

# МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА, УЧИТЫВАЮЩАЯ КОМПЛЕКСНЫЙ ХАРАКТЕР ДЕСТРУКТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

A MODEL FOR PREDICTING THE STATE OF ELEMENTS OF A SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORK USING THE LOGICAL-PROBABILISTIC METHOD, TAKING INTO ACCOUNT THE COMPLEX NATURE OF THE DESTRUCTIVE IMPACT

**M. Pylinsky**  
**M. Latushko**  
**N. Tereshkin**  
**E. Samokhin**  
**S. Krivtsov**

*Summary.* The article presents a model for predicting the state of elements and structures of a special-purpose communication network, characterized in that the approach to modeling the destructive impact is based on the quasistationary effect of the process by stage on the elements (objects) of the network with variable intensity in a complex, heterogeneous and multilevel form, including using the logical-probabilistic method, which allows assessing the structural-probabilistic parameters of the process of functioning of the special-purpose communication network and its elements.

*Keywords:* communication network, communication node, model, stability, structure.

**Пылинский Максим Валерьевич**

К.в.н., ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
 pylinskii.maksim@mail.ru

**Латушко Максим Михайлович**

Адъютант, ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
 maxconi81@gmail.ru

**Терешкин Николай Михайлович**

Адъютант, ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
 Mihalych08pskov@mail.ru

**Самохин Евгений Сергеевич**

Адъютант, ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
 evgenysamohin2006@rambler.ru

**Кривцов Станислав Петрович**

Старший преподаватель, ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
 staskriv@mail.ru

*Аннотация.* В статье представлена модель прогнозирования состояний элементов и структур сети связи специального назначения, отличающаяся тем, что подход к моделированию деструктивного воздействия основан на квазистационарности процесса воздействия по этапам на элементы (объекты) сети с переменной интенсивностью в комплексном, разнородном и разноразном виде, в том числе с применением логико-вероятностного метода, что позволяет производить оценку структурно-вероятностных параметров процесса функционирования сети связи специального назначения и ее элементов.

*Ключевые слова:* сеть связи, узел связи, модель, устойчивость, структура.

**Н**значение модели — стохастическая, дискретная модель невосстанавливаемых систем для прогнозирования последствий квазистационарного процесса деструктивных воздействий по элементам (объектам) сети связи специального назначения (СС СН) по этапам функционирования.

В модели учитываются четыре класса объектов (элементов) СС СН: элементы (объекты) полевых (стационарных) узлов связи (УС) пунктов управления (ПУ); элементы (объекты) полевых (стационарных) опорных (транспортных) сетей связи министерств и ведомств; объекты (элементы) территориальной сети связи (ТСС); объекты

(элементы) сети связи общего пользования (ССОП). В соответствии с этим структура модели представляет собой четыре взаимосвязанных, достаточно самостоятельных функциональных блока частных моделей. Для примера далее рассмотрено моделирование УС ПУ.

В ходе моделирования по разработанным алгоритмам производится расчет вероятности поражения элементов (объектов) УС и УС в целом (по направлениям связи в СС СН на разных организационных уровнях). Причем весь период функционирования разбит на временные интервалы (этапы) (в соответствии с выполняемыми задачами). Расчет вероятности поражения элементов (объектов) УС и УС в целом осуществляется для каждого критически важного элемента (объекта), подвергнутого воздействию, и на этой основе прогнозируется вероятное снижение устойчивости УС, направления связи (НС) ими образованных и всей СС СН.

Исходные данные, необходимые для моделирования воздействия по элементам (объектам) СС СН, подразделяются на стационарные и переменные. Особенностью подготовки стационарных исходных данных для прогнозирования состояний элементов (объектов) СС СН является вариативность их назначения: элементы (объекты) полевых (стационарных) УС ПУ; элементы (объекты) полевых (стационарных) опорных (транспортных) сетей связи министерств и ведомств; объекты (элементы) ТСС; объекты (элементы) ССОП. Различное назначение элементов проявляется, прежде всего, в различных показателях пропускной способности, на создаваемых линиях связи различными родами связи, структурной устойчивости сети. Стационарные исходные данные отражают общие характеристики элементов (объектов) СС СН их линейные (площадные) размеры, емкость линий каналов связи, нормативные параметры (как правило, директивные значения оперативности выполнения тех или иных мероприятий).

Особенностью подготовки переменных исходных данных для моделирования является то, что они могут существенно изменяться с целью обеспечения требуемых качеств и оперативности принимаемых решений по защите элементов и изменению структуры СС СН. Перечень критически важных элементов (объектов) СС СН (по направлениям связи) является основными данными для моделирования и формируется заблаговременно. При этом критически важные элементы (объекты) СС СН группируются: по территории; по направлениям связи; по приоритетам (важности). Количество применяемых противником средств воздействия, их комплексирование на квазистационарных промежутках времени и, следовательно, количество пораженных элементов (объектов) СС СН являются основными переменными данными моделирования (т.е. изменяемыми в процес-

се моделирования, с целью нахождения рациональных решений и получения достоверных результатов). К переменным исходным данным относятся: сведения о возможных деструктивных воздействиях (противника, природные бедствия и техногенные катастрофы), определяющих, прежде всего, количество объектов (элементов) СС СН, которые, предположительно, могут быть поражены; показатели важности (приоритеты) объектов СС СН; конкретный перечень пораженных объектов СС СН.

Наиболее важным переменным показателем является первый — количество средств поражения противника, достигших цели. Достаточно очевидно существование бесконечного множества сценариев моделирования, в зависимости от различных значений этого параметра. Большое значение имеет также относительная плотность распределения средств поражения по операционным направлениям, оказывающая решающее влияние на последующие возможности войск по проведению операций (боевых действий).

По результатам моделирования для заданных исходных данных осуществляется прогноз:  $P_{ж} nlk(t)$  — вероятность выживания  $n$ -го элемента в условиях воздействия различных видов, на  $l$ -м организационном уровне, в  $k$ -м НС, на определенном этапе.

Вероятность  $P_{ж} nlk(t)$  выживания  $n$ -го элемента в условиях воздействия различных видов рассчитывается с применением общего логико-вероятностного метода [2, 3] как вероятность сохранения минимальной топологической связности между абонентским терминалом пользователя и узлом связи корреспондента.

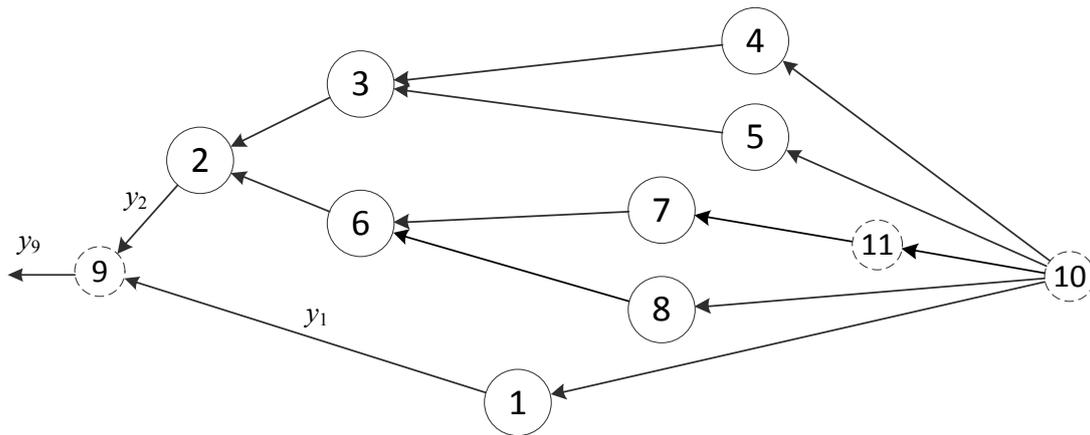
Схема функциональной целостности в виде ориентированного графа для типового варианта построения УС ПУ изображена на рисунке 1. Вершинами графа приняты элементы УС. Фиктивными вершинами в схеме функциональной целостности обозначены абонентский терминал пользователя, ССОП и УС корреспондента. Каждой фиктивной вершине соответствует условное логически достоверное событие, вероятность которого равна единице.

Логическими критериями целостности для представленной схемы являются условия:

$$y_9 = y_1 \vee y_2, \tag{1}$$

$$\bar{y}_9 = \bar{y}_1 \cdot \bar{y}_2. \tag{2}$$

Истинность логического критерия целостности (1) достигается при наличии потока сообщений на выходе хотя бы одной из вершин — 1 или 2 и свидетельствует о работоспособном состоянии УС. Логическое выраже-



- 1 – средства прямой связи;
- 2 – оборудование абонентского доступа;
- 3, 6 – коммутационное оборудование;
- 4, 5, 7, 8 – оборудование доступа к опорной (транспортной) сети;
- 9 – абонентский терминал пользователя;
- 10 – УС корреспондента;
- 11 – ССОП.

Рис. 1. Схема функциональной целостности УС ПУ

ние (1) истинно при одновременном отсутствии потоков сообщений из вершин 1 и 2 и является условием неработоспособного состояния УС.

Раскрывая логический критерий целостности (1) по схеме функциональной целостности, получаем логическую функцию работоспособности схемы узла связи:

$$y_9 = 1 \vee 2 \cdot (3 \cdot (4 \vee 5) \vee 6 \cdot (7 \vee 8)). \quad (3)$$

Применяя к (3) правила де Моргана, получаем бесповторную форму логической функции в базисе конъюнкция-отрицание:

$$y_9 = \overline{1} \cdot \overline{2} \cdot \overline{3} \cdot \overline{4} \cdot \overline{5} \cdot \overline{6} \cdot \overline{7} \cdot \overline{8}. \quad (4)$$

Бесповторная форма в базисе конъюнкция-отрицание является формой перехода к замещению, то есть позволяет перейти от логической функции к вероятностной функции [2, 3]:

$$P_{жнк}(y_9 = 1, t) = 1 - Q_1(t) \cdot (1 - (1 - R_2(t) \cdot (1 - R_3(t) \cdot (1 - Q_4(t) \cdot Q_5(t))) \cdot (1 - R_6(t) \cdot (1 - Q_7(t) \cdot Q_8(t))))), \quad (5)$$

где:  $R_j(t)$  — вероятность работоспособного состояния  $n$ -го элемента в условиях воздействий различных видов, на  $l$ -м организационном уровне, в  $k$ -м НС, на определенном этапе;  $Q_j(t)$  — вероятность неработоспособного состояния  $n$ -го элемента в условиях воздействия различных видов, на  $l$ -м организационном уровне, в  $k$ -м НС, на определенном этапе.

Вероятностная функция (5) позволяет получить числовое значение вероятности сохранения минимальной топологической связности между элементами первичной и вторичной сети и характеризует структурную живучесть УС.

При неудовлетворительном значении показателя живучести УС возникает необходимость решения обратной задачи для неработоспособного состояния схемы с целью отыскания «слабых» звеньев. Решение обратной задачи в форме минимального сечения получим, раскрывая по схеме функциональной целостности логический критерий целостности (2):

$$\bar{y}_9 = \overline{1} \cdot \overline{2} \vee \overline{1} \cdot \overline{3} \cdot \overline{6} \vee \overline{1} \cdot \overline{3} \cdot \overline{7} \cdot \overline{8} \vee \overline{1} \cdot \overline{4} \cdot \overline{5} \cdot \overline{6} \vee \overline{1} \cdot \overline{4} \cdot \overline{5} \cdot \overline{7} \cdot \overline{8}. \quad (6)$$

Элементарные конъюнкции в выражении (6) представляют собой минимальные сечения. Каждое минимальное сечение состоит из элементов схемы, одновременный выход из строя которых приводит к неработоспособности всей схемы (всего УС). Повысить общую устойчивость УС можно расширением минимальных сечений, которое достигается двумя способами: 1) улучшением устойчивости элементов образующих минимальные сечения (применением тактической маскировки и инженерного оборудования, а также резервированием оборудования); 2) дублируя такие элементы, создавая обходные пути прохождения сообщений.

Основные ограничения и допущения, применяемые при моделировании: структура ТСС, ССОП задана и неизменна при различных способах, составах, структур применения сил и средств поражения; УС относятся к точечным объектам, если их линейные размеры не превышают 0,2 радиуса поражающего воздействия применяемого боеприпаса, а их состояние после воздействия могут иметь только два значения (либо узел связи сохранил работоспособность, либо полностью вышел из строя); вероятность восстановления элементов системы связи в заданное время после отказа  $P_{\text{восст}}(t)$  не учитывается.

Принятое предположение о квазистационарности процесса воздействия с переменной интенсивностью на протяжении конкретного этапа моделирования является достаточно обоснованным, так как всегда, с необходимой для практических расчетов точностью, можно весь период моделирования разбить на участки (этапы), где принятое допущение будет справедливым.

На основе разработки и апробации модели воздействия противника по элементам (объектам) СС СН показаны принципиальные возможности прогнозирования последствий различных вариантов деструктивных воздействий в предельно сжатые сроки, при существенной их вариации, основных направлений и мощности потока воздействий, а также относительной значимости (важности) поражаемых элементов (объектов). Разработанная модель включает оценку вероятности поражения элементов (объектов) СС СН и функциональную целостность ее структуры. Представленная модель отличается учитываемыми переменными данными по возможному поражению элементов (объектов) СС СН различными видами деструктивных воздействий на различных уровнях функционирования по этапам. Динамика состояния элементов (объектов) и структуры СС СН оценивается с учетом функциональной целостности, определяемой общим логико-вероятностным методом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Привалов А. А. Метод топологического преобразования стохастических сетей и его использование для анализа систем связи ВМФ. — СПб: ВМА, 2000. — 166 с.
2. Рябинин И.А., Черкесов Г. Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем. М.: Радио и связь, 1981. — 264 с.
3. Можаяев А. С. Общий логико-вероятностный метод анализа надежности сложных систем. Уч. пособие. Л.: ВМА, 1988. — 68 с.

© Пылинский Максим Валерьевич (pylinskii.maksim@mail.ru), Латушко Максим Михайлович (maxconi81@gmail.ru),  
Терешкин Николай Михайлович (Mihalych08pskov@mail.ru), Самохин Евгений Сергеевич (evgenysamohin2006@rambler.ru),  
Кривцов Станислав Петрович (staskriv@mail.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»