системами.
E-mail: bbcvvc@yandex.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Скубьев Александр Васильевич – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Аджункт. Михайловская военная артиллерийская академия. Область научных интересов: живучесть инфокоммуникационных систем в условиях деструктивных воздействий. E-mail: skub7777@mail.ru

Адрес: 195009, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 22.

Method of determining the required stability of communication network equipment from external destructive impacts

S. S. Semenov, A. S. Belov, V. S. Volovikov, A. V. Skubiev

Purpose. Specific conditions for the operation of the communication network may affect the degree of damage to its elements. Knowing the indicators of stability of the equipment can determine the requirements for indicators of survivability and reliability of the communication network. Based on the simulation of the damaging action is necessary to determine the technical condition of the communication equipment. **Novelty.** The developed methodology takes into account the design of communication equipment, as well as its tasks. The approach allows us to estimate the resistance of the integral part of a given level of disaggregation of equipment to the impacts of damaging factors. **Result.** Simulation of damaging effects allows to predict the technical condition of communication equipment. The resulting values of the indicators of damage to the components of the sample means of communication to assess its properties: stability and reliability. This assessment is the basis for solving the scientific and technical problem of determining the required values of the stability of the communication network - coefficient of operational readiness. The effect of the application of the developed method of justification of the required level of resistance of communication networks in terms of external destructive effects in comparison with the known is 11 %. **Practical relevance.** The proposed method is proposed to be implemented in the form of software for electronic computers. The presence of such scientific and methodological support will allow to use it to assess the functioning of communication networks: in their design and operation, in the educational process, as well as in the course of research, solving the problem of quality management. The developed criteria of efficiency of functioning of system of restoration of a communication network can be used by officials. The results of the methodology can be used to plan the activities of material support, determine the number of spare parts, the organization of protection of elements of the communication network.

Key words: stability, communication network, communication equipment, external destructive impacts, modelling, methodology, an integral part of the equipment, coefficient of operational readiness.

Information about Authors

Sergey Sergeevich Semenov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Professor at the Department of technical support of communication and automation. Military Academy of Communications. Field of research: reliability of communication networks, logistics, simulation modelling, control of complex systems. E-mail: sem-sem@yandex.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.

Andrey Sergeevich Belov – Ph.D. of Military Sciences, Docent. Doctoral Candidate. Mikhailovskaya Military Artillery Academy. Field of research: survivability

of infocommunication systems in the conditions of destructive influences. E-mail: andrej2442016@yandex.ru

Address: Russia, 195009, Saint-Petersburg, Komsomola str. 22.

Vladimir Sergeevich Volovikov – Dr. habil. of Engineering Sciences, Docent. Associate Professor at the Department of technical support of communication and automation. Military Academy of Communications. Field of research: reliability of communication networks, logistics, control of complex systems. E-mail: bbcvvc@yandex.ru

Address: Russia, 194064, Saint-Petersburg, Tihoreckiy prospekt, 3.

Alexander Vasilyevich Skubyeu – Doctoral Student. Postgraduate student. Mikhailovskaya Military Artillery Academy. Field of research: survivability of infocommunication systems in the conditions of destructive influences. E-mail: skub7777@mail.ru

Address: Russia, 195009, Saint-Petersburg, Komsomola str. 22.