2. Лукашин О.В., Ловчаков В.И. К синтезу квазиоптимальных систем управления устойчивых в большом для объектов с несимметричными полиномиальными характеристиками. Из. Тульского государственного университета. Сер. «Проблемы управления электротехническими объектами», вып. 3, Тула, 2005.
3. Капалин В.И., Прокопов Б.И. Методы идентификации. М.: МИЭМ, 1989.
4. Попов Е.П., Пальтов И.П. Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем. М.: «Физмат », 1960
5. Капалин В.И. метод пространства состояний в теории управления. М.: МИЭМ, 2000

SYNTHESIS OF LINEAR MODELS FOR NONLINEAR SYSTEMS OF HAMMERSTEIN CLASS.

V.I.Kapalin, Fam Suan Zyong, Le Kuok Tien

A method of discrete analogue of Volterra operator has been worked out for nonparametric identification of objects.

УДК 519.233.2

О НЕКОТОРЫХ МЕТОДАХ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Кузнецов В.В. [1], *Чудинов С.М.* [2], *Жиляков Е.Г.* [3]

1 - государственное образовательное учреждение Московская академия рынка труда и информационных технологий
2 - Зам. Генерального директора по научной работе открытого акционерного общества «НИИ суперЭВМ»
3 - Белгородский государственный университет Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

В статье рассматривается ряд методов оценки надежности мультисервисных сетей связи, носящих в основном, прикладной характер. Наряду с точными методами расчета приведены и приближенные методы, но гарантирующие заданную точность оценки надежности.

1. ВВЕДЕНИЕ

Результатом бурного развития телекоммуникаций за последние годы явилось создание и широкое внедрения мультисервисных сетей связи (МСС). Это дает мощный стимул к быстрому развитию инфокоммуникационного сообщества в стране за счет доступности предлагаемых этими сетями услуг широким слоям населения, органам власти, предприятиям производственной и непроизводственной сфер. Появление глобальной сети Internet, также использующей средства МСС, и растущее громадными темпами количество ее пользователей становится планетарным явлением.

Таким образом, существование общества в настоящее время существенно зависит от функционирования информационных сетей. Это кроме очевидных достоинств имеет и обратную сторону. Отказ сети связи может иметь последствия, превосходящие последствия аварий энергосистемы. В связи с этим проблема оценки и обеспечения надежности сетей является весьма актуальной.

В настоящее время известно большое количество работ, посвященных проблеме исследования надежности сложных систем связи. Однако подавляющее большинство из них носят теоретический характер, демонстрируют алгоритмы и модели оценки надежности и, как правило, для достаточно больших систем и сетей не имеют практического значения. Данная статья носит в основном прикладной характер, то есть в ней делается попытка рассмотрения, анализа и использования в основном известных методов расчета сетевой надежности к практической деятельности операторов МСС.

Поэтому мы исходим из того, что основной целью исследований в области сетевой надежности является стремление разработать методы для инженеров-проектировщиков и операторов связи. чтобы упростить проектирование МСС, требующих повышенной надежности. В идеале, желательно сформировать модели создания и совершенствования сетей и алгоритмы, которые используют в качестве входных данных характеристики сетевых компонентов, а также критерии создания и совершенствования, и выдают на выходе оптимальную структуру сети. Точные выражения для надежности сети очень сложны, поэтому вместо них используются приближенные, но дающие гарантированную точность.

Наибольшие трудности при расчете обычно сопряжены с учетом способа взаимного соединения элементов (структура сети). Поэтому данная статья посвящена оценке именно структурной надежности.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Предметом исследования в данной работе являются мультисервисные сети связи (МСС). Определение понятия МСС проведено исходя из положений руководящего документа Мининформсвязи России РД.45.128-2000 «Сети и службы передачи данных». В этом документе изложены технические принципы, которые должны применяться при построении, функционировании и использовании сетей и служб передачи данных на территории России. В нем определено, что сеть данных или сеть передачи данных (в частном случае МСС) – совокупность узлов и каналов электросвязи, специально созданная для организации связей между определенными точками с целью обеспечения передачи данных между ними. Сети передачи данных не включают в себя оконченное оборудование данных (ООД).

Допускается взаимодействие как сетей, построенных на базе одинаковых технологий, так и сетей, построенных на базе разных технологий. Границей между взаимодействующими сетями является стык в точке соединения сетей. Для взаимодействия между двумя сетями, построенными на базе разных технологий, их следует соединять через функцию взаимодействия (ФВ), которая обеспечивает прозрачную передачу информации.

Поскольку оценка и прогнозирование структурной надежности сложных мультисервисных сетей связи (МСС) на практике вызывает много затруднений в связи с большой размерностью сетей и необходимостью рассмотрения большого числа состояний сети, изложенный выше порядок создания МСС позволяет при анализе и прогнозировании структурной надежности применять принцип декомпозиции системы, то есть когда рассматриваемая система разбивается на меньшие по размеру подсистемы, анализ каждой из которых существенно проще анализа исходной системы.

В соответствие с этим будем рассматривать структурную надежность отдельной сети связи (сети связи регионального оператора). Если же для передачи информации должны быть использованы несколько сетей связи, то в этом случае должна рассматриваться система, элементами которой будут региональные системы со своими характеристиками надежности и т.д.

Руководящим документом РД.45.128-2000 определятся, что нормы на показатели качества обслуживания должны использоваться для связи от «абонента до абонента» в пределах территории России. Это положение также является важным с точки зрения подходов к анализу и прогнозированию показателей структурной надежности, так как он сразу же определяет так называемый двухтерминальный (двухполюсный) подход при решении поставленной задачи.

Элементами МСС являются направления связи, а также технические средства, входящие в состав узлов коммутации, концентраторов нагрузки и комплексов сетевого доступа абонентов. При этом будем полагать, что показатели надежности элементов системы известны и являются исходными данными для расчета структурной надежности МСС.

Современные МСС имеют весьма сложную структуру, которая в частном случае может сводится к последовательно-параллельным соединением с точки зрения надежности, а в общем же случае структура МСС имеет более сложную структуру и для расчета и прогнозирование ее надежности необходимо применять другие методы, рассматриваемые ниже.

Мультисервисные сети связи относятся к классу так называемых систем с монотонной структурой (последовательно-параллельные и параллельно-последовательные структуры являются частным случаем таких систем). Для них характерно свойство, заключающееся в том, что их характеристики монотонно ухудшаются (не улучшаются) при ухудшении характеристик надежности составляющих их элементов и наоборот. Это свойство сетей связи используется в ряде методов оценки надежности, в том числе и в рассматриваемых ниже.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ ОТКАЗА МСС

Через сеть обменивается информацией большое число пар абонентов, причем требуется, чтобы вероятность наличия связи между корреспондентами выделенной пары (k, l) была не менее заданной P_{kl}. Под наличием связи понимается существование, по крайней мере, одного исправного пути между соответствующими узлами. Конечно, в сложной сети наличие исправного пути еще не гарантирует немедленного установления соединения, так как элементы этого пути могут быть заняты обменом информацией других корреспондентов. Однако, в соответствие с подходом к оценке параметров качества обслуживания при передаче данных, изложенных в РД.45.128-2000, здесь будем рассматривать аппаратурную надежность тракта передачи данных пары абонентов (k, l). В элементах сети, производительность которых недостаточно для обслуживания суммарной нагрузки можно предусматривать большее число рабочих компонентов или увеличивать их производительность.

Таким образом, сеть обладает заданной надежностью, если вероятность наличия связи или, как говорят, вероятность связанности H_{kl} для каждой пары узлов не менее заданной P_{kl}.

Заметим, что если требуется охарактеризовать сеть в целом, то в качестве такой характеристики может быть выбрана минимальная величина P_{kl}, либо сумма взвешенных показателями важности пар абонентов показателей надежности этих пар. Следует, правда, отметить, что конкретного абонента интересует надежность его трактов обмена информацией, а не сеть в целом.

Кроме того, при рассмотрении многополюсной сети, можно оперировать не путями, а деревьями связанности, причем принципиально подход к оценке структурной надежности не меняется.

При нашем подходе вероятность связанности – это коэффициент готовности тракта передачи информации между парами узлов k,l и, соответственно, сеть обладает заданной надежностью, если этот коэффициент готовности не менее заданного. Отказом же тракта передачи информации между узлами k,l является отсутствие пути передачи информации между этими узлами из-за выхода из строя элементов сети, составляющих пути передачи информации.

Итак, задана структура некоторой сети, состоящей из N элементов, причем надежность $p_i(K_{\Gamma i})$ каждого элемента известна $\left(i = \overline{1, N}\right)$. Причем, показатели надежности элементов системы могут быть рассчитаны или определены экспериментально.

Необходимо определить вероятность связанности относительно выделенной пары узлов k,l (коэффициент готовности тракта $K_{k,l}$).

После определения отказа можно приступать к рассмотрению методов расчета структурной надежности систем связи. Начнем с рассмотрением метода прямого перебора состояний. Этот метод применим только для несложных структур, так как объем расчетов по этому методу расчет в геометрической пропорции с ростом числа элементов системы. Однако этот метод вполне естествен и физически понятен и к нему иногда прибегают для оценки результатов, полученных другими методами в тех же условиях.

Итак, имеется произвольная система, состоящая из n элементов, каждый из которых может находится в состоянии работоспособности и в состоянии отказа, которая в свою очередь может находится в 2^n различных состояниях:

H_o – все n элементов работоспособен;

H_i – отказал i-й элемент, остальные работоспособны;

H_{ji} – отказали i-й и j-й элементы, остальные работоспособны;

$H_{1,2\ \ ,n}$ – отказали все элементы.

Поскольку критерий отказа системы определен, то все множества ее состояний можно разделить на два подмножества: подмножество состояний работоспособности F и подмножество состояний отказа Y. Тогда, если для каждого состояния H_α вычислить вероятность его появления P_α, то вероятность состояния работоспособности системы в целом можно записать как $P\{H_\alpha \in F\} = \sum\limits_{H_\alpha \in F} P_\alpha$.

Если система состоит из взаимно независимых элементов, то вероятности соответствующих состояний вычисляются по формулам:

$$P_O = \prod_{i=1}^{n} p_i; \quad p_i = q_i \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^{n} p_k = \frac{q_i}{p_i} P_O = \gamma_i P_O;$$

$$P_{ij} = q_i q_i \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i,j}}^{n} P_k = \gamma_i \cdot \gamma_j P_O; \quad P_{1,2\ \ n} = P_O \prod_{i=1}^{n} \gamma_i = \prod_{i=1}^{n} q_i,$$

где p_i и q_i – вероятности состояния работоспособности и неработоспособности i-го элемента системы; $\gamma_i = q_i / p_i$.

Если p_i – вероятность работы до отказа i-го элемента, то есть $p_i(t) = P\{\xi_i \geq t\}$, где ξ_i - случайная наработка до отказа i-го элемента, то формула для P позволяет вычислять вероятность безотказной работы системы до отказа, то есть $P(t) = P\{\xi \geq t\}$, где ξ - случайная наработка до отказа системы. В этом случае можно вычислять и среднюю наработку системы до отказа по общей формуле $T = \int\limits_0^\infty P(t)dt$.

Если pi – коэффициент готовности (нестационарный коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности или нестационарный коэффициент готовности) i-го элемента, то вероятность P является коэффициентом готовности (нестационарным коэффициентом готовности, коэффициентом оперативной готовности или нестационарным коэффициентом оперативной готовности) системы в целом.

4. РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ И ПАРАЛЛЕЛЬНОМ СОЕДИНЕНИИ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

В некоторых случаях структура системы представляет собой схему последовательно и (или) параллельного соединения ее элементов. Кроме того, как это будет показано ниже, структура системы может быть сведена к последовательно-параллельной схеме соединения. Поэтому целесообразно рассмотреть порядок расчета структурной надежности системы в этом случае.

Основным показателям надежности элементов системы является коэффициент готовности

$$К_{П} = \frac{Т_{О}}{Т_{О} + Т_{В}}, \text{ где} \qquad (4.1.)$$

T_O – среднее время пребывания элемента в работоспособном состоянии,

T_B – среднее время его восстановления.

Коэффициент простоя элемента.

$$К_Г = 1 - К_Г = T_B / T_O + T_B \qquad (4.2.)$$

При последовательном соединении n компонентов сети, например каналов связи или узлов коммутации, результирующая цепочки будет исправна только в случае исправности всех ее составляющих. Предполагая независимость отказов последовательно соединенных компонентов, результирующий коэффициент готовности $К_{ГР}$ можно представить в виде

$$К_{ГР} = \prod_{i=1}^{n} К_{Гi}, \qquad (4.3.)$$

где $К_{Гi}$ – коэффициент готовности i-го компонента.

В этом случае интенсивность отказов цепочки равна сумме интенсивности отказов каждого элемента.

$$\lambda_{Ооб} = \frac{1}{Т_{О1}} + \frac{1}{Т_{О2}} + \ldots + \frac{1}{Т_{ON}} = \frac{1}{Т_{Ооб}} \qquad (4.4.)$$

Отсюда

$$T_{Ооб} = \frac{T_{01} \cdot T_{02} \cdot \ldots T_{ON}}{T_{02} \cdot T_{03} \cdot \ldots T_{ON} + T_{01} \cdot T_{02} \ldots T_{ON} + \ldots + T_{01} T_{02} \ldots T_{N-1}} \qquad (4.5.)$$

Для повышения надежности системы используется параллельное соединение ее элементов (направлений связи, узлов коммутации и т.д.). При этом этот составной элемент сети будет исправен, если исправен хотя бы один из входящих в него компонентов. Отказ такого составного элемента наступит лишь в случае отказа всех входящих в его состав компонентов, что случится в вероятностью

$$К_{ПЭ} = \prod_{i=1}^{N} К_{Пi}, \qquad (4.6.)$$

где $К_{ПЭ}$ – коэффициент простоя составного элемента;

$К_{Пi}$ – коэффициент простоя i-го компонента.

Если $К_{Пi}=К_П$, $i = \overline{1,n}$, то $К_{ПЭ} = К_П^n$ (4.7.)

5. МЕТОД СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА И СТРУКТУРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В РАСЧЕТАХ НАДЕЖНОСТИ МСС С ЗАВИСИМЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Среди методов структурного анализа и структурных преобразований в расчетах надежности систем известны метод, основанный на разложении структуры сети относительно какого-нибудь ее элемента (метод разложения Шеннона-Мура) и метод преобразования структуры типа «треугольник» в структуру типа «звезда» и обратно. Идея этих методов заключается в том, чтобы свести анализируемую структуру к последовательно-параллельным соединением и тем самым обеспечить расчет структурной надежности сети.

5.1. Метод преобразования структуры типа «треугольник» в структуру типа «звезда» и обратно

Существо этого метода заключается в том, что узел сложной конфигурации заменяется на узел другой, более простой конфигурации, но при этом подбираются такие характеристики нового узла, чтобы показатели надежности преобразуемой системы сохранялись прежними.

Путь, например, требуется заменить треугольник (рис. 5.1.1а) звездой (рис. 5.1.1б). Чтобы «звезда» была эквивалентной «треугольнику», необходимо обеспечить эквивалентность уравнений работоспособности «треугольника» и «звезды», то есть следующие равенства:

$$a \vee в \cdot c = x \cdot y; в \vee a \cdot c = x \cdot z; c \vee a \cdot в = y \cdot z, \qquad (5.1.1.)$$

где *a, в, c, x, y, z* – события, состоящие в том, что элементы находятся в работоспособном состоянии.

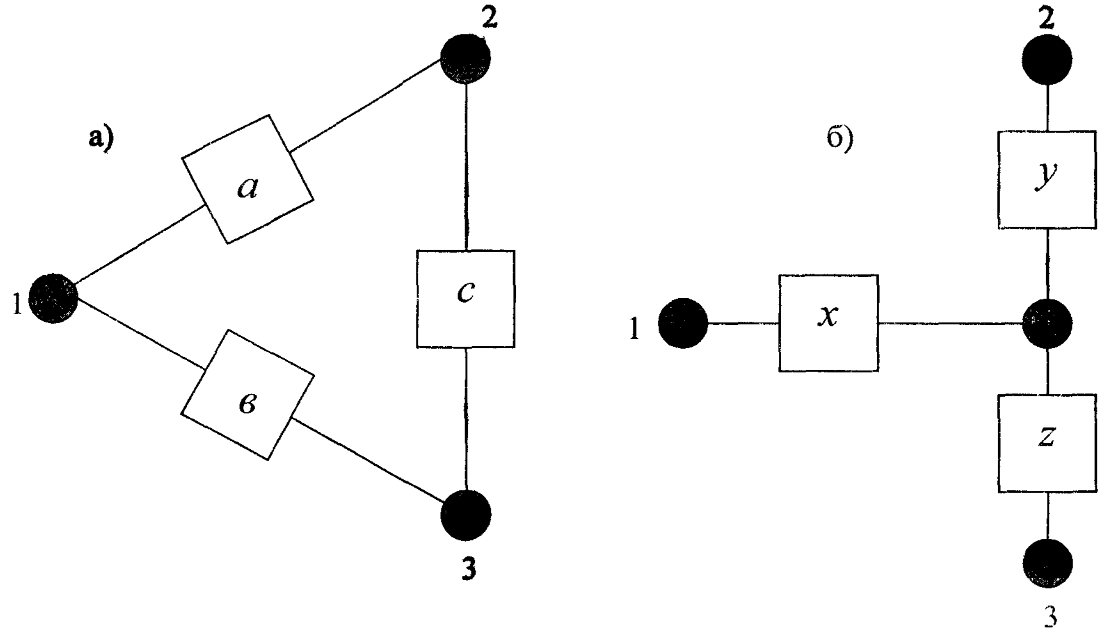

Рис 5 1 1. Преобразование структуры типа «треугольник» (а) в структуру типа «звезда» (б).

Из (5.1.1.) следует, что вероятности работоспособного состояния (коэффициенты готовности) цепей 1-2, 1-3, и 2-3 должны быть равны как для «треугольника», так и для «звезда». Поэтому

$$\left.\begin{aligned} &К_{Гa} + К_{Гв} \cdot К_{Гc} - К_{Ia}К_{Гв}К_{Гc} = К_{Гx} \cdot К_{Гy};\\ &К_{Гв} + К_{Гa}К_{Гc} - К_{Гa} \cdot К_{Гв} \cdot К_{Гc} = К_{Гx} \cdot К_{Гz};\\ &К_{Гc} + К_{Гa} \cdot К_{Гв} - К_{Гa}К_{Гв} \cdot К_{Гc} = К_{Гy} \cdot К_{Гz}. \end{aligned}\right\} (5.1.2.)$$

Решение этой системы уравнений дает:

$$К_{Ix} = \sqrt{\frac{\left(К_{Ia} + К_{Гв} \cdot К_{Ic} - К_{Ia}К_{Iв} \cdot К_{Ic}\right)\left(К_{Гв} + К_{Ia} \cdot К_{Ic} - К_{Ia}К_{Iв} \cdot К_{Ic}\right)}{\left(К_{Ic} + К_{Гa} \cdot К_{Гв} - К_{Ia}К_{Гв} \cdot К_{Гc}\right)}};$$

$$К_{Гy} = \sqrt{\frac{\left(К_{Гa} + К_{Iв} \cdot К_{Гc} - К_{Ia}К_{Гв} \cdot К_{Ic}\right)\left(К_{Ic} + К_{Гa} \cdot К_{Гв} - К_{Ia}К_{Гв} \cdot К_{Гc}\right)}{\left(К_{Гв} + К_{Ia} \cdot К_{Гc} - К_{Ia}К_{Гв} \cdot К_{Гc}\right)}}; \qquad (5.1.3)$$

$$К_{Iz} = \sqrt{\frac{\left(К_{Гв} + К_{Гa} \cdot К_{Ic} - К_{Ia}К_{Iв} \cdot К_{Гc}\right)\left(К_{Гв} + К_{Ia} \cdot К_{Ic} - К_{Гa}К_{Iв} \cdot К_{Гc}\right)}{\left(К_{Гa} + К_{Гв} \cdot К_{Ic} - К_{Ia}К_{Iв} \cdot К_{Ic}\right)}}.$$

Для случая, когда $К_{Гa} = К_{Гв} = К_{Гc} = К_{ГT}$; $К_{Гx} = К_{Гy} = К_{Гz} = К_{Г3}$, система уравнений (5.1.2.) упрощается и для этого случая получаем

$К_{I3} = \sqrt{К_{ГT} + К_{ГT}^{2} - К_{ГT}^{3}}$, а

$К_{Г3}^{2}$ - коэффициенты готовности цепей 1-2, 1-3 и 2-3.

Для полноты изложения приведем формулы для преобразования соединений типа «звезда» в «треугольник» (рис. 5.1.1.):

$$q_{12}=\sqrt{\frac{q_x q_y}{q_7}};q_{23}=\sqrt{\frac{q_y \cdot q_Z}{q_x}};q_{31}=\sqrt{\frac{q_x q_z}{q_y}}$$

Точность приведенных выражений имеет порядок $q_i q_j$ и $q_i q_j q_k$.

Таким образом, в некоторых случаях преобразование «треугольника» в «звезду» и обратно позволяет изменить исходную структуру схемы, сводя ее к последовательно-параллельной схеме, что в свою очередь позволяет рассчитать показатели надежности, используя стандартные подходы.

5.2. Метод разложения сложной структуры по ключевым элементам

Этот способ преобразования сложных структур основан на использовании теоремы о сумме вероятностей несовместных событий или так называемой теоремы разложения.

Теорема разложения звучит следующим образом: функция надежности $p(E)$ системы состоящей из N ненадежных элементов, равна произведению вероятности исправного состояния i-го элемента на функцию надежности системы из N-1 элементов при условии, что i-ый элемент замкнут накоротко, плюс произведение вероятности отказа i-го элемента на функцию надежности системы из N-1 элементов при условии, что i-ый элемент разомкнут.

Очевидно, что к преобразованной системе из N-1 элементов вновь может быть применена теорема разложения, затем к системе из N-2 элементов и т.д. Тогда имеет место формула полной вероятности

$$p(E)=\sum_{i=0}^{N^{II}} p\left(N^{II},i\right)p\left(E^{I}\right)$$

В этой формуле N^{II} – число элементов системы, не позволяющих производить вычисления по формулам последовательно-параллельного соединения $(N^{II}<N)$; $P(N^{II},i)$ – вероятность состояния совокупности N^{II} элементов при одновременном отказе $i=0,\dots,N^{II}$ и исправности N-i элементов; $p(E^{I})$ – условная вероятность сохранения связанности системы при размыкании i и замыкании накоротко N^{II}-i – элементов, определяемая по формулам последовательно-параллельного соединения.

Использования теоремы разложения для расчета надежности систем связи ограничивается для общего случая несколькими факторами, которые вытекают, во-первых, из условия формулирования самой теоремы и, во-вторых из сложности программной реализации алгоритма преобразования структур. Поэтому область применения теоремы разложения ограничивается структурами специального класса, как, например, лестничная схема или «решетка» - схема, элементы которой представляют собой мостиковые схемы, и некоторыми другими, заранее заданными структурами.

В сложной структуре выбирают базовый элемент/или группу базовых элементов/ и делаются следующие допущения: 1) базовый элемент находится в работоспособном состоянии; 2) базовый элемент находится в отказовом состоянии. Для этих случаев, представляющих собой два несовместных события, исходная структурная схема преобразовывается в две новые схемы. В первой из них вместо базового элемента ставится короткое замыкание цепи, а во второй – разрыв. Вероятности безотказной работы каждой из полученных упрощенных структур вычисляются и умножаются: первая – на вероятность безотказного состояния базового элемента, вторая – на вероятность отказа базового элемента. Полученные произведения складываются. Сумма равна исходной вероятности безотказной работы сложной структуры (ее коэффициенту готовности).

Для примера рассмотрим сеть простейшей структуры в виде мостика (рис. 5.2.1.).

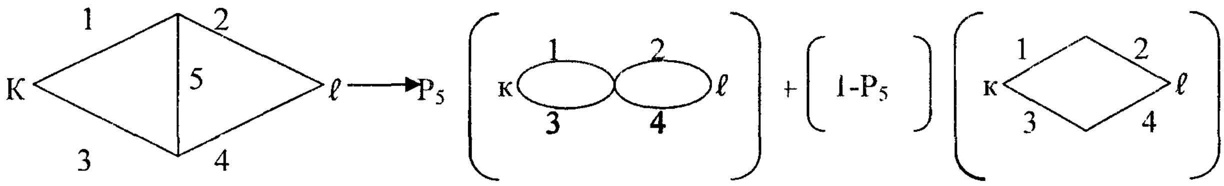

Рис. 5.2.1. Метод разложения по базовому элементу

Для простоты положим, что узлы этой сети идеально надежны, а ветви имеют конечную надежность $p_i, i=\overline{1,5}$. Нумерация ветвей приведена на рисунке. Проделаем с элементом под номером 5 («перемычка» мостика) два опыта – «короткого замыкания», соответствующего исправному состояния элемента, и «разрыва», соответствующего его неисправному состоянию. Здесь следует сразу заметить, что в качестве базового элемента выбирается элемент с наибольшим числом связей. Итак, если перемычка находится в исправном состоянии, что случается с вероятность p_5, то соединяемые ею узлы можно «стянуть» в смысле надежности (см. рис. 5.2.1.) и сеть будет иметь вид двух последовательно соединенных и параллельно включенных пар ветвей. Если перемычка находится в неработоспособном состоянии, что случается с вероятностью $(1-p_5)$, то оставшаяся сеть будет иметь вид параллельного соединения цепочек.

Таким образом, мы «разложили» сеть относительно элемента 5, в результате чего получили две подсети в исходной сети. Поскольку обе подсети представляют собой последовательно-параллельные структуры, то, пользуясь формулами (4.3) и (4.6.), можно сразу записать искомое выражение для вероятности связанности сети относительно узлов k,ℓ (коэффициента готовности тракта передачи информации k,ℓ), используя для компактности обозначения $q_i=1-p_i$.

$$H_{k,\ell} = p_5(1-q_1q_3)(1-q_2q_4)+q_5[1-(1-p_1p_2)(1-p_3p_4)].$$

В более сложных структурах может потребоваться неоднократное применение теоремы разложения.

Легко видеть, что в этом методе на каждом шаге число элементов в получающихся подсетях уменьшается на единицу, а число подсетей, требующих дальнейшего рассмотрения удваивается. Поэтому описанный процесс в любом случае конечен, а число результирующих последовательно-параллельных структур составит 2^m, где m – число элементов, по которым пришлось провести разложение.

6. МЕТОД РАСЧЕТА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ (БУЛЕВОЙ АЛГЕБРЫ)

Расчет надежности сложной системы, по сути дела, является определением истинности сложного высказывания.

Приведем пример высказывания: «система находится в работоспособном состоянии, если в работоспособном состоянии находится ее элемент a и один из следующих элементов: элемент $в$, или d, или оба элемента вместе взятых». Такое высказывание является сложным, состоящим из простых высказываний, связанных между собой логическими операциями конъюнкции (связка «и», обозначается знаком $\wedge$) и дизъюнкции (связка «или», обозначается знаком $\vee$). На языке математической логики выше приведенное высказывание может быть записано следующим образом: $c = a \wedge [в \vee d \vee (в \wedge d)] = a \wedge (в \vee d)$.

Главное в такой записи состоит не только в том, что существует возможность записать условие работоспособности системы в виде математической (логической) формулы и преобразовать эту записать, а в том, что такие формулы можно подвергать математической обработке: соединять их в более сложные структуры, разлагать, преобразовывать, оптимизировать, находить по ним значения исследуемых величин, переходить от формул к схемам и наоборот и т д.

Таким образом, использование аппарата математической логики позволяет формализовать условия работоспособности сложных структур и получать формулы для расчета надежности.

Сложную логическую функцию можно минимизировать, то есть преобразовать ее таким образом, что она будет содержать наименьшее число членов или в ней не будет повторяющихся членов.

Для минимизации функций и для исключения повторяющихся членов могут быть использованы формулы булевой алгебры, приведенные во многих источниках.

Особого внимания заслуживает формула разложения логической функции $F_л$ на две составляющие. $F_л(a,в,c...) = aF_л(1,в,c...) \vee \bar{a}F_л(o,в,c...)$ она используется тогда, когда все остальные формулы не позволяют исключить повторяющиеся члены, что характерно для логических функций, описывающих надежность систем со сложной структурой.

Логические функции можно преобразовать в функции алгебраические, если заменить все логические операции арифметическими по следующим правилам $a \vee в = a + в - a \cdot в$; $a \wedge в = a \cdot в$; $\bar{a} = 1 - a$. (6.1).

Итак, чтобы получить формулу для вероятности работоспособного состояния (коэффициента готовности) сложной системы, необходимо:

1. сформулировать условие работоспособности системы;
2. на основании формулировки об условии работоспособности системы записать функцию работоспособности $F_л$;
3. преобразовать в случае необходимости логическую функцию работоспособности (минимизировать, исключить повторяющиеся члены);
4. в логической функции работоспособности заменить логические операции арифметическими, то есть получить F_a;
5. в арифметической функции работоспособности заменить простые события (простые высказывания) их вероятностями;
6. в полученную формулу, устанавливающую связь между показателями надежности (вероятностями состояний) элементов системы и показателями надежности (вероятностью состояния) самой системы, подставить числовые значения показателей надежности элементов системы.

Для примера использования метода расчета надежности с использованием математической логики рассмотрим порядок расчета надежности мостиковой схемы, приведенной на рис. 6.1.

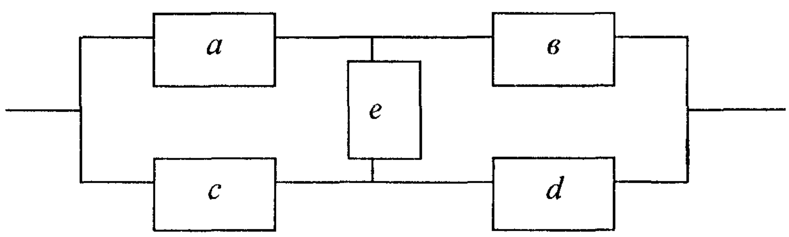

Рис 6 1.

Дадим словесную формулировку минимально необходимых условий работоспособности тракта передачи информации. Тракт работоспособен, если работоспособны пути *a* и *в* или *a* и *e* и *d* или *c* и *d* или *c* и *e* и *в* (добавление такого условия, что работоспособен *a, в, c, d* и *e* излишне, так как оно включает перечисленные выше и будет исключено при минимизации логической функции).

Логическая функция работоспособности на основании словесной ее формулировки запишется следующим образом:

$$F_л = (a \wedge в) \vee (a \wedge e \wedge d) \vee (c \wedge d) \vee (c \wedge e \wedge в).$$

Разложим функцию $F_л$ с целью исключения повторяющихся членов по элементу e:

$F_л = e\{a \cdot в \vee a \cdot d \vee c \cdot d \vee в \cdot e\} \vee \bar{e}\{a \cdot в \vee c \cdot d\}$ (для упрощения записи знак "$\wedge$" заменен "$\cdot$").

Упростим выражение в первых фигурных скобках

$$ав \vee a \cdot d \vee c \cdot d \vee в \cdot c = a(в \vee c) \vee c(d \vee в) = (a \vee c) \cdot (в \vee d)$$

Окончательно функция работоспособности имеет следующий вид:

$$\mathrm{F}_л = \mathrm{e}\{(\mathrm{a} \vee \mathrm{c}) \cdot (\mathrm{в} \vee \mathrm{d})\} \vee \bar{\mathrm{e}}(\mathrm{a} \cdot \mathrm{в} \vee \mathrm{c} \cdot \mathrm{d}).$$

Заменим логические операции арифметическими согласно (6.1.):

$$F_a = e\{(a + c - a \cdot c)(в + d - в \cdot d)\} + (1 - e)(a \cdot в + c \cdot d - a \cdot в \cdot c \cdot d).$$

Заменим события a, $в$, c, d и e их вероятностями состояний работоспособности (коэффициентами готовности) и получим

$$P = P_e\{(P_a + P_c - P_a \cdot P_c)(P_в + P_d - P_в \cdot P_d)\} + (1 - P_e)(P_a \cdot P_в + P_c \cdot P_d - P_a \cdot P_в \cdot P_c \cdot P_d).$$

С целью рассмотрения вопроса практического применения метода расчета надежности с использованием математической логики приведем пример расчета структурной надежности формализованной схемы магистральной части МСС Московского филиала ОАО «ЦентрТелеком». Эта схема [5] приведена на рис. 6.2.

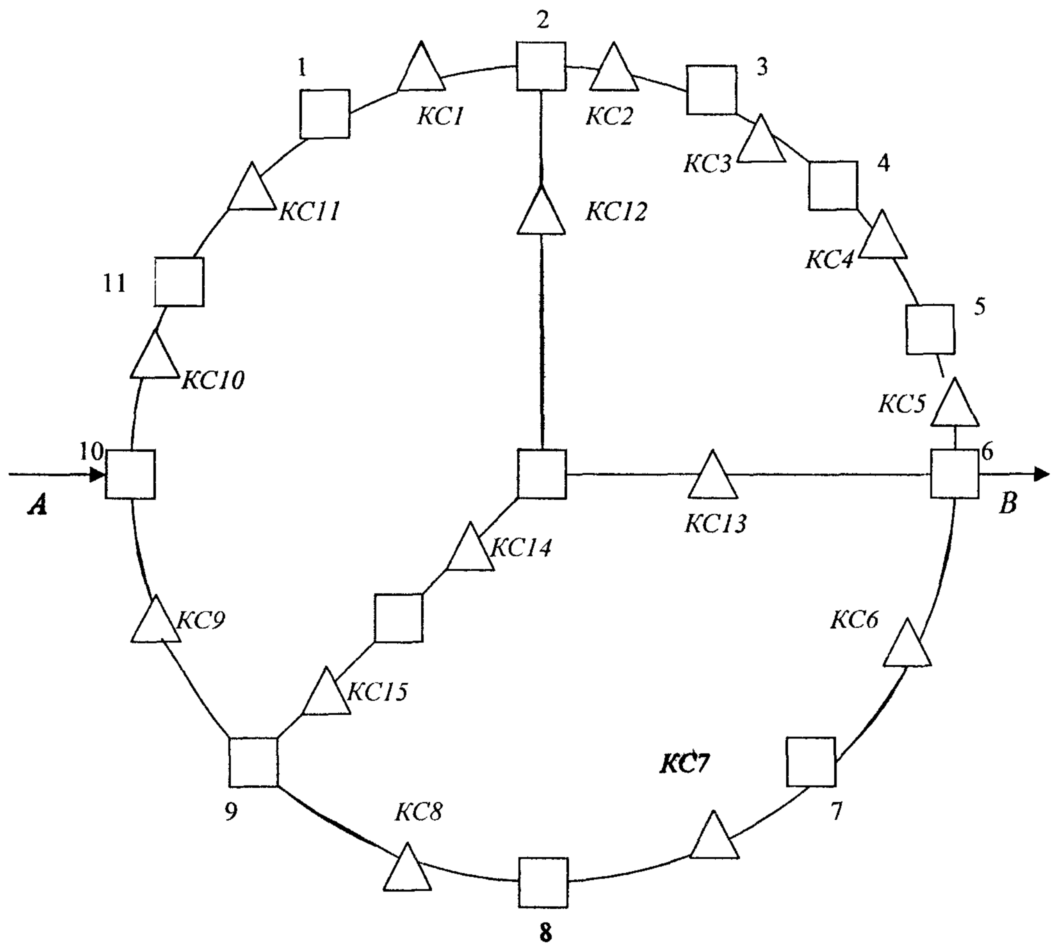

Рис. 6.2. Схема магистральной части МСС

В этой схеме прямоугольниками изображены узлы коммутации, имеющие вероятность работоспособного состояния $p_i, i = \overline{1,13}$, а треугольниками-каналы связи, имеющие вероятность работоспособного состояния $p_j, j = \overline{1,15}$. Например, в этой сети требуется рассчитать надежность (вероятность работоспособного состояния или коэффициент готовности) тракта *A, B*. Этот тракт выбран, как наиболее сложный для расчета. Для решения поставленной задачи необходимо и возможно упростить эту схему с точки зрения расчета надежности.

Естественно, любая модификация схемы не должна приводить к изменению показателей ее надежности, то есть эквивалентная упрощенная схема должна иметь те же показатели надежности, что и исходная. В исходной схеме имеется ряд цепочек с последовательным соединением элементов, каждую из которых можно заменить одним эквивалентным элементом с тем же показателем надежности.

В результате получим упрощенную схему, приведенную на рис. 6.3а. На рис. 6.3б приведена та же схема, но с буквенными обозначениями элементов с целью упрощения записи последующих формул.

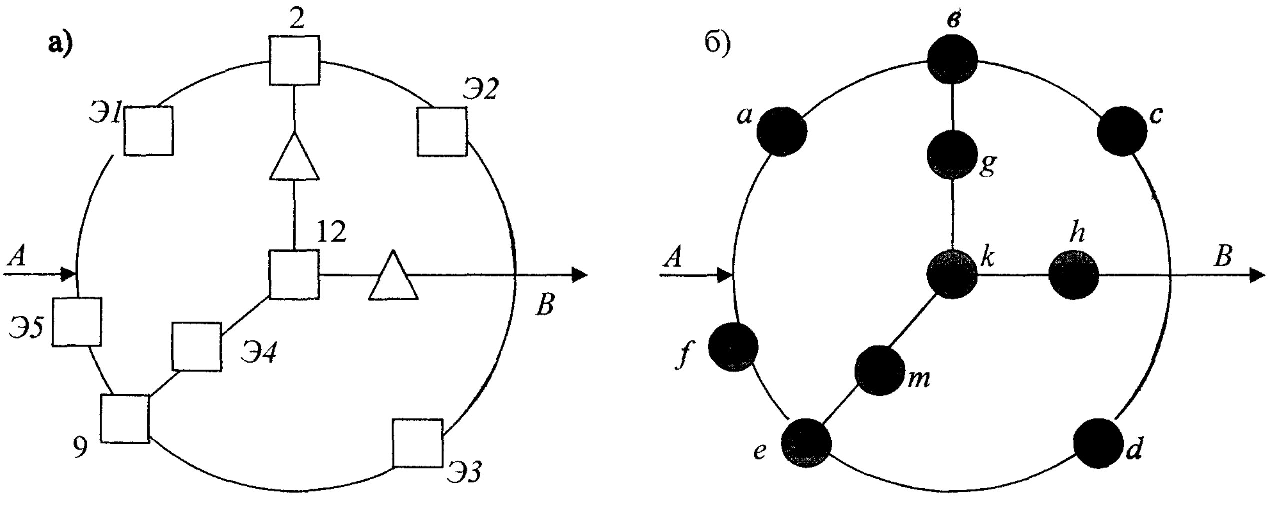

Рис 6 3. Схема расчета надежности

В тракте *A,B* имеется шесть путей передачи информации, и тракт будет работоспособен, когда работоспособен хотя бы один из этих путей. Этими путями являются:

1) *a, в, c*; 2) *a, в, g, k, h*; 3) *a, в, g, k, m, e, d*;
4) *f, e, d*; 3) *f, e, m, k, h*; 4) *f, e, m, k, g, в, c*.

Таким образом, логическую функцию работоспособности можно записать следующим образом:

$$F_{\wedge} = (a \wedge в \wedge c) \vee (a \wedge в \wedge g \wedge k \wedge h) \vee (a \wedge в \wedge g \wedge k \wedge m \wedge e \wedge d) \vee$$
$$\vee (f \wedge e \wedge d) \vee (f \wedge e \wedge m \wedge k \wedge h) \vee (f \wedge e \wedge m \wedge k \wedge d \wedge в \wedge c)$$

Для вывода формулы расчета надежности тракта *A,B* необходимо проделать ранее описанные процедуры, то есть упростить эту логическую функцию, разложив ее по наиболее часто встречающимся элементам.

7. МЕТОД РАСЧЕТА СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СОВОКУПНОСТИ ПУТЕЙ И СЕЧЕНИЙ МСС

Рассмотрим еще один метод расчета структурной надежности сетей. Предположим, как и ранее, что необходимо определить вероятность связанности сети между заданной парой узлов *A* и *B* (вероятность работоспособного состояния тракта, коэффициент готовности тракта). Критерием исправной работы сети в данном случае является наличие хотя бы одного пути передачи информации между рассматриваемыми узлами.

Предположим, что имеется список возможных путей в виде перечня элементов (узлов и направлений связи), входящих в каждый путь. В общем случае пути будут зависимы, поскольку любой элемент может входить в несколько путей. Надежность R_S любого s-го пути можно вычислить по формуле последовательного соединения элементов $R_S = p_{1S} \cdot p_{2S} \dots p_{iS}$, где p_{iS} - надежность i-го элемента s-го пути.

Искомая надежность H_{AB} зависит от надежности каждого пути и вариантов их пересечений по общим элементам. Обозначим надежность, которая обеспечивается первыми $к$ путями, через H_K. Добавления очередного $(к+1)$-го пути с надежностью R_{K+1}, очевидно приведет к увеличению структурной надежности, которая теперь будет определяться объединением двух событий – исправен хотя бы один из первых путей или исправен $(к+1)$-й путь. Вероятность наступления этого объединенного события с учетом возможной зависимости отказов $(к+1)$-го и остальных путей

$$H_{K+1} = H_K + R_{K+1} - R_{K+1} H_{K/(K+1)}, \qquad (7.1.)$$

где $H_{K/(K+1)}$ – вероятность исправности хотя бы одного из первых $к$ – путей при условии, что исправен $(к+1)$-ый путь.

Из определения условной вероятности $H_{K/(K+1)}$ следует, что при ее расчете вероятность исправной работы всех элементов, входящих в $(к+1)$-й путь, необходимо положить равной единице. Для удобства дальнейших расчетов представим последний член выражения (7.1.) в следующем виде:

$$R_{K+1} \cdot H_{K/(K+1)} = R_{K+1} * H_K \qquad (7.2.)$$

где символ (*) означает, что при перемножении показатели надежности всех элементов, входящих в первые $к$ путей и общих $(к+1)$-м путем, заменяются единицей. С учетом (7.2.) можно представить (7.1.) в следующем виде:

$$\Delta H_{K+1} = R_{K+1} * Q_K, \qquad (7.3.)$$

где $\Delta H_{K+1} = H_{K+1} - H_K$ - приращения структурной надежности при введении $(к+1)$-го пути; $Q_K = 1 - H_K$ - вероятность того, что произойдет одновременный отказ первых $к$ путей.

Учитывая, что приращение надежности ΔH_{K+1} численно равно уменьшению ненадежности ΔQ_{K+1}, получаем следующее уравнение в конечных разностях:

$$\Delta Q_{K+1} = R_{K+1} * Q_K \qquad (7.4.)$$

Легко проверить, что решением уравнения (7.4.) является функция

$$Q_K = (1 - R_1) * (1 - R_2) * \dots * (1 - R_K) \qquad (7.5.)$$

В случае независимых путей операция символического умножения совпадает с обычным умножением и выражение (7.5.) дает коэффициент простоя системы, состоящей из параллельно включенных элементов. В общем случае необходимость учета общих элементов путей заставляет производить умножение согласно (7.5.) в алгебраическом виде. При этом число членов в результирующей формуле с умножением на каждый очередной двучлен удваивается и окончательный результат будет иметь $2^к$ членов, что эквивалентно полному перебору совокупности всех $к$ путей.

Тем не менее свойства введенной выше операции символического умножения позволяют резко сократить трудоемкость расчетов. Рассмотрим эти свойства более подробно. Согласно операции символического умножения для показателя надежности p_i любого элемента справедливо следующее правило:

$$p_i * p_i = p_i \qquad (7.6.)$$

Напомним, что второй сомножитель (7.6.) имеет смысл вероятности исправной работы i-го элемента при условии его исправности, которая, очевидно, равна единице.

Для сокращения дальнейших выкладок введем следующее обозначение ненадежности i-го элемента:

$$\overline{p_i} = 1 - p_i \qquad (7.7.)$$

С учетом (7.6.) и (7.7.) можно записать следующие простые правила преобразования выражений, содержащих p и $\overline{p}$:

1. $p_i * \overline{p_i} = 0$;
2. $\overline{p_i} * \overline{p_i} = \overline{p_i}$;
3. $p_i * \overline{p_i p_j} = p_i \overline{p_j}$; (7.8.)
4. $\overline{p_i} * \overline{p_i p_l} = \overline{p_i}$;
5. $\overline{p_i p_l} * \overline{p_i p_S} = p_i p_j - p_i p_S \overline{p_j}$;
6. $\overline{p_i p_j} - p_i \overline{p_j} = \overline{p_i}$.

Для примера использования этих правил при расчете надежности рассмотрим простейшую сеть связи, изображенную на рис. 7.1.

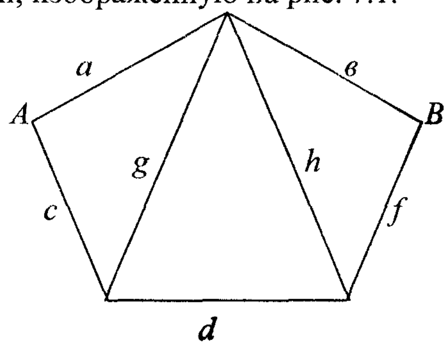

Рис. 7.1. Пример сети для расчета надежности на ограниченном подмножестве путей

Буквы, стоящие у ребер графа, обозначают показатели надежности соответствующих линий связи. Узлы для простоты будем считать идеально надежными. Предположим, что для связи между узлами A и B можно использовать все пути, состоящие из трех и менее последовательно включенных линий, то есть следует учесть подмножества путей $\{\mu\} = \{ав, cdf, cdв, ahf\}$. Определим приращения надежности, обеспечиваемое каждым последующим путем, по формуле (7.3.) с учетом (7.5.):

$$\Delta H_{K+1} = R_{K+1} * \left(\overline{R_1} * \overline{R_2} * \ldots * \overline{R_K}\right), \qquad (7.9.)$$

где $\overline{R_i} = 1 - R_i$, аналогично (7.7.).

Применяя последовательно формулу (7.9.) и правила символического умножения (7.8.) к рассматриваемой сети, получаем

$\Delta H_1 = ав$;

$\Delta H_2 = cdf * \left(\overline{ав}\right) = cdf \cdot \overline{ав}$;

$\Delta H_3 = cdв * \left(\overline{a} * \overline{df}\right) = cdв \cdot \overline{a} \cdot \overline{df}$;

$\Delta H_4 = ahf\left(\overline{в} * \overline{cd} * \overline{cgв}\right) = ahf \cdot \overline{в} \cdot \overline{cd}$.

Напомним, что при расчете выражений в круглых скобках мы полагали вероятности работоспособных состояний элементов, входящих в *(к+1)*-ый путь равными единице. При расчете последнего приращения мы использовали правило 4), которое можно назвать правилом поглощения длинных путей короткими; в данном случае его применение дает $\overline{в} * \overline{cgв} = \overline{в}$. Если разрешено использования других более длинных путей, содержащих более трех включенных линий, например пути *cdhв*, то не представляет труда рассчитать обеспечиваемое им приращение надежности $\Delta H_5 = cdhв * \left(\overline{a} * \overline{f} * \overline{g} * \overline{af}\right) = cdhв \cdot \overline{a} \cdot \overline{f} \cdot \overline{g}$. Результирующую надежность сети можно теперь вычислить как сумму приращений, обеспечиваемых каждым из рассмотренных путей:

$$H_K = \sum_{i=1}^{K} \Delta H_i . \qquad (7.10.)$$

Так, для рассмотренного примера в предположенным, что надежность всех элементов сети одинакова, то есть $a=в=c=d=f=h=g=p$, получим

$$H_5 = p^2 + p^3(1-p^2) + 2p^3(1-p)(1-p^2) + p^4(4-p)^3 .$$

Пусть, например, надежность каждого элемента равна 0,9. Тогда надежность сети, рассчитанная по первым пяти путям будет:

$$H_5 = 0{,}81 + 0{,}1385 + 0{,}01385 + 0{,}01385 + 0{,}00066 = 0{,}9768 .$$

Из этого выражения можно оценить вклад в повышение надежности сети каждого последующего пути доставки информации. Как видим, путь, содержащий четыре элемента дает приращение надежности 0,00066, что при исходной надежности элемента сети, равной 0,9, можно считать незначительным.

При машинной реализации в основу расчета можно так же положить формулу (7.4.) с учетом того, что

$$Q_K = \sum_{i=1}^{K} \Delta Q_i \qquad (7.11.).$$

Согласно (7.4.) имеем следующее рекуррентное соотношение

$$Q_{K+1} = Q_K - R_{K+1} * Q_K \qquad (7.12.).$$

При начальном условии $Q_0 = 1$ на каждом последующем шаге из полученного ранее выражения для Q_K следует вычесть произведение надежности очередного *(к+1)*-го пути на это же выражение, в котором только показатели надежности всех элементов, входящих в *(к+1)*-й путь, нужно положить равными единице.

До сих пор мы рассматривали показатели структурной надежности сети относительно выделенной пары узлов. Совокупность таких показателей для всех или некоторого подмножества пар может достаточно полно характеризовать структурную надежность сети в целом. Иногда используется другой, интегральный, критерий структурной надежности. По этому критерию сеть считается исправной, если имеет связь между всеми ее узлами и задается требование на вероятность такого события.

Для расчета структурной надежности по этому критерию достаточно ввести обобщение понятия пути в виде дерева, соединяющего все заданные узлы сети. Тогда сеть будет связана, если существует, по крайней мере, одно связывающее дерево, и расчет сводится к перемножению вероятностей отказа всех рассматриваемых деревьев с учетом наличия общих элементов. Вероятность Q_S отказа *s*-го дерева определяется аналогично вероятности отказа пути

$$Q_s = 1 - \prod_{i=1}^{\pi_s} P_{is} ,$$

где p_{is} – показатель надежности *i*-го элемента, входящего в *s*-ое дерево;

π_s – число элементов в *s*-м дереве.

Для расчета вероятности связанности достаточно разветвленных сетей вместо перечня связывающих деревьев, как правило, удобнее пользоваться перечнем сечений $\{\sigma\}$, которые приводят к потере связанности сети по рассматриваемому, критерию. Сечением называют минимальную (неизбыточную) совокупность ветвей, удаление которых делает сеть несвязанной. При этом восстановление хотя бы одной ветви из этой совокупности восстанавливает связанность. Легко показать, что для сечения справедливы все введенные выше правила символического умножения, только вместо показателей надежности элементов сети в качестве исходных данных следует использовать показатели ненадежности *q=1-p*. Действительно, если все пути или деревья можно считать включенными «параллельно» с учетом их взаимосвязанности, то все сечения включены в этом смысле «последовательно». Обозначим вероятность того, что в некотором сечении *s* нет ни одного исправного элемента, через Π_S. Тогда можно записать

$\pi_s = q_{1s} \cdot q_{rs} \cdots q_{ms}$, (7.13)

где q_{is} – показатель ненадежности i-го элемента, входящего в s-е сечение.

Вероятность $H_{св}$ связности сети можно тогда представить аналогично (7.5) в символическом виде

$H_{св} = (1-\pi_1) * (1-\pi_2) * \ldots * (1-\pi_k)$, (7.14)

где k- число рассматриваемых сечений.

Другими словами, для того чтобы сеть была связана, необходимо, чтобы одновременно были исправны хотя бы по одному элементу в каждом сечении с учетом взаимной зависимости сечений по общим элементам. Формула (7.14) является в некотором смысле двойственной по отношению к формуле (7.5) и получается из последней заменой путей на сечения и вероятностей исправной работы на вероятности пребывания в состоянии отказа. Аналогично двойственным по отношению к формуле (7.12) является рекуррентное соотношение

$H_{k+1} = H_k - \pi_{k+1} * H_k$, (7.15)

Метод сечений можно, конечно, применять и для расчета вероятности связанности сети относительно выделенной пары узлов, особенно в тех случаях, когда число сечений в рассматриваемой сети значительно меньше числа путей. Однако наибольший эффект в смысле сокращения трудоемкости вычислений дает одновременное использование обоих методов, которое рассматривается ниже.

8. МЕТОД ДВУСТОРОННЕЙ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ МСС

При проектировании реальных МСС или оценке действующих сетей обычно отсутствует необходимость точного расчета сети, так как исходные данные по надежности элементов сети задаются или получаются экспериментальным путем, с некоторой конечной точностью. Проектировщиком МСС или организациям, осуществляющим эксплуатацию сетей, необходим лишь убедиться в том, что надежность сети, с одной стороны, не ниже заданной и, с другой стороны, не имеет экономически необоснованного запаса надежности. Другими словами, на практике достаточно гарантировать, что истинное значение надежности H_o находится в некоторых пределах $H_{min} < H_o < H_{max}$.

Обозначим через $Q_\mu^{(k)}$ результат, полученный при перемножении вероятностей отказов $1-R_S$ первых k из общего числа n путей. Тогда учетом следующего $(k+1)$-го пути получим согласно (7.12) уточненную оценку $Q_\mu^{(k+1)}$:

$$Q_\mu^{(k+1)} = Q_\mu^{(k)} - R_{k+1} * Q_\mu^{(k)} \quad (8.1)$$

Функция $H_\mu^{(K+1)} = 1 - Q_\mu^{(k)}$ является монотонно неубывающей с возрастанием k и при $k=n$ дает точное значение $H_0 = H_\mu^{(n)}$. Промежуточные значения $H_\mu^{(k)}$ при $k<n$ можно рассматривать, как оценки H_o снизу. Аналогично, исходя из формулы (7.15), можно получить монотонно невозрастающую последовательность $H_\sigma^{(k+1)}$, которую можно рассматривать, как последовательность оценок H_o сверху. Характер зависимостей $H_\mu^{(k)}$ и $H_\sigma^{(k)}$ от k представлен на рис. 8.1.

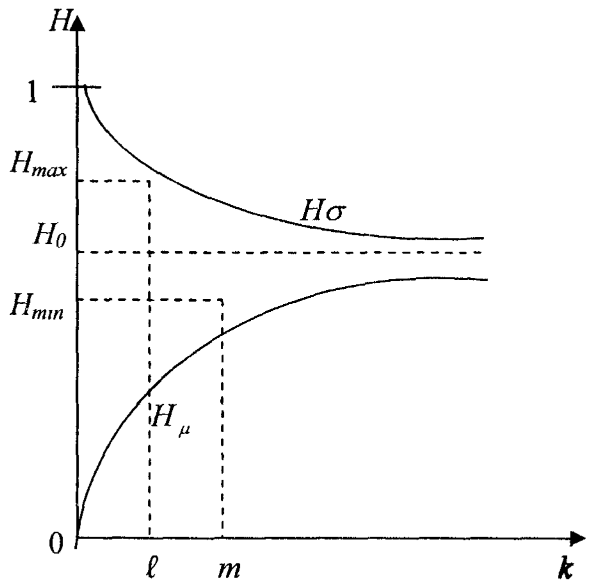

Рис 8 1. Характер изменения оценки структурной надежности по совокупности путей и сечений

Опыт показывает, что рассматриваемые зависимости при малых k меняются весьма круто, а с дальнейшим увеличением k очень медленно приближаются к общему пределу H_0. Это свойство можно использовать для сокращения трудоемкости оценок надежности с заданной точностью. Действительно для решении задачи достаточно последовательно просматривать пути μ, пока не выполнится условие $H_\mu^{(k)} \geq H_{min}$ и затем просматривать сечения σ, пока не выполнится условие $H_\sigma^{(r)} \leq H_{max}$. Если для некоторого m окажется, что $H_\mu^{(m)} > H_{max}$, то можно прекратить расчеты и принять решение, что в сети заложена излишняя избыточность, а если для некоторого r окажется, что $H_\sigma^{(r)} < H_{min}$, то это значит, что требования к надежности сети не выполняются. Число требующих просмотра путей m и сечений r (расчета структурной надежности по m путем и r сечением) обычно гораздо меньше общего числа путей n и общего числа сечений k ($m \ll n$, $r \ll k$), чем и достигается сокращение трудоемкости оценки. Одновременно гарантируется, что истинное значение надежности сети лежит в заданных пределах $H_{min} \leq H_0 \leq H_{max}$.

Точность оценки может быть задана в виде допустимых отклонений от истинного значения $H^{+a}_{-в}$. В этом случае просмотр путей и сечений следует вести до тех пор, пока не выполнится условие $/ H_\rho^{(m)} - H_\sigma^{(r)} / \leq a+в$. В частности, если $a=в$, то условия прекращения расчетов имеет вид $/ H_\mu^{(m)} - H_\sigma^{(r)} / \leq 2a$, а в качестве оценки надежности следует принять величину $H=(H_\mu^{(m)} + H_\sigma^{(r)})/2$. В ходе расчетов решение о рассмотрении на следующем шаге очередного пути или сечения целесообразно принимать по критерию большего абсолютного прекращения надежности по соответствующему параметру (m или r).

Итак, метод двусторонней оценки структурной надежности для разветвленных МСС позволяет значительно сократить трудоемкость расчетов по сравнению с методом полного перебора путей или сечений. При этом метод гарантирует любой заданный уровень точности оценки надежности сети.

В заключение данной статьи приведем некоторые соображения по мерам повышения структурной надежности МСС.

9. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ

Повышения структурной надежности в основном достигается принятием следующих мер:

выбор аппаратуры узлов коммутации и линий связи с повышенной надежностью, что позволит повысить надежность каждого отдельного пути передачи информации МСС;

- применение резерва по каналам, трактам или линиям на участках сети, что также приводит к повышению надежности пути МСС;
- применение резервных обходных путей (в режиме горячего резерва), что эквивалентно увеличению числа независимых путей, которые могут быть использованы для передачи информации;
- устройство «перемычек» - поперечных соединений между существующими путями, что эквивалентно увеличению числа зависимых путей;
- организация службы контроля и восстановления, что эквивалентно уменьшению времени восстановления, а следовательно, увеличению надежности путей МСС;
- создание и внедрение соответствующей системы управления разных уровней в МСС, обеспечивающей оперативное переключение каналов и трактов, перераспределение и ограничение потоков информации в МСС.

10. ВЫВОДЫ

1. В статье рассмотрены методы расчета структурной надежности мультисервисных сетей связи (МСС), которые носят прикладной характер и могут быть использованы при проектировании и эксплуатации сетей, требующих повышенной надежности.

2. Исходя из особенностей построения МСС и требований руководящих документов Мининформсвязи РФ по оценке качества функционирования сетей связи предлагается при расчете структурной надежности МСС использовать метод декомпозиции систем. На первом этапе рассчитывается структурная надежность МСС региональных операторов, при этом исходными данными является надежность элементов МСС – направлений связи, узлов коммутации, концентраторов нагрузки и т.д.

На втором этапе рассчитывается структурная надежность МСС межрегиональных операторов, при этом исходными данными является надежность МСС региональных операторов, магистранных направлений связи, аппаратно-программных комплексов взаимодействие сетей и т.д.

Использование метода декомпозиции существенно облегчает задачу оценки и прогнозирования структурной надежности больших МСС.

3. Для расчета структурной надежности МСС с учетом их реальной структуры могут быть использованы методы расчета последовательно-параллельных структур, методы структурного анализа и структурных преобразований, методы с использованием математической логики (булевой алгебры), метод расчета по совокупности путей или сечений, а также метод двусторонней оценки структурной надежности. Целесообразность использования того или иного метода в основном определяется характером структуры рассматриваемой МСС.

4. Наиболее эффективным с точки зрения практической реализуемости и объемов вычислений на наш взгляд, является метод двусторонней оценки структурной надежности МСС. Этот метод позволяет существенно сократить трудоемкость расчетов вплоть до ручного способа, гарантируя при этом любую наперед заданную точность расчетов.

5. В заключении статьи приведены некоторые способы повышения структурной надежности МСС.

Библиографический список

1. Федеральный закон РФ от 20.01.95г. «Закон о связи».
2. Руководящий документ Министерства связи РФ РД.45.128-2000.
3. Сети и службы передачи данных – 65с.
4. Концепция развития рынка телекоммуникационных услуг РФ от 26.07.200г. №1072-Р.
5. Р.А. Амарян Основы системного менеджмента межрегиональной телекоммуникационной компании. Обобщение опыта ОАО «ЦентрТелеком» М.: Весь мир, 2004, 346с.
6. Н.В. Межуев Концепция развития сети связи и телекоммуникации Московского филиала ОАО «ЦентрТелеком», М.: Весь мир, 2004, 611с.
7. Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беляев, А.В.Соловьев. Математические методы в теории надежности. М.: Наука, 1965, 524с.
8. Надежность технических систем. М.: Радио и связь, 1985, 606с.
9. В.А. Гадасин Методы расчета структурной надежности сети связи М.: 1986г.
10. Б.П. Филин. Методы анализа структурной надежности сетей связи, М.: Радио и связь, 1988г.
11. В.А. Богатырев К расчету надежности сети связи по совокупности путей. М.: Электросвязь, 1985г, №2 стр. 23-26.
12. M.O Ball. CJ Colbourn, J.S.Provan Network Realiability 2003г.
13. Хогдал, Дт. Скотт Анализ и диагностика компьютерных сетей. Пер. М.Кузьмин. М.: Лори, 2001г. 35с.

ABOUT SOME METHODS OF EVALUATION AND PREDICTION OF STRUCTURAL RELIABILITY OF MULTISERVICE COMMUNICATION NETWORKS

V.V.Kuznetsov, S.M.Chudinov, E.G.Ziliakov

The article describes some reliability evaluation methods for multiservice communication networks, for the most part of application character. Alongside with precise calculation methods the authors also give approximate methods which guarantee the desired evaluation precision.

УДК 303.732.4

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СИСТЕМНОМ АНАЛИЗЕ ФИНАНСОВЫХ ОПЕРАЦИЙ

М.Ф.Тубольцев[1]

1 - Белгородский государственный университет Российская Федерация, 308015, г. Белгород, ул. Победы, 85

Рассматривается проблема системного анализа совокупностей финансовых операций.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема анализа совокупностей финансовых операций приобретает все большее значение и в теории, и на практике. Исторически сложилось, что вероятностные и статистические методы доминируют в этой области. Успешное применение этих методов в задачах анализа портфелей ценных бумаг [1] породило целое направление в финансовой математике [2]. Статистические методы применяются во многих областях науки и техники, экономике и финансах, но недостаточность статистических методов проявляется в игнорировании проблемы хронологии финансовых операций [3].

Смысл данной проблемы в том, что агрегированная доходность совокупности финансовых операций зависит не только от параметров каждой операции, но и в значительной степени определяется взаимным расположением этих операций на оси времени. Произвольную совокупность финансовых операций можно рассматривать как