

АСПЕКТЫ ПРЕВЕНТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ СЕТИ СВЯЗИ К РАБОТЕ ПОСЛЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ. ЧАСТЬ II*

А.К. Леваков, заместитель технического директора по эксплуатации МРФ «Центр» ОАО «Ростелеком», к.т.н.; levakov1966@list.ru

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, телекоммуникационная система, превентивная подготовка сети, трафик, отказ.

Введение. В первой части этой статьи [1] было предложено рассматривать состояние сети связи, используя два кортежа. Кортеж (G_0, Y_0, B_0, Q_0) определяется проектными решениями, реализованными оператором связи. Второй кортеж $(G_{ЧС}, Y_{ЧС}, B_{ЧС}, Q_{ЧС})$ характеризует состояние телекоммуникационной системы, измененное вследствие чрезвычайной ситуации (ЧС). Задачу превентивной подготовки сети связи к работе в ЧС можно сформулировать как выбор решений по организации работы сети связи при типичных (наиболее вероятных) изменениях в ее структуре и в характере обслуживаемого трафика. Набор изменений подобного рода образует совокупность сценариев [2], для которых необходимо заранее выбрать правила работы сети.

Количество теоретически возможных изменений в телекоммуникационной системе из-за ЧС, как правило, очень велико. По этой причине одним из важных этапов решения поставленной задачи становится выбор сценариев для детального исследования. Эти сценарии позволяют заранее подготовиться к решению большей части проблем, возникающих в ЧС. Кроме того, выбранные сценарии могут анализироваться до разработки проектных решений. Такой подход позволяет сформулировать рассматриваемую задачу в несколько ином виде. Сначала исследуются кортежи вида $(G_{ЧС}, Y_{ЧС}, B_{ЧС}, Q_{ЧС})$ для всех выбранных сценариев. Результаты анализа дают возможность сформировать кортеж (G_0, Y_0, B_0, Q_0) . Он определяет проектные решения, позволяющие построить сеть связи, для которой характерна устойчивость функционирования при нештатных условиях эксплуатации телекоммуникационной системы.

Выбор основных сценариев. При выборе основных сценариев следует учитывать типичные виды ЧС для рас-

сматриваемой территории площадью S (например, для субъекта Федерации или его части). Кроме того, необходимо обратить внимание на потенциальные угрозы, которые еще не наблюдались в форме ЧС, но вполне возможны. Проведение соответствующего анализа подразумевает применение методов междисциплинарного подхода [3]. Для сбора исходной информации необходимо использовать сведения, накапливаемые и анализируемые организациями разной ведомственной принадлежности.

Особое внимание следует обратить на последствия возможных ЧС, приводящих к отказам основных элементов сети связи – узлов коммутации (УК) и трактов обмена информацией. Их состояние отображает первый элемент обоих кортежей. С учетом влияния последствий ЧС в качестве модели для сети можно выбрать случайный граф или гиперсеть [4, 5].

В большинстве публикаций рассматриваются ситуации, когда УК абсолютно надежны. При исследовании случайных графов такая гипотеза вводится, в частности, для модели Эрлша-Реньи [4]. С точки зрения работы сети связи в ЧС, предположение об отсутствии отказов УК можно считать корректным не во всех случаях. Например, известны ЧС, приводящие к потере внешнего электропитания УК. В результате после разряда аккумуляторных батарей УК переходили в состояние «отказ» при сохранении работоспособности трактов обмена информацией.

Подобные ситуации можно рассматривать с помощью вероятностного графа, в котором абсолютно надежными становятся ребра, а наличие каждой i -й вершины характеризуется случайной величиной, заданной на отрезке времени $0 \leq t \leq T$ функцией распределения $F_i(t)$. Следовательно, для условий ЧС логичнее использовать модели, в которых всем элементам свойственны конечные значения коэффициента готовности [6].

Модель гипотетической сети связи в виде вероятностного графа $G(a, b)$ показана на рис. 1. Количество вершин и ребер, определенных проектным ре-

шением, равно M и N соответственно. Случайные величины $a(k)$ и $b(k)$, определяемые количеством работоспособных вершин и ребер для ЧС k -го вида, имеют размах, который может быть представлен очевидными неравенствами: $0 \leq a(k) \leq M$ и $0 \leq b(k) \leq N$.

Случайные величины $a(k)$ и $b(k)$ принимают целочисленные положительные значения, заданные на конечном интервале с функциями распределения $F_i(k, t)$ и $F_{ij}(k, t)$. Практический интерес связан с распределениями, имеющими конечные значения величин математического ожидания и дисперсии.

Выбор сценариев обычно основан на постановке вопросов вида «что, если?». Предположим, что с учетом характерных особенностей ЧС для того субъекта Федерации, на территории которого построена рассматриваемая сеть, выбраны три типичных сценария с отказами УК и/или трактов обмена информацией. Эти сценарии отображены на рис. 2 в виде двух моделей связи, образуемых после возникновения разных ЧС. Графы различаются между собой количеством работоспособных элементов. Штрихпунктирными линиями обозначены границы территорий с площадями S_1 и S_2 . В этих границах последствия ЧС зачастую приводят к отказам нескольких элементов в составе телекоммуникационной системы.

Анализ структуры первого графа показывает, что в нем не появились изолированные вершины. Это значит, что потенциальные проблемы в работе сети связи до ликвидации последствий ЧС будут заключаться в управлении ресур-

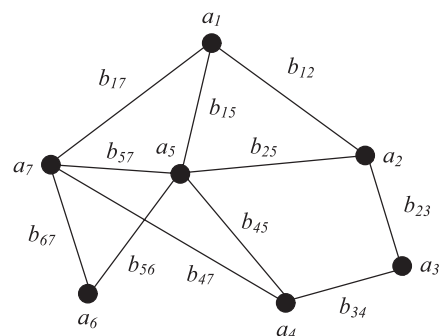


Рис. 1. Модель сети связи в виде случайного графа

* Часть I см. «ЭС», 2013, № 4, с. 42.

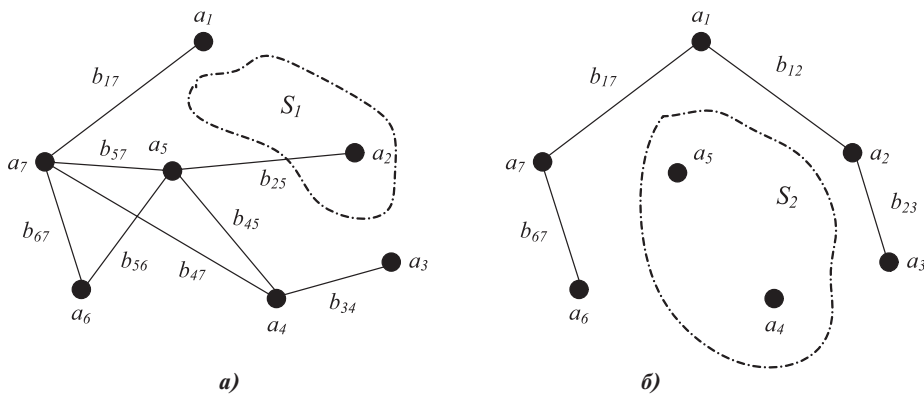


Рис. 2. Две модели сети связи после возникновения разных ЧС: а – граф для первой ЧС; б – для второй ЧС

сами передачи и коммутации, а также в ограничении обслуживаемого трафика. Методом решения возникающих задач посвящена монография [5].

Последствия второй ЧС таковы, что два УК исключены из состава сети связи. Абоненты этих узлов лишаются возможности реализовать свои коммуникативные потребности. На языке математической модели сложившуюся ситуацию следует трактовать так: две вершины исходного графа становятся изолированными. Именно для моделей подобного рода следует особо тщательно разработать комплекс превентивных мер по обеспечению устойчивого функционирования сети связи.

Количество сценариев, пример которых приведен на рис. 2, б, может быть весьма существенным, но его следует ограничить разумной величиной, которую выбирают с учетом статистики ЧС и прогностических оценок.

Другой подход заключается в выборе трех значений числа изолированных вершин графа: минимального, среднего и максимального. Минимальное значение количества изолированных вершин равно единице. В качестве максимального можно выбрать пессимистическую оценку числа отключенных от сети УК X с учетом характера самой неблагоприятной из ожидаемых ЧС. Тогда

среднее количество изолированных вершин оценивается простым соотношением: $0,5(X + 1)$.

Анализ критичных сценариев. Под критичными будем понимать все сценарии, для которых происходит отключение от сети хотя бы одного УК. В ряде случаев потенциальные угрозы для целостности сети связи можно обнаружить на этапе ее строительства или модернизации. Типичный пример таких угроз показан на рис. 3: а – идеализированное проектное решение; б – реализованная структура сети.

Предполагается, что все УК связаны между собой кольцом за счет прокладки кабелей с оптическими волокнами. Проектное решение, показанное на рис. 3, а, соответствует классической кольцевой топологии. При воплощении проектных решений встречаются ситуации, когда на ряде участков сети используется общая кабельная канализация для тех трасс, которые при использовании классической кольцевой топологии не должны совпадать [5, 7].

На рис. 3, б с помощью эллипсов, изображенных пунктирными линиями, отмечены два подобных нарушения структуры классического кольца. Они рассматриваются как потенциальные угрозы. Действительно, при обрыве кабелей на любом участке трассы, марки-

рованным эллипсом, УК исключается из состава сети связи. Минимизация последствий потенциальных угроз подобного рода может достигаться, по крайней мере, двумя способами:

- на этапе реализации проектных решений необходимо строго соблюдать принципы построения классических кольцевых топологий;
- при невозможности избежать прокладки кабелей, формирующих разные трассы, в общей канализации в качестве резервного тракта обмена информацией следует использовать альтернативные решения, например, малокабельную радиорелейную линию (с целью обеспечения услуги связи в ЧС для заранее выбранной группы абонентов).

Одной из метрик критичности сценария может считаться набор целых чисел, определяющих степени вершин графа, служащего моделью сети связи. Для сети, приведенной на рис. 1, степени вершин графа (согласно их нумерации) образуют набор: 3, 3, 2, 3, 5, 2, 4. Чем выше степень, тем более ощутимы последствия ее изоляции. Наиболее удачные сценарии работы сети связи в ЧС могут быть предложены для структуры, в которой степень каждой вершины не ниже заранее заданного порога, а дисперсия этой величины минимальна. Например, в модели междугородной телефонной сети США средняя степень вершины графа близка к трем [8].

При цифровизации городских телефонных сетей во многих странах применялись УК большой емкости. Это привело к росту количества сетей связи, в которых УК соединялись между собой по принципу «каждый с каждым». Следовательно, модель сети представляет собой граф с весьма высокой степенью большинства вершин.

Соображения, изложенные выше, позволяют решить ряд задач, касающихся превентивной подготовки сети связи к работе в ЧС на этапах выбора проектного решения и его реализации. Не менее важной задачей следует считать подход к организации работы телекоммуникационной системы при отключении от сети хотя бы одного УК. При переходе к математической модели задача может быть поставлена как создание новых ребер для включения в состав графа изолированных вершин.

Метод решения этой задачи уместно проиллюстрировать на примере модели, показанной на рис. 2, б. Она воспроизведена на рис. 4 в виде графа, отображающего структуру сети связи после возникновения ЧС. Необходи-

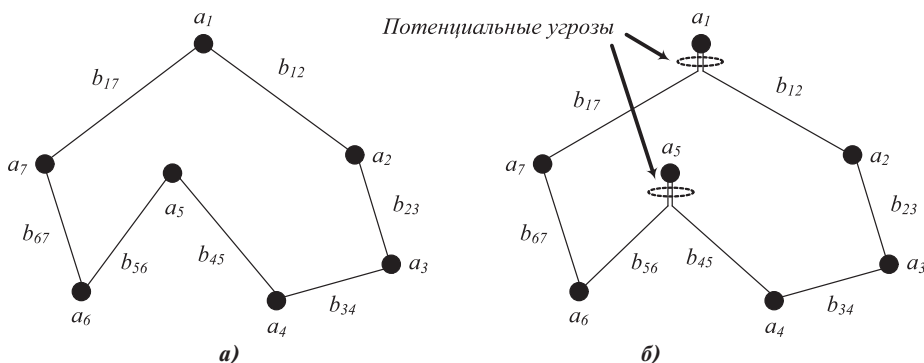


Рис. 3. Различия между проектным (а) и реализованным (б) решениями

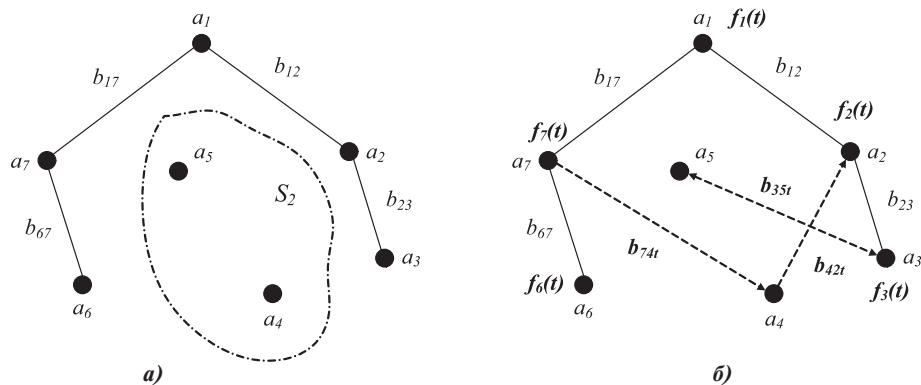


Рис. 4. Пример восстановления связности сети:
а – граф после возникновения ЧС; б – после восстановления связности

мо найти рациональные решения для включения в состав сети двух УК, т.е. на языке математической модели – присоединить к графу изолированные вершины a_4 и a_5 .

Предположим, что заданы (за счет прогноза в процессе анализа критичных сценариев и/или путем измерений после возникновения ЧС) функции $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f_3(t)$, $f_6(t)$ и $f_7(t)$. Они позволяют оценить возможность УК a_i , где $i = 1, 2, 3, 6, 7$, по обработке дополнительного трафика, генерируемого УК a_4 и a_5 . Выбор вида функций $f_i(t)$ – предмет отдельного исследования.

Обработка информации об УК, подключенных к сети, позволяет выбрать способ восстановления связности за счет организации (на время до восстановления всех отказов) трактов обмена информацией. Тот факт, что эти тракты создаются временно, подчеркивает нижний индекс «е» после номера трассы. По всей видимости, построение подобных трактов будет осуществляться за счет беспроводных средств электросвязи. На рис. 4, б показано одно из возможных решений:

- создается тракт обмена информацией b_{35t} , обеспечивающий подклю-

чение УК a_5 ;

- УК a_4 по исходящей связи включается посредством тракта обмена информацией b_{42t} ;

- для организации входящей связи к узлу a_4 создается тракт обмена информацией b_{74t} .

Анализ критичных сценариев позволяет определить необходимые ресурсы передачи и коммутации для восстановления связности сети. Их следует рассматривать как некий запас [9], которым должен управлять оператор связи. Методика оценки необходимого объема запаса и алгоритмы управления имеющимися ресурсами передачи и коммутации – две важные задачи, требующие дополнительной проработки.

Заключение. Качественный вывод из соображений, изложенных в двух частях статьи, можно свести к простому утверждению: для улучшения работы сети связи в условиях ЧС необходима тщательная предварительная подготовка. Она заключается в анализе проектных решений, реализованных при построении или модернизации сети связи, а также сценариев изменения свойств сети, обусловленных возникшей ЧС. Сценарный анализ позволя-

ет сформулировать решения, которые следует предпринять оператору связи для превентивной подготовки эксплуатируемой сети связи к работе в ЧС. Это позволяет дать возможность к количественным выводам. Они, в конечном счете, касаются выбора запаса в виде тех дополнительных средств передачи и коммутации, которые будут задействованы для восстановления связности телекоммуникационной системы, а также для управления имеющимися ресурсами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леваков А.К. Аспекты превентивной подготовки сети связи к работе после возникновения чрезвычайной ситуации. Часть I // Электросвязь. – 2013. – № 4.
2. Линдгрэн М., Бандхольд Х. Сценарное планирование. Связь между будущим и стратегией. – М.: Олимп-Бизнес, 2009.
3. Междисциплинарность в науках и философии / Под ред. И.Т. Касавина. – М.: ИФРАН, 2010.
4. Райгородский А.М. Модели случайных графов. – М.: МЦНМО, 2011.
5. Леваков А.К. Особенности функционирования сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях. – М.: ИРИАС, 2012.
6. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. Основные характеристики надежности и их статистический анализ. – М.: Либроком, 2013.
7. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. – СПб.: Техника связи, 2012.
8. Simmons J.M. Network Design in Realistic «All-Optical» Backbone Networks // IEEE Communications Magazine. – November 2006.
9. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами. – СПб.: Питер, 2001.

Получено 02.04.13

Не забудьте подписаться на журнал «Электросвязь»



- во всех почтовых отделениях по каталогам:

«Агентство «Роспечать», индекс – 71107; «Пресса России», индекс – 41411; «Почта России», индекс – 61854;

- через альтернативные агентства:

«Урал-Пресс» – www.ural-press.ru

- в редакции журнала «Электросвязь»

тел. (495) 625-84-36, e-mail: tim@elsv.ru www.elsv.ru