

# КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТЕЙ И РАЗРУШЕНИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ УСТОЙЧИВОСТИ УЗЛА СВЯЗИ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

## CLASSIFICATION OF NETWORK ELEMENTS AND DAMAGE WHEN CALCULATING THE STABILITY OF A COMMUNICATION NODE OF A SPECIAL-PURPOSE COMMUNICATION NETWORK

**G. Burlo  
L. Orlova  
S. Krivtsov  
S. Koryagin  
Tseden-Ish Erdenetuya  
E. Barieva**

*Summary.* The article discusses some issues of applying the methods of mathematical and simulation modeling for analyzing the stability of existing and prospective integrated information networks under the destructive effects of various kinds. A mathematical model of an information network is described, as well as mathematical models of networks, their main characteristics and operations with them.

*Keywords:* methods of mathematical and simulation. Primary network, network nodes and network stations, transmission systems, multichannel communication lines, secondary network, access nodes, switching stations, communication channels.

**Р**ассматриваются некоторые вопросы применения методов математического и имитационного моделирования для анализа устойчивости существующих и перспективных интегральных информационных сетей при разрушающих воздействиях различного характера. Для решения задач моделиро-

**Бурло Глеб Владимирович**  
Адъюнкт, ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого»  
(г. Санкт Петербург)  
gleb.burlo@yandex.ru

**Орлова Людмила Ивановна**  
Преподаватель, ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого»  
(г. Санкт Петербург)  
akacia25@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

**Корягин Сергей Александрович**  
ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала  
Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
bagrationspb@yandex.ru

**Цэдэн-Иш Эрдэнэтуяа**  
Адъюнкт, ФГКВУ ВО «Военная академия связи  
им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт  
Петербург)  
erka\_ts76@yahoo.com

**Бариева Эвелина Альбертовна**  
ФГКВУ ВО «Военная академия связи им. Маршала  
Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
ewelina.barieva@mail.ru

*Аннотация.* в статье рассмотрены некоторые вопросы применения методов математического и имитационного моделирования для анализа устойчивости существующих и перспективных интегральных информационных сетей при разрушающих воздействиях различного характера. Описана математическая модель информационной сети, а также математические модели сетей их основные характеристики и операции с ними.

*Ключевые слова:* методы математического и имитационного моделирования. Первичная сеть, сетевые узлы и сетевые станции, системы передачи, многоканальные линии связи, вторичная сеть, узлы доступа, коммутационные станции, каналы связи.

вания разрушающих воздействий на сеть предлагается использовать модель на основе нестационарной иерархической и стационарной гиперсетей. Основная структурная характеристика связана с устойчивостью диаметра гиперсети при разрушениях различного типа. [1]



Рис. 1. Классификация типов разрушающих воздействий

Классификация элементов сетей и разрушений. Для того чтобы проводить всесторонний анализ устойчивости информационных сетей, необходимо рассматривать отдельно не только первичные или вторичные сети, но и все сети передачи данных в совокупности. Такие объединенные сети будем называть интегральными информационными сетями.

Классификация элементов сети. Объектом исследования является интегральная информационная сеть (ИИС), построенная на основе современных информационно-коммуникационных технологий. Рассмотрим необходимую классификацию основных элементов ИИС. Интегральная информационная сеть состоит из следующих подсистем:

Первичная сеть:

- ◆ сетевые узлы и сетевые станции;
- ◆ системы передачи, многоканальные линии связи;

Вторичная сеть:

- ◆ узлы доступа, коммутационные станции;
- ◆ каналы связи, пучки каналов;

- ◆ терминальное оборудование (АТС, локальная сеть, ПК и другое оборудование).

Центры управления, транзитные, транзитно-оконечные и оконечные узлы (персонал, здания и сооружения, оборудование связи, система управления).

Разрушающие воздействия и их классификация. Общая классификация основных типов разрушающих воздействий (РВ) и их поражающих факторов приведена на рис. 1 [1].

Математическая модель информационной сети. Рассматриваются математические модели сетей, а также их основные характеристики и операции с ними.

Гиперсетевые модели. Формально абстрактную гиперсеть можно определить шестеркой

$AS = (X, V, R, P, F, W)$ , включающей следующие объекты:

$X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – множество вершин;

$V = (v_1, v_2, \dots, v_g)$  — множество ветвей;

$R = (r_1, r_2, \dots, r_m)$  — множество ребер;

$P: V \rightarrow 2^X$  — отображение, сопоставляющее каждому элементу  $v \in V$  множество  $P(v)$  с  $X$  его вершин. Тем самым отображение  $P$  определяет гиперграф  $PS = (X, V; P)$ ;

$F: R \rightarrow 2^V_{PS}$  — отображение, сопоставляющее каждому элементу  $r \in R$  множество  $F(r)$  его ветвей, причем семейство подмножеств ветвей  $2^V_{PS}$  содержит такие подмножества, ветви которых составляют связную часть гиперграфа  $PS$ ; отображение  $F$  определяет гиперграф  $PS = (X, V; P)$ ;

$W: r \rightarrow 2^{P(F(r))} \forall r \in R$  — отображение, сопоставляющее каждому элементу  $r \in R$  подмножество  $W(r)$  с  $P(F(r))$  его вершинами, где  $P(F(r))$  — множество вершин в  $PS$ , инцидентных ветвям  $F(r)$  с  $V$  таким образом, отображение  $W$  определяет гиперграф  $WS = (X, R, W)$ .

Гиперграф  $PS$  назовем первичной сетью гиперсети  $AS$ , а гиперграф  $WS$  — вторичной.

Отличия графа системы связи от графа сети заключается в том, что структура первого отображает структуру всей первичной сети (что не обязательно для графа вторичной сети) и всех вторичных сетей. Иначе говоря, граф вторичной сети по отношению к графу системы связи является подграфом или частичным графом. [2]

Виды удаления элементов:

удаление ребер: ребро  $r$  будет удалено, если из графа  $WS$  будет удалено ребро  $r$ ;

удаление ветвей: ветвь  $v$  будет удалена, если она будет удалена из графа первичной сети  $PS$ , а из графа вторичной сети будут удалены все инцидентные этой ветви ребра.

Для гиперсетей различают три способа удаления вершин:

Вершина  $x$  будет внутренне удалена, если будут удалены все инцидентные ей ребра, т.е. в графе  $WS$  вершина  $x$  окажется изолированной. [1]

Вершина  $x$  будет внешне удалена, если будут удалены все слабоинцидентные (но не инцидентные) ей ребра. На графе  $WS$  это соответствует удалению некоторого подмножества ребер, а на гиперграфе  $FS$  — слабому удалению подмножества ребер.

Вершина  $x$  будет удалена, если будут удалены она сама и все инцидентные ей ветви.

Маршруты и виды диаметра. Маршрутом в гиперсети  $S = (X, V, R)$  называется конечная последовательность  $\hat{1} = (x_1, r_1, x_2, \dots, x_{k-1}, r_{k-1}, x_k)$ , составленная из элементов  $X, R$  таким образом, что вершины и ребра чередуются, а два любых соседних элемента инцидентны.

Квазимаршрутом в гиперсети  $S = (X, V, R)$  называется конечная последовательность  $\mu$ , в которой пара соседних элементов  $(x_i, r_i)$  инцидентны, а  $(r_i, x_{i+1})$  слабоинцидентны.

Если в определении маршрута заменить инцидентность на слабую инцидентность, то получится определение слабого маршрута.

Рангом  $\delta$  маршрута  $\mu$  (квазимаршрута, слабого маршрута) называется число ребер (или частей ребер), принадлежащих этому маршруту.

Отдаленность (квазиотдаленность, слабая отдаленность) между вершинами численно равна рангу кратчайшего маршрута (квазимаршрута, слабого маршрута), соединяющего эти вершины, и обозначается через

$$\delta(x, y), \bar{\delta}(x, y), \bar{\bar{\delta}}(x, y).$$

Длиной ребра (или его части) называется число ветвей, инцидентных этому ребру (части ребра).

Длина  $\rho_\mu$  маршрута  $\mu$  (квазимаршрута, слабого маршрута) равна суммарной длине ребер (частей ребер), входящих в маршрут  $\mu$ .

Расстояние (квазирасстояние, слабое расстояние) между вершинами  $x, y \in X$  в гиперсети  $S$  равно длине кратчайшего маршрута (квазимаршрута, слабого маршрута), соединяющего эти вершины.

Под диаметром (квазидиаментом, слабым диаметром) гиперсети  $S$  понимается значение максимальной отдаленности (квазиотдаленности, слабой отдаленности) вершин гиперсети.

Определения устойчивых гиперсетей. Для упрощения понимания и лучшей структуризации рассмотрение модели будет начато с частного случая. Из приведенной выше теории следует, что для гиперсети необходимо определить несколько видов свойства  $(k, d)$ -устойчивости. Разные модели могут требовать различные виды удаления вершин, кроме того, может потребоваться выяснить, какое влияние оказывает тот или иной вид удаления на тот или иной вид диаметра. Поэтому можно определить девять видов свойства. Каждая ячейка табл. 1, по сути, определяет вид свойства.

Таблица 1. Виды свойства  $(k, d)$ -устойчивости

Вид удаления	Диаметр	Квазидиаметр	Слабый диаметр
Удаление	$(k, d)$ — устойчивость по диаметру и удалению	$(k, d)$ — устойчивость по квазидиаметру и удалению	$(k, d)$ — устойчивость по слабому диаметру и удалению
Внутреннее удаление	$(k, d)$ — устойчивость по диаметру и внутреннему удалению	$(k, d)$ — устойчивость по квазидиаметру и внутреннему удалению	$(k, d)$ — устойчивость по слабому диаметру и внутреннему удалению
Внешнее удаление	$(k, d)$ — устойчивость по диаметру и внешнему удалению	$(k, d)$ — устойчивость по квазидиаметру и внешнему удалению	$(k, d)$ — устойчивость по слабому диаметру и внешнему удалению

Ниже приведены определения устойчивых гиперсетей (таблица 1).

Гиперсеть  $S$  называется  $(k, d)$ -устойчивой по диаметру и внутреннему (внешнему) удалению, если при внутреннем (внешнем) удалении любых ее  $k$  вершин  $\{x_i\}$  диаметр подгиперсети  $S' = (X \setminus \{x_i\}, V', R')$  не превышает  $d$ .

Гиперсеть  $S$  называется  $(k, d)$ -устойчивой по квазидиаметру и внутреннему (внешнему) удалению, если при внутреннем (внешнем) удалении любых ее  $k$  вершин  $\{x_i\}$  квазидиаметр подгиперсети  $S' = (X \setminus \{x_i\}, V', R')$  не превышает  $d$ .

Оценка влияния разрушающих воздействий на основные элементы сети. 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.

Наиболее эффективными показателями устойчивости являются характеристики сетей, связанные с потоками в них, например: 1) математическое ожидание максимального  $(s - t)$  — потока; 2) коэффициент обеспеченности пропускной способности — отношение математического ожидания максимального  $(s - t)$  — потока к величине максимального  $(s - t)$  — потока в не атакованной сети; 3) вероятность того, что текущий максимальный  $(s - t)$  — поток не меньше заданной величины.[3]

В качестве критерия взят диаметр интегральных информационных сетей специального назначения. Введены понятия  $(k - d)$  — устойчивых гиперсетей и ие-

рархических гиперсетей по различным видам удаления элементов и диаметра;  $(k - d)$  — устойчивость гиперсети является критерием надежности интегральных информационных сетей специального назначения, которой соответствует гиперсеть, по диаметру. Разработаны переборные алгоритмы анализа гиперсетей на устойчивость по известным значениям  $d$  и  $k$ . Эти алгоритмы применимы для небольших гиперсетей. Разработаны алгоритмы определения  $d$  по заданному значению  $k$ : точный переборный алгоритм и алгоритм оценки значения  $d$ , который в случае, если условия задачи позволяют его применять, может давать результат значительно быстрее, чем точный переборный алгоритм.

Различные РВ имеют различные свойства, оказывающие влияние на характер и степень разрушения элементов сетей. Все элементы сети могут иметь два или более состояния: состояние полной работоспособности и состояние полной неработоспособности, а также промежуточные состояния частичной работоспособности в зависимости от степени повреждения, степени защищенности и сложности самого элемента. Степень повреждения должна определяться с учетом типа разрушающего воздействия и свойств элемента, позволяющих это воздействие выдержать. Отсюда следует определение степени работоспособности элемента и его применимости для исполнения основных функций.

При оценке сети с точки зрения ее устойчивости необходимо учитывать все основные параметры сетей, их свойства и отношения, которые оказывают значительное влияние на синтез оптимальной структуры сети связи. Для получения наиболее эффективной оценки необходимо учитывать взаимодействие первичной и вторичной сетей, т.е. в качестве математической модели рассматривать нестационарные гиперсети [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Попков В. К., Блукке В. П., Дворкин А. Б. Модели анализа устойчивости и живучести информационных сетей // Проблемы информатики. — 2009. — № 4. — С 63–78.
2. Дудник Б. Я. Надежность и живучесть системы связи / Б. Я. Дудник, В. Ф. Овчаренко, В. К. Орлов и др. М.: Радио и связь, 1984.
3. Блукке В. П., Ершов К. А., Попков В. К. Об одной концептуальной модели живучести глобальных информационных сетей // Материалы 9-й Междунар. конф. «Проблемы функционирования информационных сетей», Новосибирск, 31 июля — 3 авг. 2006 г. Новосибирск: РИЦ «Прайс-куррьер», 2006. С. 43–47.

---

© Бурло Глеб Владимирович ( [gleb.burlo@yandex.ru](mailto:gleb.burlo@yandex.ru) ), Орлова Людмила Ивановна ( [akacia25@rambler.ru](mailto:akacia25@rambler.ru) ),  
Кривцов Станислав Петрович ( [staskriv@mail.ru](mailto:staskriv@mail.ru) ), Корягин Сергей Александрович ( [bagrationspb@yandex.ru](mailto:bagrationspb@yandex.ru) ),  
Цэдэн-Иш Эрдэнэтуяа ( [erka\\_ts76@yahoo.com](mailto:erka_ts76@yahoo.com) ), Бариева Эвелина Альбертовна ( [ewelina.barieva@mail.ru](mailto:ewelina.barieva@mail.ru) ).  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

