

**К.Е.Самуйлов**

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА И РАСЧЕТА СЕТЕЙ ОКС 7**

**Москва**  
**Издательство Российского университета дружбы народов**  
**2002**

ББК 22.12  
С 17

У т в е р ж д е н о  
*РИС Ученого совета*  
*Российского университета*  
*дружбы народов*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *А.Е. Кучерявый*,  
доктор технических наук, профессор *С.Н Степанов*.

С 17 **К.Е. Самуйлов**  
Методы анализа и расчета сетей ОКС 7: Монография. – М.:  
Изд-во РУДН, 2002. – 292 с.: ил.

ISBN 5-209-01512-2

Монография посвящена результатам исследований в области методов анализа показателей качества функционирования и расчета сетей ОКС 7. Рассматриваются архитектура протоколов ОКС 7, принципы функционирования и построения сети сигнализации, показатели качества и разделение сигнальной нагрузки. Излагаются методы анализа задержек сигнальной информации и методы расчета плана маршрутизации сети ОКС 7, основанные на моделях теории телетрафика и теории графов.

Для научных работников, специалистов в области связи, преподавателей профильных кафедр, аспирантов и студентов старших курсов.

ISBN 5-209-01512-2

ББК 22.12

© Издательство Российского университета дружбы народов, 2002  
© К.Е. Самуйлов, 2002

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>К читателю.....</b>	<b>7</b>
<b>Предисловие.....</b>	<b>9</b>
<b>1. Основные понятия и определения.....</b>	<b>13</b>
1.1. Введение.....	13
1.2. Пункты сигнализации и звено сигнализации .....	15
1.3. Режимы сигнализации и сигнальные маршруты .....	16
1.4. Функциональная структура ОКС 7.....	19
1.5. Сигнальные сообщения .....	21
1.6. Сигнальные единицы .....	22
<b>2. Архитектура ОКС 7 .....</b>	<b>27</b>
2.1. Модели ВОС и ОКС 7.....	27
2.2. Подсистема передачи сообщений (МТР).....	29
2.2.1. Функции звена данных сигнализации (уровень 1).....	31
2.2.2. Функции звена сигнализации (уровень 2) .....	32
2.2.3. Функции сети сигнализации (уровень 3) .....	38
2.3. Подсистема управления соединениями сигнализации (SCCP).....	44
2.3.1. Функциональная архитектура подсистемы SCCP.....	46
2.3.2. Сообщения подсистемы SCCP .....	47
2.3.3. Адресация и маршрутизация в подсистеме SCCP .....	49
2.4. Подсистемы пользователя.....	53
2.4.1. Прикладная подсистема возможностей транзакций (ТСАР).....	53
2.4.2. Подсистема пользователя ЦСИС (ISUP).....	62

<b>3.</b>	<b>Сеть сигнализации.....</b>	<b>70</b>
3.1.	Уровни иерархии сети ОКС 7 .....	70
3.2.	Принципы нумерации пунктов сигнализации.....	73
3.3.	Структура сети сигнализации .....	76
3.3.1.	Общие положения .....	76
3.3.2.	Транзитные пункты сигнализации .....	78
3.3.3.	Построение структуры сети ОКС 7 .....	80
3.4.	Маршрутизация сигнальных сообщений.....	86
3.4.1.	Маршрутные таблицы.....	86
3.4.2.	Маршрутизация в нормальных условиях функционирования сети .....	88
3.4.3.	Маршрутизация в случаях отказов и перегрузок .....	92
3.5.	План маршрутизации сигнальных сообщений.....	100
3.6.	Разделение сигнальной нагрузки.....	109
<b>4.</b>	<b>Показатели качества ОКС 7 и сигнальная нагрузка.....</b>	<b>119</b>
4.1.	Общие положения .....	119
4.2.	Интегральные показатели качества.....	123
4.2.1.	Гипотетические соединения сигнализации ...	123
4.2.2.	Показатели качества гипотетических соединений.....	127
4.3.	Требования стандартов к показателям качества подсистем ОКС 7.....	132
4.3.1.	Показатели качества функционирования подсистемы МТР .....	132
4.3.2.	Показатели качества функционирования подсистемы SCCP.....	140
4.3.3.	Показатели качества функционирования подсистемы ISUP .....	144
4.4.	Сигнальная нагрузка .....	147
4.4.1.	Определение сигнальной нагрузки.....	147
4.4.2.	Оценка сигнальной нагрузки подсистемы ISUP .....	151

4.4.3.	Оценка сигнальной нагрузки подсистемы SССР.....	153
4.4.4.	Примеры численного анализа .....	154
<b>5.</b>	<b>Методы анализа задержек сигнальных сообщений в сети ОКС 7 .....</b>	<b>160</b>
5.1.	Предварительные замечания.....	160
5.2.	Метод расчета задержек в звене сигнализации.....	161
5.2.1.	Математическая модель.....	161
5.2.2.	Виртуальное время обслуживания сигнальных единиц .....	167
5.2.3.	Характеристики задержек значащих сигнальных единиц .....	175
5.3.	Метод оценки среднего значения маршрутной задержки.....	179
5.4.	Примеры расчетов.....	182
5.4.1.	Модели сигнального трафика .....	182
5.4.2.	Характеристики задержек в очереди на передачу.....	185
5.4.3.	Характеристики общих задержек в звене сигнализации.....	194
5.4.4.	Замечания к расчету задержек в условиях экстремальных ошибок передачи .....	197
<b>6.</b>	<b>Метод расчета плана маршрутизации сигнальных сообщений .....</b>	<b>202</b>
6.1.	Постановка задачи.....	202
6.2.	Метод построения плана маршрутизации по коду пункта назначения.....	208
6.3.	Метод расчета емкости пучков звеньев сигнализации .....	217
6.4.	Метод расчета значений кодов селекции звена сигнализации .....	228

<b>7. Пример расчета сети ОКС 7.....</b>	<b>240</b>
7.1. Структура сети и исходные данные .....	240
7.2. Расчет планов маршрутизации по кодам пунктов назначения .....	243
7.3. Расчет емкости пучков звеньев сигнализации .....	246
7.4. Разделение сигнальной нагрузки.....	253
<b>Список сокращений .....</b>	<b>273</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>277</b>

## **К читателю**

Вниманию читателей предлагается книга по методам анализа и расчета сетей ОКС 7, основанная на более чем двадцатилетнем опыте работы ее автора в этой актуальной, важной и сложной области.

К.Е. Самуйлов является автором или соавтором около 50 публикаций, посвященных различным аспектам планирования и расчета как сетей ОКС 7, так и сетей телекоммуникаций: вероятностным и графовым моделям систем и сетей телетрафика; разработке алгоритмов и численных методов анализа конкретных систем, сетей и их фрагментов; созданию инструментальных программных средств для расчета сетей и программного обеспечения протоколов ОКС 7.

Книгу условно можно разделить на две части. В главах 1-3 вводятся основные понятия и определения, описывается архитектура ОКС 7 и сеть сигнализации. Затем в главе 4 излагаются требования стандартов к показателям качества ОКС 7, определяется сигнальная нагрузка и дается ее оценка для двух подсистем – ISUP и SCCP. Вторая часть посвящена изложению новых методов расчета сетей ОКС 7: задержки сигнальных сообщений (глава 5), маршрутизация сигнальных сообщений (глава 6) и пример расчета сети ОКС 7 (глава 7). Это наиболее ценная часть книги, основанная, в первую очередь, на результатах автора и его практическом опыте, полученном при участии в разработке схем сетей ОКС 7. В этой части книги автору удалось без излишней детализации дать достаточно прозрачное изложение не только теоретических методов, но и методики практического расчета сетей ОКС 7, сопроводив их близкими к реальности примерами.

Хочу отметить, что К.Е. Самуйлов является выпускником кафедры вычислительной математики и аспирантуры физико-математического факультета Российского университета дружбы народов. Математические аспекты его кандидатской диссертации были обсуждены на семинаре под руководством академика АН УССР, заведующего кафедрой теории вероятностей механико-математического факультета МГУ профессора Б.В. Гнеденко. Кандидатский экзамен он

сдал комиссии на кафедре математической статистики ВМК МГУ, председателем которой был академик Ю.В. Прохоров, а диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности «Теория вероятностей и математическая статистика» защитил на диссертационном совете того же факультета в 1984 г.

Со второй половины 1970-х годов на физмате РУДН постоянно работает научная группа преподавателей математических кафедр и сотрудников вычислительного центра в области создания и развития методов теории массового обслуживания и теории телетрафика, анализа и расчета систем и сетей телекоммуникаций, в том числе и сетей ОКС 7. Эта работа велась в тесном сотрудничестве с учеными и инженерами ЦНИИ связи, оказывавшим РУДН и его сотрудникам информационную, финансовую и моральную поддержку. Практически каждый год выходило несколько публикаций по различным аспектам исследований, включая ОКС 7, в которых соавторами наряду с преподавателями, аспирантами и дипломниками физмата РУДН были сотрудники ЦНИИС, Гипросвязи и др. В 1992 г. по понятным причинам состав научной группы был обновлен, исследования сосредоточились на ОКС 7, а руководителем группы и ее лидером стал доцент К.Е. Самуйлов. Благодаря его большой и целеустремленной работе как ученого, преподавателя и менеджера исследовательских проектов, на физмате РУДН в 1996 г. была создана кафедра систем телекоммуникаций.

Представляя книгу своего ученика, надеюсь, что она найдет своих читателей как среди сложившихся специалистов по сетям связи из профильных научно-исследовательских и проектных организаций, сетевых операторов и провайдеров услуг, так и среди преподавателей, старшекурсников и аспирантов нескольких смежных специальностей, заинтересует их и принесет им пользу.

**Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор**  
**Г.П. Башарин**



## Предисловие

Целью данной книги является систематическое и формализованное изложение методов анализа и расчета сетей общеканальной сигнализации №7 (ОКС 7) в объеме, достаточном для планирования сети сигнализации в части расчета основных показателей качества и плана маршрутизации сигнальных сообщений. Книга ориентирована прежде всего на отечественного читателя, поскольку на сегодняшний день и на достаточно долгую перспективу сети ОКС 7 российских операторов связи являются, по мнению автора, наиболее актуальной областью применения предлагаемых методов.

Задача, решаемая в книге, на первый взгляд формулируется достаточно просто: для сети ОКС 7 с заданной структурой требуется рассчитать показатели качества ее функционирования и маршрутные таблицы для пунктов сигнализации сети с учетом ограничений на структурные и нагрузочные параметры. Данные ограничения вытекают из требований международных стандартов [1-21], нормативных документов отрасли связи и специфики построения национальных сетей ОКС 7 [22-30]. Ясно, что в такой постановке задача имеет несколько возможных сценариев решения. На практике эта задача решается проектными организациями и операторами сетей всякий раз на этапе планирования конкретной сети ОКС 7. Если сеть имеет небольшую размерность и функционирует в основном в связанном режиме сигнализации, то процесс расчета может осуществляться «вручную», т.е. без применения специальных методов и программных средств. Решение задачи в случае сети большой размерности, функционирующей в смешанном (связанном и квазисвязанном) режиме сигнализации, практически невозможно в отсутствие математических методов, эффективных вычислительных алгоритмов и специализированных программных средств. Автор берет на себя смелость утверждать, что до сих пор в России и за рубежом нет публикаций, где сформулированная выше задача решена полностью в одной из ее возможных постановок, ее решение строго обосновано математически, а математические методы доведены до вычислительных алго-

ритмов. Сразу оговоримся, что в данной книге не ставится задача оптимизации сети ОКС 7 по некоторому критерию, например, надежностному или стоимостному. Решение задачи в целом с учетом оптимизации автору не известно, а известны лишь подходы и методы решения некоторых частных случаев, которые не являются предметом изложения в данной книге.

Для решения этой важной и сложной научно-технической проблемы необходимо обладать опытом в планировании реальных сетей и большим объемом знаний об ОКС 7, во-первых, как об открытой системе протоколов (архитектура ОКС 7), во-вторых, о принципах построения и функционирования сети сигнализации (сетевой аспект ОКС 7), и, в-третьих, глубоко понимать проблемы качества функционирования ОКС 7 и обслуживания сигнального трафика (показатели качества ОКС 7 и сигнальная нагрузка). Изложению первых двух аспектов посвящены главы 1-3, а изложению вопросов показателей качества функционирования ОКС 7 и обслуживания сигнального трафика - глава 4, которая во многом опирается на результаты исследований, в которых автор книги принимал самое непосредственное участие.

Следует особо подчеркнуть, что исследования в такой многогранной проблемной области практически немислимы в отсутствие опоры на фундаментальные теоретические методы и масштабные инженерные решения. В области систем сигнализации по общему каналу, несомненно, следует считать сложившейся школу отечественных специалистов, благодаря усилиям которых были созданы и эксплуатируются сети ОКС 7 российских операторов. Теоретические основы отечественных исследований ОКС 7 также базируются в основном на результатах российских ученых в области теории телетрафика и теории массового обслуживания. Не вдаваясь в детали литературного обзора, сделаем ссылки на основные работы российских [31-62] и зарубежных [63-84] ученых и специалистов. Эти работы помогут заинтересованному читателю более глубоко изучить вопросы, рассматриваемые в

данной книге. В списке литературы имеются также ссылки и на некоторые другие источники, которые сделаны по ходу изложения глав книги.

Главы 5-7 посвящены новым методам расчета сетей ОКС 7, разработанных автором книги в результате многолетних научных исследований, а также на основе личного опыта и участия в НИР по разработке схем сетей ОКС 7 большой размерности (междугородная сеть ОКС 7 и сеть ОКС 7 Московского региона) [85-90]. В этих главах сделан акцент на то, чтобы читатель смог не только разобраться в математических методах, но и понять, как эти методы можно применить на практике. Поэтому без ограничения общности и для того, чтобы не перегружать изложение деталями, математические методы строятся исходя из некоторых упрощающих предположений о структурных и нагрузочных параметрах сети ОКС 7. Этот недостаток компенсируется наличием взятых из реальной жизни примеров, которые иллюстрируют практически каждый шаг всех методов и алгоритмов. Кроме того, последняя, седьмая глава книги посвящена детальному рассмотрению примера расчета плана маршрутизации сигнальных сообщений.

Все, что изложено в книге, в той или иной мере основано на личном, более чем 20-летнем, опыте автора, полученном в процессе участия в российских и зарубежных проектах, посвященных решению конкретных научно-технических задач в области планирования и расчета сетей ОКС 7 [91-118], в работе по подготовке вкладов в труды МСЭ-Т [119-120], в создании программного обеспечения протоколов ОКС 7 [121-125] и разработке инструментальных программных средств для моделирования и расчета сетей телекоммуникаций [126-133]. Из всего перечисленного в данную книгу автором включена самая, с его точки зрения, актуальная для российского читателя часть - методы анализа и расчета сетей ОКС 7. В эту крупную область научно-технических исследований и разработок за последние 25 лет сделан огромный вклад известными российскими учеными и инженерами-

связистами, с многими из которых автор обсуждал или вместе решал задачи и проблемы создания отечественных методов и средств анализа и расчета сетей ОКС 7. Этим людям, фамилии которых перечислены ниже в алфавитном порядке без указания их ученых степеней, званий и должностей, автор во многом благодарен за то, что эта книга состоялась: А.С.Аджемов, Г.П.Башарин, А.И.Васильченко, Б.С.Гольдштейн, В.Г.Дедоборщ, М.А.Жарков, А.П.Иванов, С.А.Клауз, А.Е.Кучерявый, В.А.Наумов, В.П.Полищук, Н.А.Соколов, С.П.Соловьев, Ю.И.Филюшин, М.А.Шнепс-Шнеппе, П.А.Юнаков, Г.Г.Яновский.

Автор особо благодарен профессорам А.Е.Кучерявому и С.Н.Степанову за их любезное согласие быть рецензентами. Глубокая признательность выражается моему учителю профессору Г.П.Башарину, который сыграл огромную роль, убедив автора пройти весьма нелегкий путь написания этой книги.

Книга, скорее всего, не увидела бы свет без Ю.В.Гайдамака и А.В.Чукарина, которые оказали автору неоценимую помощь в её подготовке к изданию.

## ГЛАВА 1

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

*Это нечто «...подобное центральной нервной системе живого организма, нечто координирующее его функции и, будучи полностью отделенным от этих функций, не заменяющее их».\**

#### 1.1. Введение

Развитие систем сигнализации обуславливалось необходимостью повышения их надежности, снижения объема и стоимости аппаратуры сигнализации, увеличения количества передаваемых сигналов и скорости их передачи, обеспечения возможности передачи данных непосредственно от абонентских установок. Оптимальной для использования в современных сетях связи является система общеканальной сигнализации № 7 (ОКС 7) [1], пришедшая на смену системе ОКС 6, которая при явном преимуществе перед системами сигнализации, разработанными ранее, имела ряд существенных недостатков.

С целью устранения недостатков ОКС 6 и по некоторым другим причинам возникла потребность в разработке новой системы в классе систем сигнализации по общему каналу. Так возникла система ОКС 7, требования к которой были впервые специфицированы МККТТ в 1981 г. в рекомендациях Q.701-Q.741 (Красная книга). В соответствии с этими стандартами ОКС 7 была оптимизирована для передачи сообщений переменной длины со скоростью передачи 64 Кбит/с. С 1981 г. система ОКС 7 совершенствовалась и на сегодняшний день является ключевым элементом цифровых сетей связи как на национальном, так и международном

---

\* W.C. Roehr Inside SS No.7: A detailed look at ISDN's Signaling System Plan // Data Commun. – October, 1985.

уровне. Согласно рекомендации Q.700 МСЭ-Т Белой книги, ОКС 7 представляет собой стандартизированную в международном масштабе систему сигнализации по общему каналу универсального назначения. В современных сетях связи ОКС 7 позиционируется как система, позволяющая станциям, сетевым базам данных и другим узлам сети обмениваться сообщениями, относящимися к процессам установления, поддержания и разъединения информационных соединений, а также информацией, необходимой для выполнения распределенных прикладных процессов и управления сетевыми ресурсами. Преимуществами ОКС 7 являются:

- скорость – время установления соединения в большинстве случаев не превышает одной секунды;
- высокая производительность – каждое звено сигнализации способно обслуживать тысячи телефонных вызовов;
- экономичность – по сравнению с традиционными системами сигнализации сокращается объем необходимого оборудования;
- надежность – использование альтернативной маршрутизации в сети сигнализации позволяет значительно повысить надежность базовой сети связи;
- гибкость – система передает любые данные и может использоваться для целей, отличных от телефонии.

Таким образом, ОКС 7 определяет инфраструктуру управления современными сетями связи. Основными применениями ОКС 7 являются телефонная сеть общего пользования (ТфОП), цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС), сеть подвижной связи (СПС) и интеллектуальная сеть связи (ИСС). Являясь по своей сути системой пакетной коммутации, ОКС 7 имеет целый ряд особенностей и специфическую терминологию. Поэтому в этой и последующих главах дана краткая характеристика ОКС 7 с позиций эталонной модели взаимодействия открытых систем (ВОС) [134], а объем изложения позволяет составить общее представление об ОКС 7 и достаточен с точки зрения понимания книги в целом.

Целью данной главы является определение основных понятий ОКС 7, которыми являются пункт сигнализации, звено сигнализации, режим сигнализации, транзитный пункт сигнализации, сигнальный маршрут, разделение сигнальной нагрузки, подсистема передачи сообщений, подсистема пользователя и сигнальная единица. Основные и связанные с ними понятия вводятся отчасти на интуитивном уровне и более детально будут описаны ниже. Вводятся англоязычная стандартизованная терминология и аббревиатуры, а также некоторые общепринятые русскоязычные аббревиатуры. Отметим, что в книге будут использоваться в основном англоязычные аббревиатуры и в отдельных случаях – русскоязычные.

## **1.2. Пункты сигнализации и звено сигнализации**

*Пункт сигнализации* (SP – Signaling Point) – это узел коммутации и обработки сигнальной информации в сети сигнализации. Для идентификации каждого пункта сигнализации определяется уникальный номер, получивший название *код пункта сигнализации* (SPC – Signaling Point Code).

Пункт сигнализации, принимающий сообщения и передающий его без обработки содержания, называется *транзитным пунктом сигнализации* (STP – Signaling Transfer Point).

Пункт сигнализации, который генерирует сигнальное сообщение, называется *исходящим пунктом* сигнализации (Originating Point). Пункт сигнализации, которому предназначено сообщение, называется *пунктом назначения* (Destination Point).

Пункты сигнализации могут быть либо интегрированы в оборудование коммутационных станций базовой сети связи, либо реализованы на базе выделенного оборудования. Наиболее часто на базе выделенного оборудования реализуются пункты с функциями STP. В ИСС выделенными могут быть, например, узлы управления услугами (SCP – Service

Control Point). Пункты сигнализации представлены также в СПС и имеют специфику, аналогичную пунктам сигнализации ИСС. Например, аналогом пункта SSP в сети подвижной связи стандарта GSM является сигнальное оборудование центра коммутации подвижной связи (MSC – Mobile Switching Center), а аналогом пункта SCP – оборудование узла баз данных HLR (Home Location Register). В силу специфики и некоторых исторических предпосылок стеки протоколов системы сигнализации № 7 в СПС принято рассматривать отдельно от базового стека протоколов ОКС 7, определенного рекомендациями МСЭ-Т. Протоколы сигнализации ИСС и СПС не являются предметом исследований в данной книге, а их подробное описание можно найти как в зарубежных, так и отечественных источниках [49, 50, 59, 108, 135].

*Звено сигнализации* (SL – Signaling Link) предназначено для переноса сигнальных сообщений между двумя пунктами сигнализации. Наряду с англоязычной в книге чаще всего будет использоваться общепринятая русскоязычная аббревиатура – ЗС. Физически звено сигнализации образуется из терминального оборудования и какой-либо системы передачи (например, один временной интервал ИКМ). Если между двумя пунктами сигнализации используются несколько ЗС, то говорят, что между этими пунктами имеется множество или *пучок звеньев сигнализации* (Signaling Link-Set).

### **1.3. Режимы сигнализации и сигнальные маршруты**

Термин *режим сигнализации* (режим передачи сигнальной информации) (Signaling Mode) определяет с сетевой точки зрения отношение пути передачи сигнальных сообщений по сети сигнализации к пути передачи информации пользователя (речи либо данных) по базовой сети связи. Различают два режима сигнализации: – связанный режим (Associated Mode) и квазисвязанный режим (Quasi-Associated Mode).

Говорят, что два пункта сигнализации находятся в *сигнальном отношении* (Signaling Relation), если между ними



протекает процесс ОКС 7 по обслуживанию вызовов базовой сети связи. Примерами таких процессов в ТфОП и ЦСИС являются процедуры установления и разъединения коммутируемых соединений. В ИСС и СПС примерами таких процессов служат транзакции к базам данных в узлах типа SCP и HLR.

На рис. 1.1 схематично изображен связанный режим сигнализации. При таком режиме пути передачи информации пользователя и сигнальных сообщений, принадлежащих соответствующему сигнальному отношению, совпадают.

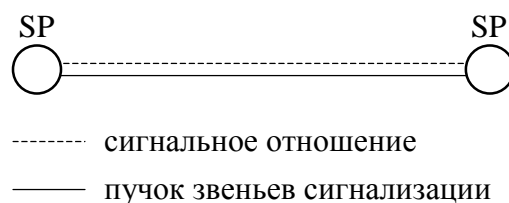


Рис. 1.1. Связанный режим сигнализации

При квазисвязанном режиме сигнальные сообщения, принадлежащие одному и тому же сигнальному отношению, задействуют на своем пути пункты сигнализации с функциями STP, как это показано на рис.1.2, при этом пути передачи информации пользователя и сигнальных сообщений не совпадают. Другими словами, при квазисвязанном режиме в отличие от связанного режима при передаче сигнальной информации используются несколько последовательных пучков ЗС.

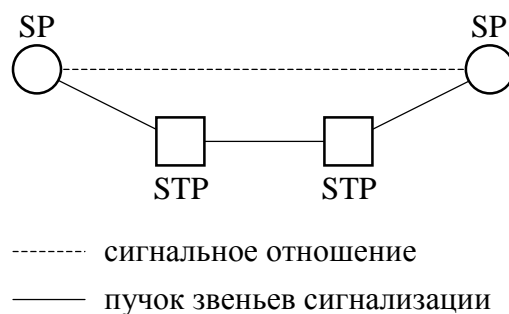


Рис. 1.2. Квазисвязанный режим сигнализации

С точки зрения терминологии ясно, что для сигнальных отношений исходящий пункт сигнализации является источником, а пункт назначения – адресатом (стоком) сигнальной нагрузки. Из этого определения следует дополнение к введенному выше понятию транзитных пунктов сигнализации, которыми являются пункты сети сигнализации, принимающие сигнальные сообщения по одному пучку ЗС и передающие их далее по другому пучку без обработки содержания. Следовательно, при квазисвязанном режиме сигнальные сообщения передаются от исходящего пункта к пункту назначения через один или более транзитных пунктов сигнализации. При связанном режиме транзитные пункты сигнализации не задействуются.

*Сигнальный маршрут* (SR – Signaling Route) – это заранее установленный путь по сети сигнализации от исходящего пункта к пункту назначения, состоящий из транзитных пунктов сигнализации, последовательно соединенных пучками ЗС. Совокупность всех маршрутов между исходящим пунктом и пунктом назначения называется множеством, или *пучком сигнальных маршрутов* (SRS – Signaling Route Set).

Маршруты, используемые в нормальных условиях функционирования сети, будем называть *основными*, а маршруты, используемые в случаях отказов или перегрузок, –

*альтернативными.* Введем также понятие *разделения сигнальной нагрузки* – распределение сигнальных сообщений в процессе маршрутизации по двум и более ЗС с целью равномерной загрузки ресурсов сети сигнализации и для обеспечения надежности ее функционирования. Более подробно вопросы маршрутизации и разделения сигнальной нагрузки рассматриваются в главе 3.

#### **1.4. Функциональная структура ОКС 7**

Базовая функциональная структура ОКС 7 изображена на рис. 1.3. Ее основными функциональными блоками являются подсистема передачи сообщений (МТР – Message Transfer Part) и подсистема пользователя (UP – User Part). Подсистема передачи сообщений является общей транспортной системой и служит для надежной передачи сигнальных сообщений по сети сигнализации. Подсистемы пользователя – это функциональные блоки, каждый из которых содержит процедуры и функции, определенные для каждого типа применения ОКС 7.

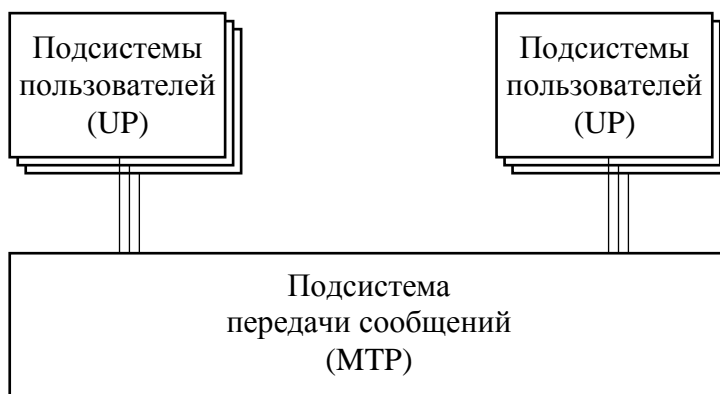


Рис. 1.3. Базовая функциональная структура ОКС 7

Подсистема МТР является общей транспортной системой для всех типов подсистем пользователя ОКС 7 и предназначена для надежной передачи сигнальных сообщений, являясь полностью независимой от их содержания. Это означает, что сигнальные сообщения передаются без ошибок (все искаженные сообщения должны быть исправлены до того, как они попадут в принимающую подсистему пользователя), в правильной последовательности, без потерь и дублирования. Подсистема передачи сообщений МТР подразделяется на три уровня.

Уровень 1 (*МТР1*) определяет физические, электрические и функциональные характеристики канала передачи для звена данных сигнализации (*SDL – Signaling Data Link*).

Уровень 2 (*МТР2*) определяет функции и процедуры, относящиеся к передаче сигнальных сообщений по индивидуальному для каждого из них ЗС. Функции МТР2 определяют структуру передаваемых сообщений и процедуры обнаружения и исправления ошибок.

Уровень 3 (*МТР3*) содержит сетевые функции и определяет только те транспортные функции, которые являются общими для всех ЗС, и в то же время не зависят от их функционирования в отдельности.

Подсистема пользователя – это функциональный блок, где могут генерироваться и обрабатываться сигнальные сообщения. Подсистема пользователя использует МТР в качестве транспортной системы для передачи сигнальных сообщений к другим подсистемам пользователя. Подсистемами пользователя являются, например, подсистема пользователя ЦСИС (*ISUP – ISDN User Part*), подсистема управления соединениями сигнализации (*SCCP – Signaling Connection Control Part*) и прикладная подсистема возможностей транзакций (*TCAP – Transaction Capabilities Application Part*). Отметим, что в данном контексте «пользователь» означает любой функциональный объект, в котором используются транспортные возможности подсистемы МТР. С точки зре-

ния модели ВОС, пользователями подсистемы МТР являются подсистемы ISUP и SCCP. Более детально данный вопрос обсуждается в главе 2.

### **1.5. Сигнальные сообщения**

*Сигнальное сообщение* представляет собой передаваемый как единое целое набор сигнальной информации, относящейся к вызову, процедуре управления и пр.

На рис. 1.4 приведен пример обмена сигнальными сообщениями между двумя пунктами сигнализации в процессе установления и разъединения простейшего телефонного соединения. Заметим, что на этом и других рисунках при изображении диаграмм различного типа используется нотация языка UML [136].

Для установления такого соединения по сети ОКС 7 в прямом направлении передается начальное адресное сообщение (IAM – Initial Address Message). Это сообщение выполняет функции инициации занятия исходящего канала, передачи адреса вызываемого абонента и другой связанной с вызовом информации. Для передачи дополнительной информации от вызывающей стороны после сообщения IAM в случае необходимости может передаваться последующее адресное сообщение (SAM – Subsequent Address Message). Затем в обратном направлении передается сообщение о завершении приема адресной информации (ACM – Address Complete Message), которое содержит информацию о статусе вызываемого абонента (например, абонент свободен). Далее передается сообщение ответа вызываемого абонента (ANM – Answer Message), определяющее момент начала начисления оплаты. После этого происходит разговор или обмен данными двух абонентов. Разъединение соединения происходит путем отправления в прямом направлении сообщения о завершении вызова (REL – Release) и подтверждения завершения вызова в обратном направлении сообщением разъединения соединения (RLC – Release Complete).

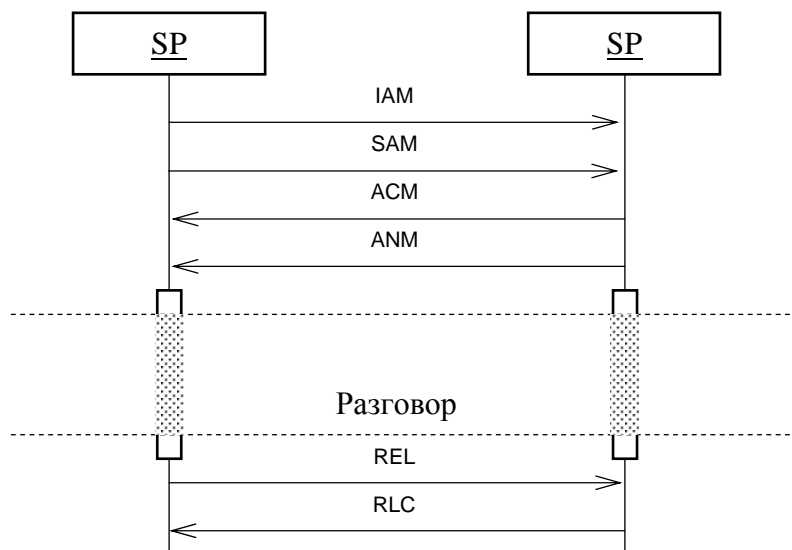


Рис. 1.4. Временная диаграмма установления и разъединения телефонного соединения

### 1.6. Сигнальные единицы

В ОКС 7 сигнальная информация передается в виде пакетов данных переменной длины, называемых *сигнальными единицами* (SU – Signal Unit). Таким образом, ОКС 7, по сути, является системой передачи данных с режимом коммутации пакетов. Следует отметить, что протоколы уровней МТР1, МТР2 и МТР3 подсистемы передачи сообщений во многом аналогичны протоколу X.25.

Существует три типа сигнальных единиц, форматы которых показаны на рис. 1.5:

- *значащая сигнальная единица* (MSU – Message Signal Unit) – сигнальная единица, в составе которой передаются сигнальные сообщения;

- *сигнальная единица состояния звена (LSSU – Link Status Signal Unit)* – сигнальная единица, которая используется для управления состоянием ЗС;
- *заполняющая сигнальная единица (FISU – Fill In Signal Unit)* – применяется для передачи положительных и отрицательных подтверждений при отсутствии других типов сигнальных единиц.

Для обозначения некоторых сигнальных единиц (СЕ) будем также использовать русскоязычные аббревиатуры – ЗнСЕ (MSU) и ЗСЕ (FISU).

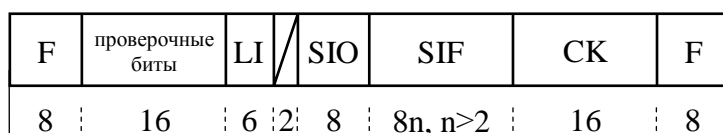
Формат ЗнСЕ состоит из перечисленных ниже полей фиксированной длины.

F (Flag) – флаг. Имеет постоянную длину и обозначает начало СЕ. Открывающий флаг одной СЕ является закрывающим флагом другой.

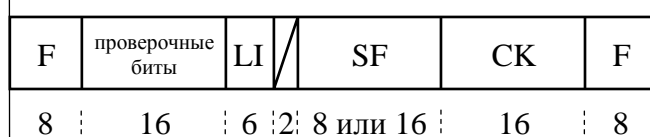
СК (Check Bits) – проверочные биты. Поле имеет постоянную длину и применяется для обнаружения ошибок передачи.

SIF (Signaling Information Field) – поле сигнальной информации переменной длины, содержащее информацию, предоставленную подсистемой пользователя для передачи. Поле состоит из целого числа байт (не менее 2 и не более 272) и содержит *этикетку маршрутизации*, которая используется для маршрутизации сообщений в сети сигнализации на уровне подсистемы передачи сообщений.

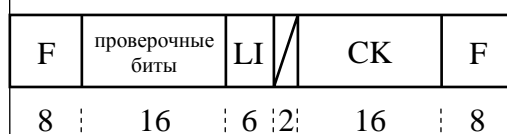
### MSU



### LSSU



### FISU



порядок передачи битов  $\rightarrow$

Рис. 1.5. Формат сигнальных единиц

SIO (Signaling Information Octet) – байт сигнальной информации, указывающий на принадлежность сигнальной информации конкретной подсистеме пользователя.

LI (Length Indicator) – индикатор длины. Имеет постоянную длину и определяет длину СЕ (количество байт, следующих за индикатором длины и предшествующих полю СК). Индикатор однозначно идентифицирует тип СЕ: LI=0 соответствует заполняющей сигнальной единице (FISU), LI=1 или 2 соответствует сигнальной единице состояния звена (LSSU), LI>2 соответствует значащей сигнальной единице (MSU).



FIB (Forward Indicator Bit) – прямой бит-индикатор, служащий для подтверждения правильности приема и контроля передачи СЕ в нужной последовательности.

FSN (Forward Sequence Number) – прямой порядковый номер, содержащий номер передаваемой СЕ и служащий для контроля их последовательности. Значение поля FSN новой ЗнСЕ образуется увеличением по модулю 128 последнего присвоенного значения FSN на единицу. Присвоенный таким образом номер FSN однозначно идентифицирует ЗнСЕ и сохраняется за ней до тех пор, пока она не будет принята без ошибки и в правильной последовательности приемной частью ЗС.

BIB (Backward Indicator Bit) – обратный бит-индикатор. Применяется в целях, аналогичных использованию поля FIB.

BSN (Backward Sequence Number) – обратный порядковый номер, содержащий номер подтверждаемой СЕ.

Прямой бит-индикатор FIB, прямой порядковый номер FSN, обратный бит-индикатор BIB, обратный порядковый номер BSN используются в специфицированных рекомендациями МСЭ-Т методах защиты от ошибок в случае их обнаружения для обеспечения повторных передач.

На рис. 1.6 показан общий принцип формирования полей ЗнСЕ в соответствии с рекомендацией Q.703 [4].

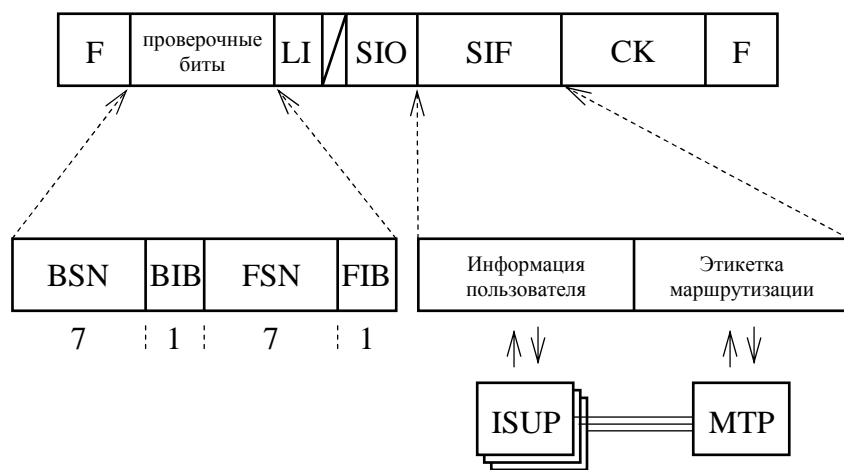


Рис. 1.6. Формирование значащей сигнальной единицы

## ГЛАВА 2

### АРХИТЕКТУРА ОКС 7

#### 2.1. Модели ВОС и ОКС 7

Первая спецификация модели протоколов ОКС 7 была опубликована МККТТ практически одновременно с моделью ВОС. Архитектура модели протоколов ОКС 7 имеет уровневую структуру, аналогичную модели ВОС[134]. На рис. 2.1 представлена современная архитектура стека протоколов ОКС 7 и показано ее соответствие уровням модели ВОС. Прикладные подсистемы интеллектуальной сети (INAP – Intelligent Network Application Part), подвижной связи (MAP – Mobile Application Part), эксплуатации, технического обслуживания и административного управления (OMAP – Operation, Maintenance and Administration Part) показаны в иллюстративном порядке, поскольку, как указывалось выше, не являются предметом изложения в данной книге.

Часть стека протоколов ОКС 7, соответствующая первым трем уровням модели ВОС – физическому, каналному и сетевому, называется *подсистемой сетевых услуг* (NSP – Network Services Part). Функции сетевого уровня модели ВОС в стеке ОКС 7 разделены между подсистемами МТР и SCCP. Подсистема SCCP является пользователем услуг, предоставляемых уровнем МТР3 подсистемы МТР и, следовательно, четвертым уровнем стека протоколов ОКС 7. Подсистема МТР обеспечивает функции передачи сообщений без установления соединения, а подсистема SCCP – дополнительные к МТР функции для услуг сети как *без установления соединения* (CL – Connectionless), так и *с установлением соединения* (CO – Connection-oriented). Такое разделение сетевых функций в ОКС 7 является целесообразным, поскольку, во-первых, не все части пользователей используют услуги подсистемы SCCP и, во-вторых, выделение функций SCCP в отдельную подсистему дает возможность оптимизировать показатели качества подсистемы МТР. Таким образом, под-

система сетевых услуг предназначена для надежной передачи сообщений между прикладными протоколами ОКС 7 и всеми типами подсистем пользователя.

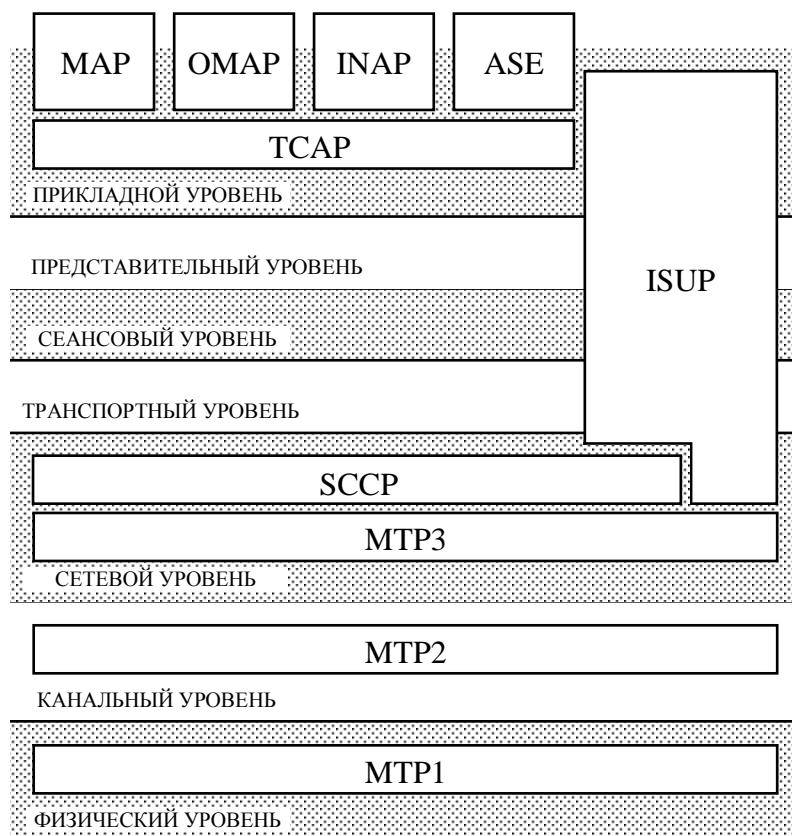


Рис. 2.1. Архитектура стека протоколов ОКС 7

На рис. 2.1 использованы следующие сокращения:

OMAP	Operations Maintenance and Administration Part. Подсистема эксплуатации, технического обслуживания и управления.
MAP	Mobile Application Part. Прикладная подсистема подвижной связи.
INAP	Intelligent Network Application Part. Прикладной протокол интеллектуальной сети.
ASE	Application Service Element. Элемент прикладной службы.
TCAP	Transaction Capabilities Application Part. Прикладная подсистема возможностей транзакций.
ISUP	ISDN User Part. Подсистема пользователя ISDN.
SCCP	Signaling Connection Control Part. Подсистема управления соединениями сигнализации.
MTP	Message Transfer Part. Подсистема передачи сообщений.

Заметим, что функции транспортного, сеансового и представительного уровней в модели ОКС 7 не требуют реализации.

При изложении материалов данной главы автор использовал целый ряд литературных источников, в том числе и те, в подготовке которых он принимал непосредственное участие [89, 107, 110, 111].

## **2.2. Подсистема передачи сообщений (МТР)**

Подсистема МТР является общей для всех подсистем пользователя в одном пункте сигнализации. Функции МТР подразделяются на три функциональных уровня (рис. 2.2):

- функции звена данных сигнализации (уровень 1);

- функции звена сигнализации (уровень 2);
- функции сети сигнализации (уровень 3).

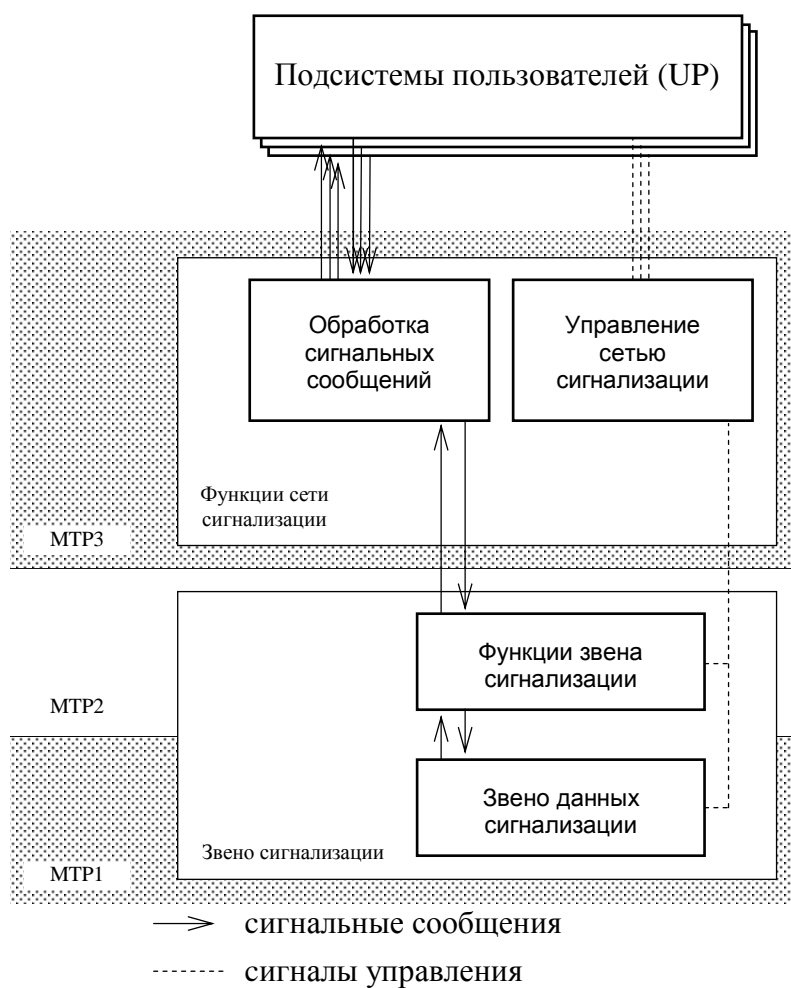


Рис. 2.2. Структура функций подсистемы передачи сообщений

### **2.2.1. Функции звена данных сигнализации (уровень 1)**

Звено данных сигнализации – это физическая среда для передачи информации (битового потока) между двумя пунктами в сети сигнализации. Звено данных сигнализации представляет собой двусторонний тракт передачи данных сигнализации, состоящий из двух каналов передачи данных, работающих одновременно в противоположных направлениях с одинаковой скоростью (рис. 2.3).

Звено данных сигнализации может быть цифровым или аналоговым. На сети России в соответствии с национальными требованиями используются только цифровые звенья данных сигнализации. Цифровое звено данных сигнализации состоит из цифрового канала передачи 64 Кбит/с, выделенного в цифровом тракте 2048 Кбит/с, и окончного оборудования, обеспечивающего интерфейс с сигнальным терминалом. Звено может также включать оборудование уплотнения и коммутации.

Протокол уровня 1 для звена данных сигнализации определен в рекомендации Q.702 [3]. Стандартным канальным интервалом, используемым для звена данных сигнализации, является временной интервал 16. Допускается применять любой имеющийся в распоряжении канальный временной интервал для передачи данных пользователя со скоростью 64 Кбит/с, за исключением временного интервала 0, который всегда используется для синхронизации. Более подробно физические, электрические и функциональные характеристики звена данных сигнализации описаны в рекомендациях G.703, G.704 и G.732 [137-139].

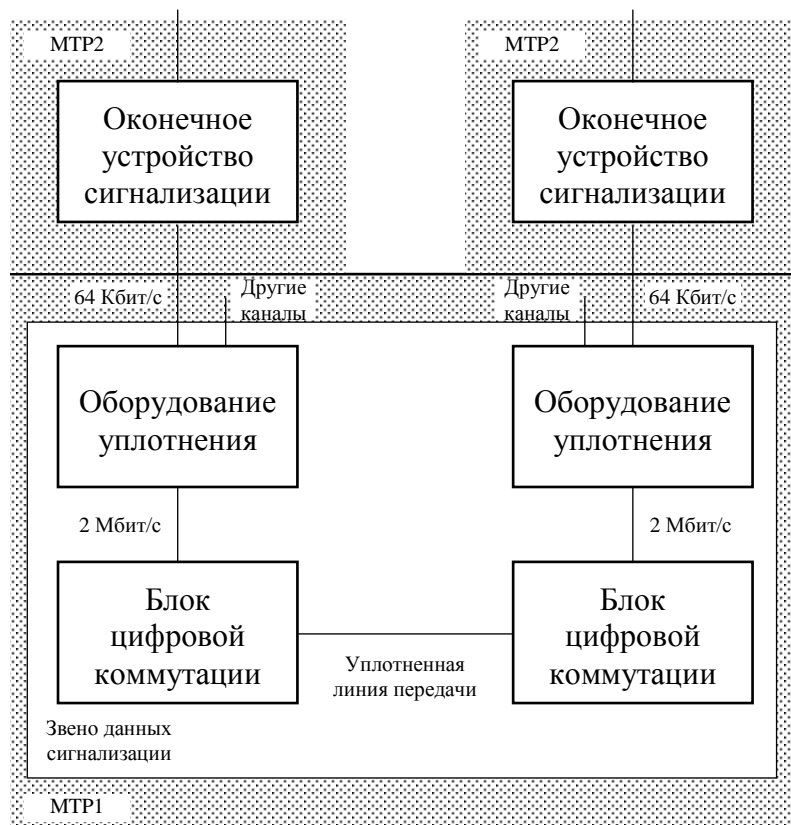


Рис. 2.3. Звено сигнализации

### 2.2.2. Функции звена сигнализации (уровень 2)

Функции ЗС вместе со звеном данных сигнализации в качестве среды передачи и сигнальным терминалом в качестве контроллера передачи/приема обеспечивают надежную передачу сигнальных сообщений между двумя непосредственно соединенными пунктами сигнализации (см. рис. 2.3).

ЗС выполняет следующие функции: выделение и фазирование сигнальных единиц (флаги); обнаружение ошибок; исправление ошибок; начальное фазирование; контроль ошибок звена сигнализации; управление потоком уровня 2.



Функции ЗС обеспечивают передачу сообщений без ошибок, в правильной последовательности, без потерь и дублирования, а также выполнение начального фазирования и контроля функционирования звена.

### **Функции управления звеном сигнализации**

Сигнальные сообщения передаются по ЗС в виде ЗнСЕ переменной длины в зависимости от объема передаваемой в них информации (рис. 2.4). ЗнСЕ содержит помимо сигнальной информации в поле сигнальной информации (SIF) ряд управляющих полей. Управляющие поля используются функциями управления звеном сигнализации для обеспечения надежной передачи сообщений.

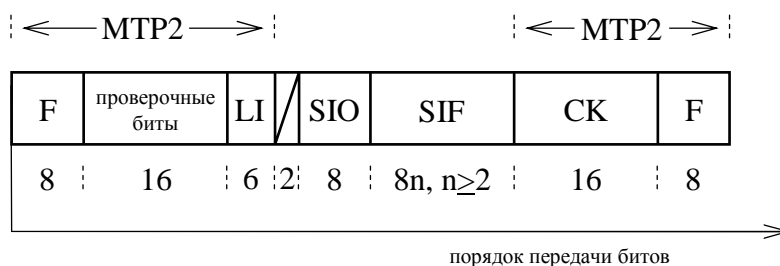


Рис. 2.4. Значащая сигнальная единица

### **Выделение сигнальной единицы**

Начало и конец СЕ отмечаются специальной 8-битовой последовательностью, называемой флагом (рис. 2.5). Для исключения имитации кода флага где-либо в СЕ используется вставка 0 (нуля) после каждой последовательности из пяти «1». Эти дополнительные нули удаляются в оконечном устройстве ЗС на приемном конце.

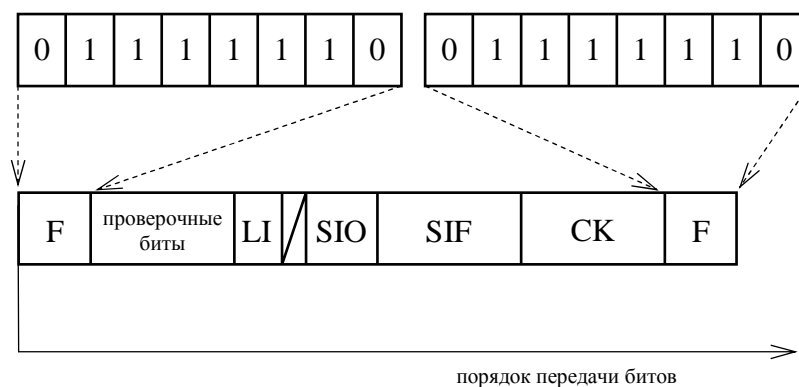


Рис. 2.5. Флаг

### ***Фазирование сигнальных единиц***

Фазирование СЕ выполняется процедурой выделения, описанной выше. Потеря фазирования происходит в том случае, когда принимается последовательность битов, не разрешенная процедурой выделения СЕ (более шести “1” подряд), или когда превышена максимальная длина СЕ. Следует отметить, что индикатор LI не используется для определения длины СЕ.

### ***Обнаружение ошибок***

Обнаружение ошибок осуществляется с помощью 16 проверочных битов (СК), передаваемых в конце каждой СЕ. Проверочные биты (контрольная сумма) генерируются передающим сигнальным терминалом путем обработки по определенному алгоритму предыдущих битов СЕ. Для вычисления контрольной суммы на приемном конце используется тот же алгоритм. Затем эта контрольная сумма сравнивается с принятой контрольной суммой. Если две контрольные суммы не совпадают, то отмечается наличие ошибок, а данная СЕ стирается.

### **Исправление ошибок**

Для исправления ошибок используется поле, которое содержит 16 бит и состоит из прямого (FSN) и обратного (BSN) порядковых номеров, а также прямого (FIB) и обратного (BIB) бит-индикаторов (рис. 2.6).

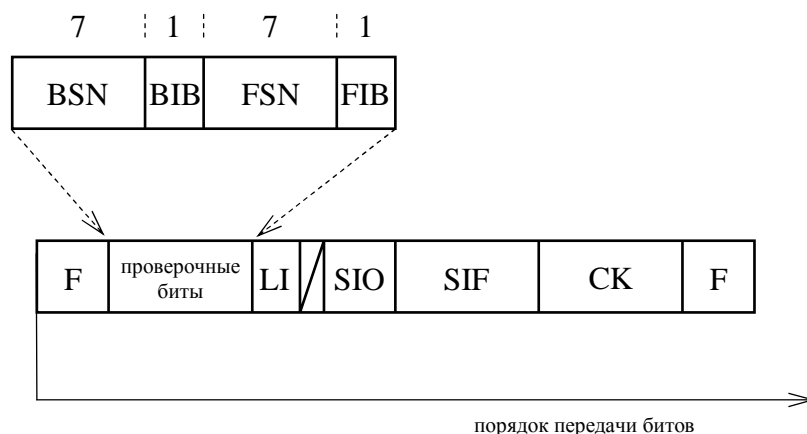


Рис. 2.6. Поля для функций исправления ошибок

Каждому передаваемому сообщению присваивается порядковый номер, который вводится в поле FSN. При обнаружении ошибки ЗнСЕ передаются повторно, сигнальные единицы состояния звена и ЗСЕ не повторяются. Предусмотрены два метода исправления ошибок – основной, или *базовый метод* (BEC – Basic Error Correction) и *метод превентивного циклического повторения* (PCR – Preventive Cyclic Retransmission). Процедуры исправления ошибок выполняются независимо друг от друга в обоих направлениях передачи.

*Базовый метод исправления ошибок.* Согласно данному методу, переданная СЕ сохраняется в буфере повторной передачи до тех пор, пока на нее не будет принято положительное подтверждение (АСК – Acknowledgment). Если сообщение принято правильно, то принимающее окончное

устройство ЗС передает положительное подтверждение путем присвоения прямого порядкового номера принятой ЗнСЕ обратному порядковому номеру следующей СЕ, передаваемой в противоположном направлении, т.е. или ЗнСЕ, или ЗСЕ, или СЕ состояния звена. Обратный бит-индикатор устанавливается равным прямому бит-индикатору в принятой СЕ.

При приеме положительного подтверждения исходящее оконечное устройство ЗС удаляет СЕ из буфера повторной передачи. Если принятая СЕ является ошибочной, то принимающее оконечное устройство ЗС передает отрицательное подтверждение (NACK – Negative Acknowledgment) путем инвертирования обратного бита-индикатора. Новое значение обратного бита-индикатора передается со всеми последующими передаваемыми СЕ до тех пор, пока не будет передано новое отрицательное подтверждение. Обратному порядковому номеру присваивается значение прямого порядкового номера последней правильно принятой ЗнСЕ.

При приеме исходящим оконечным устройством ЗС отрицательного подтверждения передача новых СЕ прерывается, и те СЕ, которые уже были переданы, но не подтверждены, передаются из буфера повторной передачи еще один раз в той же последовательности, в какой они передавались первый раз. Так обеспечивается передача СЕ в правильной последовательности и без дублирования.

В начале повторной передачи прямой бит-индикатор инвертируется и, таким образом, становится равным величине обратного бит-индикатора принятой СЕ. Новое значение прямого бит-индикатора сохраняется в передаваемых СЕ до начала новой повторной передачи.

*Метод превентивного циклического повторения.* В данном методе переданная СЕ сохраняется в буфере повторной передачи до тех пор, пока на нее не будет принято положительное подтверждение. В течение времени, когда нет новых ЗнСЕ или сигнальных единиц состояния звена, все уже

переданные, но не подтвержденные СЕ передаются циклически повторно.

Если достигнут предел количества ЗнСЕ или предел количества байтов ЗнСЕ для повторной передачи, то используется процедура превентивного (вынужденного) повторения. Передача новых СЕ прекращается, а все ЗнСЕ, хранящиеся в буфере повторной передачи, передаются с приоритетом в том порядке, в каком они передавались первый раз, до тех пор, пока не уменьшится число неподтвержденных СЕ. После этого вводится нормальная процедура превентивного циклического повторения.

Следует отметить, что в данном методе не используется отрицательное подтверждение. Метод превентивного циклического повторения применяется для ЗС, в которых время распространения более 15 мс, и для всех ЗС, установленных через спутник.

#### ***Контроль ошибок звена сигнализации***

Непрерывный контроль за работой каждого ЗС осуществляется с помощью монитора интенсивности ошибок звена. Это делается для того, чтобы иметь гарантии, что рабочие характеристики ЗС отвечают эксплуатационным требованиям к сигнализации, например, что процент принятых с ошибками СЕ является приемлемым. Монитор интенсивности ошибок звена обеспечивает две функции: *монитор интенсивности ошибок в сигнальных единицах* (SUERM – Signal Unit Error Rate Monitoring) и *монитор интенсивности ошибок при фазировании* (AERM – Alignment Error Rate Monitoring).

Монитор SUERM осуществляет контроль во время работы ЗС и формирует критерии для отключения звена. Если показатели функционирования действующего ЗС опускаются ниже определенного уровня, то звено отключается. Сигнальный трафик, подлежащий передаче по этому звену, переносится на другое звено с помощью процедуры перехода на ре-

зерв. Функции SUERM выполняются на действующем ЗС и обеспечивают один из критериев отключения звена.

Монитор AERM обеспечивает контроль за работой ЗС при проверке во время процедуры начального фазирования. Монитор работает в течение нормального и аварийного периодов проверки при начальном фазировании. Ведется линейный подсчет ошибок СЕ. Счетчик запускается с нуля, когда начинается проверка. Проверка завершается успешно, если период проверки заканчивается без обнаружения чрезмерной интенсивности ошибок.

Подробно протокол МТР2 описан в рекомендации Q.703 [4].

### **2.2.3. Функции сети сигнализации (уровень 3)**

Функции сети сигнализации можно разделить на две основные категории (рис. 2.7): обработка сигнальных сообщений (обработка сигнального трафика) и управление сетью сигнализации.

#### ***Обработка сигнальных сообщений***

Назначением функции обработки сигнальных сообщений является доставка сигнальных сообщений от определенной подсистемы пользователя исходящего пункта сигнализации к такой же подсистеме пользователя в пункте назначения, указанном исходящей подсистемой пользователя.

Функции обработки сигнальных сообщений используют индикатор сети в поле SIO и этикетку маршрутизации, которая однозначно определяет исходящий пункт и пункт назначения.

В состав функций обработки сигнальных сообщений входят маршрутизация сообщений, распознавание сообщений и распределение сообщений.

*Функция маршрутизации сообщений* используется в каждом пункте сигнализации для определения исходящего

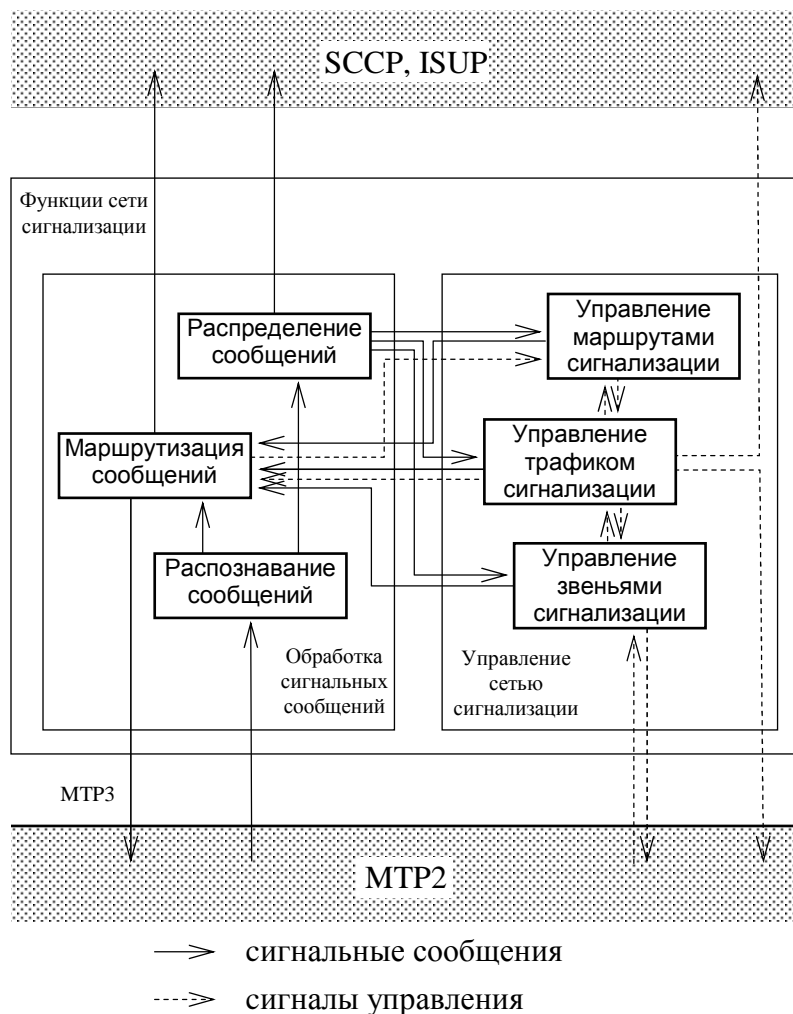


Рис. 2.7. Функции сети сигнализации

звена сигнализации, по которому должно быть передано сообщение к пункту назначения.

*Функция распознавания сообщений* используется в пункте сигнализации, для того чтобы определить, предназна-

чено полученное сообщение данному пункту сигнализации или нет. Если сообщение ему не предназначено, оно должно быть направлено на обработку функции маршрутизации сообщений.

*Функция распределения сообщений* используется в каждом пункте сигнализации для доставки принятых сообщений (предназначенных этому пункту) соответствующей подсистеме пользователя или подсистеме управления соединениями сигнализации (SCCP) или функции управления сетью сигнализации уровня МТРЗ.

*Маршрутизация сообщений* – это выбор конкретного ЗС, по которому должно быть передано сообщение. Для маршрутизации сообщений применяются *индикатор сети* (NI – Network Indication) в байте служебной информации, *код пункта назначения* (DPC – Destination Point Code) и поле *селекции звена сигнализации* (SLS – Signaling Link Selection field) в *этикетке маршрутизации* (Routing Label) (рис. 2.8). В книге также будет использоваться русскоязычная аббревиатура КПН (DPC).

Код DPC указывает пункт назначения сообщения. Поле SLS используется для разделения нагрузки по нескольким ЗС в пучке и/или по нескольким пучкам ЗС. Это поле, состоящее из четырех бит, присутствует во всех типах сообщений и всегда в одном и том же месте. Исключение составляют некоторые сообщения уровня 3 подсистемы передачи сообщений (например, команда перехода на резерв), для которых функция маршрутизации сообщений в исходящем пункте с *кодом исходящего пункта* сигнализации (OPC – Originating Point Code) не зависит от поля маршрутизации сообщений. В этом случае данное поле заменяется другой информацией (например, для команды перехода на резерв идентификацией отказавшего ЗС).



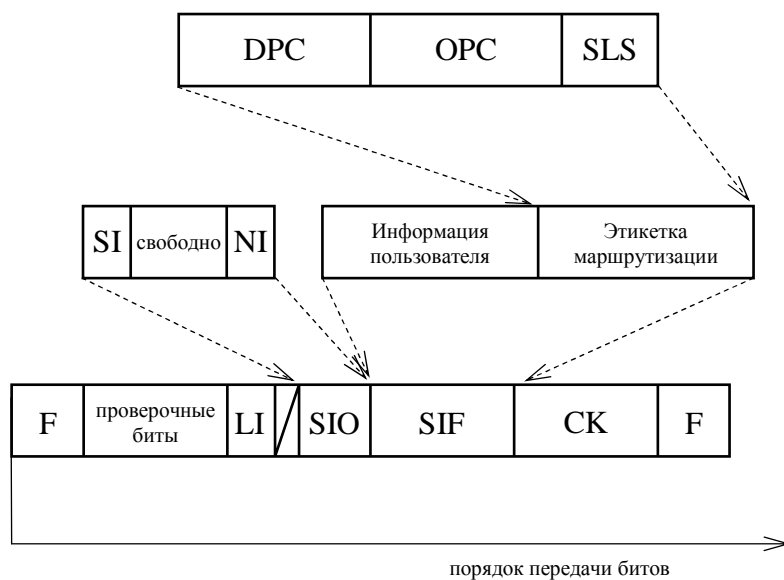


Рис. 2.8. Поля маршрутизации сообщений

Для сообщений подсистемы пользователя телефонии (TUP – Telephone User Part) поле содержит младшие значащие биты кода идентификации канала (или кода идентификации носителя в случае подсистемы пользователя данных). Для других подсистем пользователя SLS представляет собой независимое поле.

Для сообщений уровня 3 MTP3 поле SLS соответствует коду звена сигнализации (SLC – Signaling Link Code), который указывает ЗС между исходящим пунктом и пунктом назначения.

Индикатор сети NI используется функцией маршрутизации сообщений для определения плана нумерации пунктов сигнализации, например, если пункт сигнализации обрабатывает одновременно международный и национальный сигнальный трафик (например, международный центр коммута-

ции). Подробно уровни иерархии сети ОКС 7 описаны в главе 3.

При нормальных условиях маршрутизация выполняется так, что все сообщения, имеющие одинаковые индикатор сети и этикетку маршрутизации (например, сообщения, относящиеся к установлению соединения по данному каналу), направляются по одному и тому же ЗС. В случае отказа ЗС или недоступности маршрута сигнализации изменение маршрутизации выполняется в соответствии с конкретным событием по заранее определенным правилам, и трафик направляется по другим ЗС в пучке звеньев или по ЗС другого пучка, ведущего к данному пункту назначения (подробнее см. главы 3 и 6).

*Распознавание сообщений* заключается в том, чтобы после получения сообщения в пункте сигнализации можно было определить, является данный пункт пунктом назначения сообщения или нет. Решение принимается на основе анализа индикатора сети и кода пункта назначения, содержащихся в принятом сообщении. Если пункт сигнализации является пунктом назначения, то это сообщение передается функции распределения сообщений. Если пункт сигнализации является транзитным пунктом для данного сообщения, сообщение передается функции маршрутизации для последующей передачи по ЗС к пункту назначения.

*Распределение сообщений.* Если код пункта назначения сообщения и код принимающего пункта совпадают, то сообщение направляется от функции распознавания к функции распределения. Функция распределения сообщения определяет подсистемы пользователя МТР (ISUP или SCCP) или функции управления сетью сигнализации уровня МТР3, к которым должно быть доставлено сообщение после получения этого сообщения в пункте назначения. Выбор осуществляется путем анализа индикатора службы SI в байте служебной информации SIO, содержащемся в ЗнСЕ.

### ***Управление сетью сигнализации***

Назначением функций управления сетью сигнализации является обеспечение реконфигурации сети в случае отказа и управление сигнальным трафиком при перегрузках. Реконфигурация сети сигнализации осуществляется путем использования соответствующих процедур по изменению маршрутизации сигнального трафика таким образом, чтобы обойти отказавшие звенья или пункты сигнализации. Для этого требуется обмен информацией между пунктами сигнализации, которых касаются возникшие отказы или перегрузки. Когда отказавшее звено или пункт сигнализации восстановлены, применяются обратные процедуры для восстановления нормальной конфигурации сети сигнализации.

Функции управления сетью сигнализации подразделяются на следующие функции: управление сигнальным трафиком, управление звеном сигнализации и управление сигнальными маршрутами. Эти функции используются каждый раз, когда в сети сигнализации происходят такие события, как отказ или восстановление ЗС.

*Управление сигнальным трафиком.* Функция управления сигнальным трафиком используется для перенаправления сигнального трафика с одного звена или маршрута на другое звено или маршрут (или на несколько различных звеньев или маршрутов), для перезапуска пункта сигнализации или для временного снижения уровня сигнального трафика в случае перегрузки в пункте сигнализации.

Функция управления сигнальным трафиком включает следующие процедуры: переход на резерв, восстановление исходного состояния, вынужденная ремаршрутизация, управляемая ремаршрутизация, перезапуск пункта сигнализации, запрещение управлением и управление потоком сигнального трафика.

*Управление звеном сигнализации.* Функция управления звеном сигнализации применяется для восстановления отказавших ЗС, включения в работу недействующих ЗС (еще не

сфазированных) и вывода из работы действующих (сфазированных) ЗС.

В функцию управления ЗС входят следующие процедуры: включение в работу (активация), восстановление и выключение (деактивация) ЗС, включение в работу (активация) пучка ЗС, автоматическое распределение оконечных устройств ЗС и звеньев данных сигнализации.

*Управление сигнальными маршрутами.* Функция управления сигнальными маршрутами используется для распределения информации о состоянии сети сигнализации, для блокировки или разблокировки маршрутов сигнализации.

В функцию управления маршрутами сигнализации входят следующие процедуры: управления передачей, запрещения передачи, разрешения передачи, ограничения передачи, тестирования пучка сигнальных маршрутов и тестирования перегрузки пучка маршрутов сигнализации.

Подробно перечисленные выше процедуры описаны в рекомендации Q.704 [5], кроме того, часть аспектов управления изложена в главе 3.

### **2.3. Подсистема управления соединениями сигнализации (SCCP)**

Подсистема SCCP обеспечивает дополнительные функции для подсистемы сетевых услуг ОКС 7 и описана в рекомендациях Q.711-714, 716 [9-13]. Необходимость разработки подсистемы SCCP была вызвана тем, что в ряде случаев необходимо, чтобы сигнальные сообщения могли передаваться от одного пункта сигнализации к другому без подключения информационного канала. Примерами услуг без подключения информационного канала могут служить услуги обновления информации о подвижном абоненте в СПС, обращение к базам данных в ИСС и т.д., т.е. подсистема SCCP дает возможность осуществлять установление соединений сигнализации безотносительно к установлению информационного канала между пользователями.

Подсистема SCCP предоставляет возможности использования различных видов соединений сигнализации (рис. 2.9.). Соединение сигнализации может быть постоянным или временным. Постоянное соединение сигнализации сравнимо с постоянным виртуальным каналом, а аналогом временного соединения сигнализации может служить временный виртуальный канал. В этом случае пользователю сети предоставляются услуги с установлением соединения (CO).

Кроме того, подсистема SCCP может предоставлять возможность передачи сигнальной информации без установления логического соединения, например, когда передается только одно сообщение к центру технического обслуживания или осуществляется запрос данных об абоненте сети подвижной связи. В этом случае пользователю сети предоставляются услуги без установления соединения (CL).

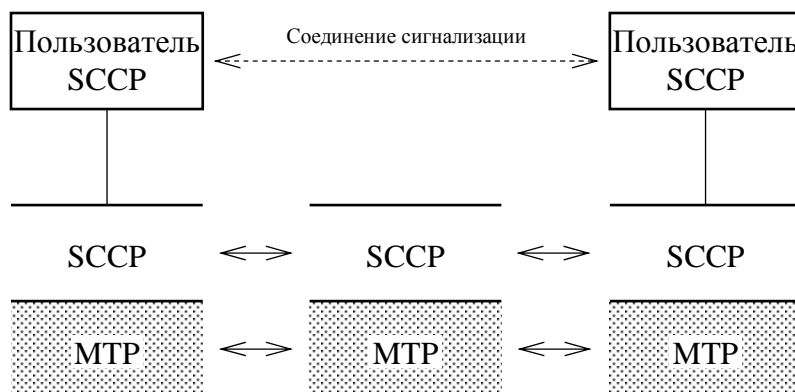


Рис. 2.9. Установление соединения сигнализации между двумя пользователями SCCP

Услуги SCCP могут предоставляться в соответствии с четырьмя классами протоколов:

Класс 0: основной протокол для CL-услуг.

Класс 1: протокол для CL-услуг с контролем последовательности (средствами подсистемы MTP).

Класс 2: основной протокол для CO-услуг.

Класс 3: для CO-услуг с управлением потоками.

### **2.3.1. Функциональная архитектура подсистемы SCCP**

На рис. 2.10 показаны функциональные блоки подсистемы SCCP. Блок маршрутизации SCCP (SCR – SCCP Routing) выполняет функции анализа информации маршрутизации на уровне SCCP и либо направляет сообщение через MTP к другому узлу сети, либо передает информацию на верхние уровни пользователю подсистемы сетевых услуг. В последнем случае от блока маршрутизации сообщения попадают или в блок функций предоставления услуг с установлением соединения (SCOC – SCCP Connection Oriented Control), или в блок функций предоставления услуг без установления соединения (SCLC – SCCP Connectionless Control). Далее после обработки в этих блоках сообщения передаются пользователям подсистемы SCCP.

Блок функций управления SCCP (SCM – SCCP Management) отвечает за обеспечение работы сети в случае перегрузки или отказа и может выполнить ремаршрутизацию или ограничение передачи сигнального трафика.

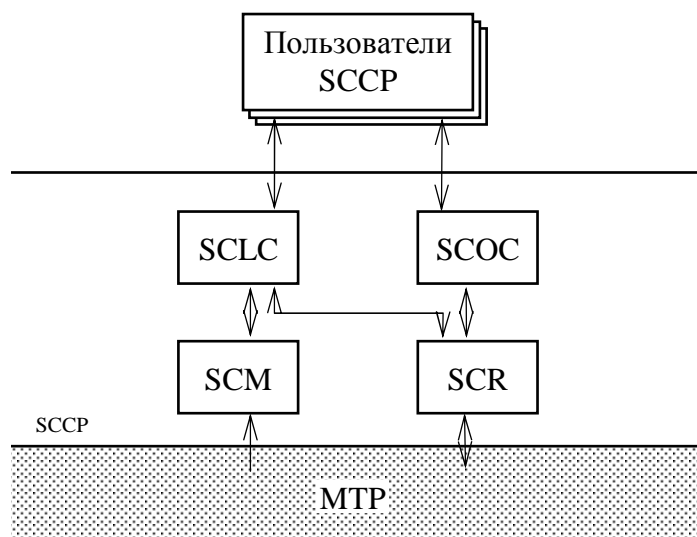


Рис. 2.10. Функциональные блоки подсистемы SCCP

### 2.3.2. Сообщения подсистемы SCCP

Все сообщения подсистемы SCCP определяются однозначно кодом типа сообщения. Для обмена информацией с целью предоставления без установления соединения используются только два сообщения – UDT (Unit Data) и UDTS (Unit Data Service) и применяются классы протоколов 0 и 1. Сообщение UDT используется для передачи в его составе сообщений пользователя SCCP, содержит в себе всю необходимую для маршрутизации по сети информацию и не требует подтверждения приема. Получение передающим концом сообщения UDTS говорит о том, что сообщение UDT не принято в пункте назначения. Таким образом, UDTS представляет собой сообщение UDT, отправленное обратно с указанием причины возвращения. Кодировки сообщений в поле типа сообщения: UDT – 0000 1001; UDTS – 0000 1010.

Для обмена информацией с целью предоставления услуг с установлением соединения определены перечисленные ниже сообщения.

Тип сообщения	Кодировка
CR – Запрос соединения	0000 0001
CC – Подтверждение соединения	0000 0010
CREF – В соединении отказано	0000 0011
DT1 – Данные формы 1	0000 0110
DT2 – Данные формы 2	0000 0111
ED – Срочные данные	0000 1011
IT – Тест неактивности	0001 0000
ERR – Ошибка блока данных протокола	0000 1111
RLSD – Освобождено	0000 0100
RLC – Освобождение завершено	0000 0101

Сообщения имеют параметры, содержащие информацию об адресе вызываемой стороны; адресе вызывающей стороны; указание на сегментирование или сборку, указание класса протокола, причины ошибки и т.п. Обязательные параметры располагаются в обязательной части сообщения, необязательные – в необязательной. Обязательные параметры также подразделяются на имеющие постоянный и переменный размер. Полный перечень параметров можно найти в рекомендации Q.713. Общий вид формата сообщения SCCP показан на рис. 2.11.



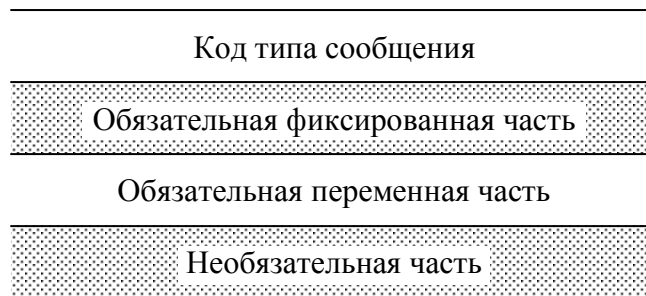


Рис. 2.11. Общий вид формата сообщения SCCP

Заметим, что структура сообщения подсистемы SCCP очень похожа на структуру сообщения ISUP (см. раздел 2.4.2). Единственное отличие состоит в отсутствии кода идентификации информационного канала.

### 2.3.3. Адресация и маршрутизация в подсистеме SCCP

В подсистеме MTP для целей маршрутизации используется код пункта назначения. На уровне подсистемы SCCP маршрутизация осуществляется другим способом. Для определения следующего пункта в соединении анализируется информация из параметра «Адрес вызываемой стороны». Параметры «Адрес вызываемой стороны» и «Адрес вызывающей стороны» всегда включаются в состав сообщений UDT и UDTS. Сообщение запроса соединения (CR) содержит только «Адрес вызываемой стороны», а остальные сообщения, используемые для предоставления услуг с установлением соединения, вообще не содержат адресных параметров, так как сигнальное соединение для них устанавливается сообщением CR.

Рассмотрим параметр «Адрес вызываемой стороны». Он содержит четыре поля данных: GT, SSN, SPC и Address indicator.

Поле GT (Global Title) – *глобальное наименование*. Чаще всего это цифры (например, кода идентификации под-

вижной станции в СПС), анализируя которые подсистема SCCP определяет направление в сети и код следующего пункта в соединении, к которому должно быть передано сообщение. Глобальное наименование нуждается в так называемой трансляции в код пункта назначения, которая и происходит в блоке SCR.

Поле SSN (SubSystem Number) – номер подсистемы. Некоторые объекты в сети сигнализации имеют один и тот же код DPC, и отличить их можно только по номеру подсистемы. Примером могут служить центр коммутации подвижной связи и визитный регистр местонахождения СПС, аппаратно реализованные в одной единице оборудования.

Поле SPC – код пункта сигнализации с кодом DPC. Часто указывается вместе с SSN.

Поле Address indicator – индикатор адреса. Как любой индикатор, он лишь указывает на то, какой вид адресации используется в данном случае. Это байт, биты которого распределены следующим образом (количество бит указано в скобках):



В зависимости от значения в полях индикатора, подсистема SCCP, а точнее, блок SCR обеспечивает маршрутизацию или по GT, или по SSN и DPC. Индикатор маршрутизации может меняться, например, в результате выполнения

функции в трансляции глобального наименования, в пункте сигнализации меняется значение индикатора в соответствии с тем, какой пункт будет следующим в соединении сигнализации. Маршрутизация по GT может быть заменена маршрутизацией по DPC и/или SSN в том случае, если следующий пункт является пунктом назначения.

Следует заметить, что на ВСС России в настоящее время в основном используется режим предоставления услуг, не ориентированных на соединение и применяются, соответственно, протоколы класса 0 и 1. Пользователями SCCP являются протоколы сетей подвижной связи и интеллектуальной сети. Режим с установлением сигнального соединения используется в СПС только на участке между базовой станцией и центром коммутации подвижной связи.

Схематично процесс установления соединений сигнализации для услуг, ориентированных на соединение, изображен на рис. 2.12, а услуг без установления соединения – на рис. 2.13.

Таким образом, подсистема SCCP дополняет функции подсистемы сетевых услуг ОКС 7 до полного соответствия трем нижним уровням модели ВОС. Применение подсистемы SCCP на узлах сети делает возможным реализацию большого набора перспективных услуг связи, таких, как услуги СПС и услуги ИСС.

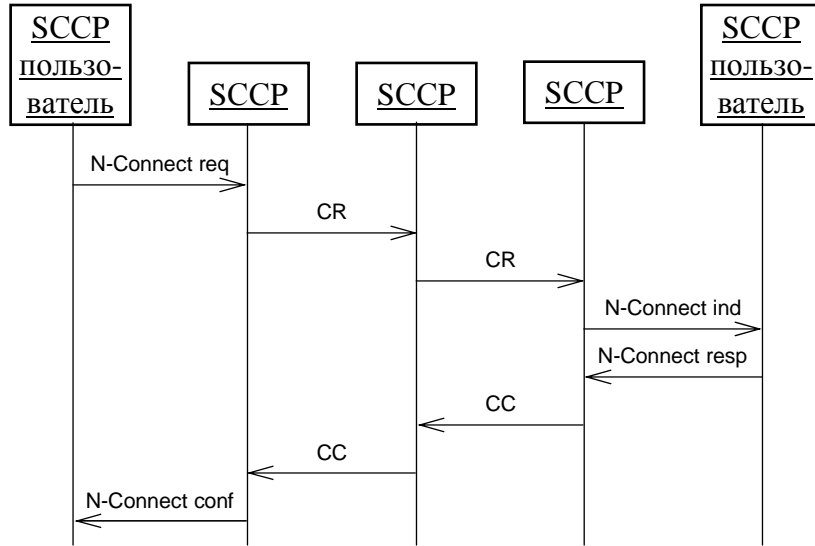


Рис. 2.12. Диаграмма процесса установления соединений сигнализации для услуг с установлением соединения

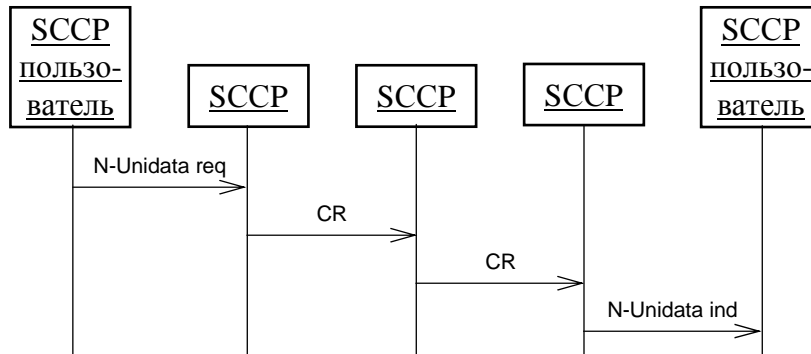


Рис. 2.13. Диаграмма процесса установления соединений сигнализации для услуг без установления соединения

## 2.4. Подсистемы пользователя

### 2.4.1. Прикладная подсистема возможностей транзакций (ТСАР)

Все прикладные протоколы ОКС 7 реализуются программно и имеют некую общую часть, функциональное назначение которой – обеспечивать интерфейс прикладных подсистем того или иного пользователя с подсистемой сети, а, точнее, с подсистемой SССР. С этой целью МСЭ-Т определил концепцию *возможностей транзакций* (ТС – Transaction Capabilities). Данную концепцию в ОКС 7 реализует прикладная подсистема возможностей транзакций (ТСАР), специфицированная в рекомендациях Q.771 - Q.774 [18-21].

В концепции возможностей транзакций используются перечисленные ниже понятия и определения.

*Пользователь ТС* – прикладной процесс, использующий подсистему ТСАР как протокол связи с сетью.

*Диалог* – связь, устанавливаемая между двумя пользователями ТС, обменивающимися данными.

*Транзакция* – взаимодействие между двумя подсистемами ТСАР.

*Операция* – действие, запрашиваемое от удаленного объекта пользователем ТС.

*Компонента* – единица данных протокола обмена между двумя пользователями ТС.

*ТС-примитив* – примитив обмена между ТСАР и пользователем ТС.

На рис. 2.14 показаны принципы функционирования подсистемы ТСАР. Если пользователю ТС нужно установить связь для обмена компонентами с пользователем ТС на другом удаленном объекте, то данный пользователь передает примитив запроса к ТСАР, т.е. начинает выполнение операции. Протокол ТСАР устанавливает связь с подсистемой се-

тевых услуг и, используя ресурсы сети, связывается с ТСАР удаленного объекта. Протокол ТСАР на удаленном конце передает своему пользователю полученную по сети информацию, и между двумя пользователями ТС устанавливается логическая связь – диалог.

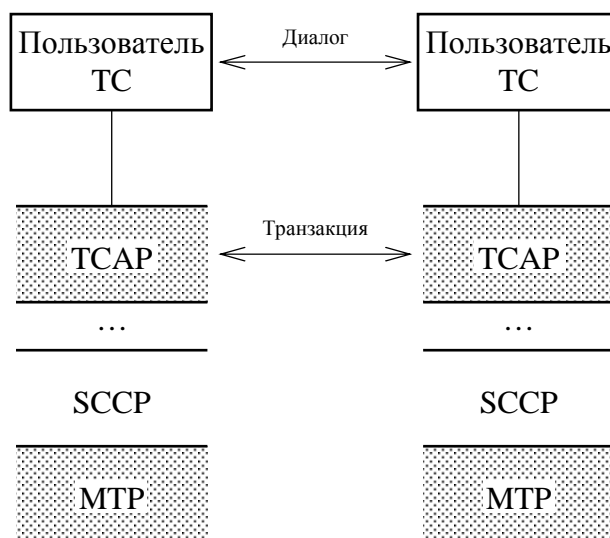


Рис. 2.14. Принципы функционирования ТСАР

### ***Архитектура ТСАР***

Протокол ТСАР подразделяется на два подуровня - подуровень компонент и подуровень транзакций.

*Подуровень компонент* (CSL – Component Sub-Layer) обеспечивает выполнение операций, т.е. прием и передачу запросов от пользователя и к пользователю ТС. Подуровень выполняет две функции – обработку диалога и обработку компонент. Функции реализуются посредством обмена примитивами.

*Подуровень транзакций* (TSL – Transaction Sub-Layer) обеспечивает возможность передачи информации между объектами ТСАР на удаленных концах. Для каждого диалога

реализуется отдельная транзакция. Заметим, что передача сообщений TCAP использует услуги SCCP без установления соединения.

Подуровень TSL также обрабатывает часть сообщения TCAP, называемую порцией транзакций (Transaction Portion), которая используется для обнаружения ошибок. Архитектура TCAP показана на рис. 2.15.

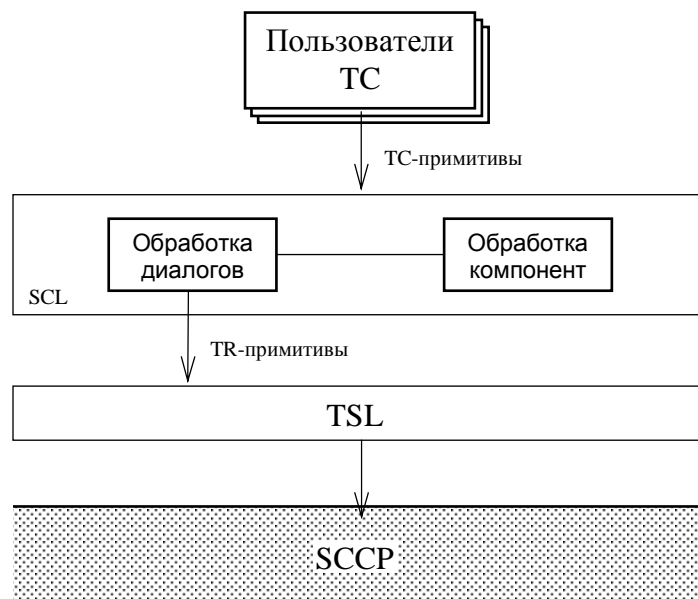


Рис. 2.15. Архитектура TCAP

#### ***Услуги подсистемы TCAP***

Подсистема TCAP предоставляет возможности осуществления структурированных и неструктурированных диалогов.

*Структурированный диалог* подразумевает передачу нескольких различных потоков компонент между двумя пользователями. Для определения каждого структурированного диалога используется параметр ID идентификации диа-

лога. Этот параметр также определяет, какая компонента принадлежит тому или иному диалогу. Структурированный диалог после его начала можно продолжить, прервать или закончить.

*Неструктурированный диалог* используется в том случае, если производимую операцию нет необходимости подтверждать. Неструктурированный диалог считается законченным, когда все компоненты данных переданы. Операции, осуществляемые ТСАР, подразделяются на четыре класса.

Класс 1: подтверждение успешного и неуспешного результата.

Класс 2: подтверждение неуспешного результата.

Класс 3: подтверждение успешного результата.

Класс 4: неподтверждение.

Компоненты могут собираться подуровнем компонент для того, чтобы быть переданными в одном сообщении. На приемном конце компоненты разбираются и передаются по одной к пользователю ТС в установленном порядке. В случае структурированного диалога может использоваться таймер во время обмена компонентами. Его значение определяет пользователь ТС для каждой операции. На уровне ТСАР возможна сегментация сообщений, приходящих от пользователя.

Пользователь ТС может также указать желаемую степень качества предоставляемой услуги, которая должна обеспечиваться нижележащими уровнями. Параметр качества включается во все примитивы запроса диалога и накладывается подсистемой ТСАР (конкретно, подуровнем TSL) на соответствующий параметр в примитивах запроса, передаваемых к уровню SCCP.

Для пользователя ТС может обеспечиваться последовательная доставка сообщений (в этом случае используется класс 1 протокола SCCP). Если сообщение не дошло до пункта назначения, то оно возвращается обратно, и диалог прерывается с указанием причины.



### ***Примитивы ТСАР***

Обмен информацией между пользователем ТС и подсистемой ТСАР осуществляется посредством примитивов. От пользователя ТС поступают примитивы запроса (request), а от подсистемы ТСАР – примитивы индикации (indication).

#### *Примитивы обработки диалогов*

В случае структурированных диалогов используются перечисленные ниже примитивы.

Обозначение примитива	Функция
ТС-BEGIN (request, indication)	Начало диалога
ТС-CONTINUE (request, indication)	Продолжение диалога
ТС-END (request, indication)	Конец диалога
ТС-U-ABORT (request, indication)	Прерывание пользователем
ТС-P-ABORT (request, indication)	Прерывание подсистемой ТСАР

В случае неструктурированных диалогов используется примитив.

Обозначение примитива	Функция
ТС-UNI (request, indication)	Запрос, индикация неструктурированного диалога

При возвращении сообщения указывается причина возвращения и для этого используется специальный примитив.

Обозначение примитива	Функция
ТС-NOTICE (indication)	Указание причины возвращения (от ТСАР к пользователю)

*Примитивы обработки компонент*

Обозначение примитива	Функция
TC-INVOKE (request, indication)	Начало операции
TC-RESULT-L (request, indication)	Полный результат или последняя часть сегментированного результата успешной операции
TC-RESULT-NL (request, indication)	Непоследняя часть при сегментации
TC-U-ERROR (request, indication)	Отклик на предварительно начатую операцию, показывающий, что выполнение операции ошибочно
TC-L-CANCEL (indication)	Выполнение операции закончено по времени
TC-U-CANCEL (request)	Выполнение операции закончено по решению пользователя
TC-L-REJECT (indication)	Информирование пользователя ТС о том, что подуровень компонент получил неправильную компоненту
TC-R-REJECT (request, indication)	Информирование пользователя об отклонении компоненты удаленным объектом TCAP
TC-U-REJECT (request, indication)	Отклонение компоненты местным или удаленным пользователем ТС
TC-TIMER-RESET (request)	Переустановка таймера вызова операции местным пользователем ТС

### **Структура сообщения ТСАР**

Информация от пользователя ТС поступает на подуровень CSL в форме примитивов диалога. На подуровне TSL она дополняется информацией управления транзакцией. Сообщения транзакций имеют названия, аналогичные примитивам, то есть BEGIN, CONTINUE, END и т.д. Информация в сообщении имеет форму информационных элементов. Каждый информационный элемент состоит из трех полей: Tag – метка, которая отделяет один элемент от другого и управляет интерпретацией содержания; Length – длина; Contents – собственно элемент, содержащий передаваемую информацию. Информационные элементы бывают простыми (primitive) и сложными (constructor) (рис. 2.16).



Рис. 2.16. Простые и сложные информационные элементы сообщений ТСАР

Структура сообщения ТСАР имеет вид, представленный на рис. 2.17. Как видно из рисунка, информация от подуровня компонент инкапсулируется в информацию, необходимую для организации транзакции между двумя подсис-

темами TCAP удаленных объектов. Далее сообщение TCAP в скрытом для нижних уровней виде поступает на уровень подсистемы сетевых услуг, где с использованием протоколов SCCP и MTP осуществляется маршрутизация по сети сигнализации. Сообщение по сети передается в пункт назначения, где осуществляется обратный процесс декодирования, распаковки сообщения и анализа информации на уровне пользователя ТС.

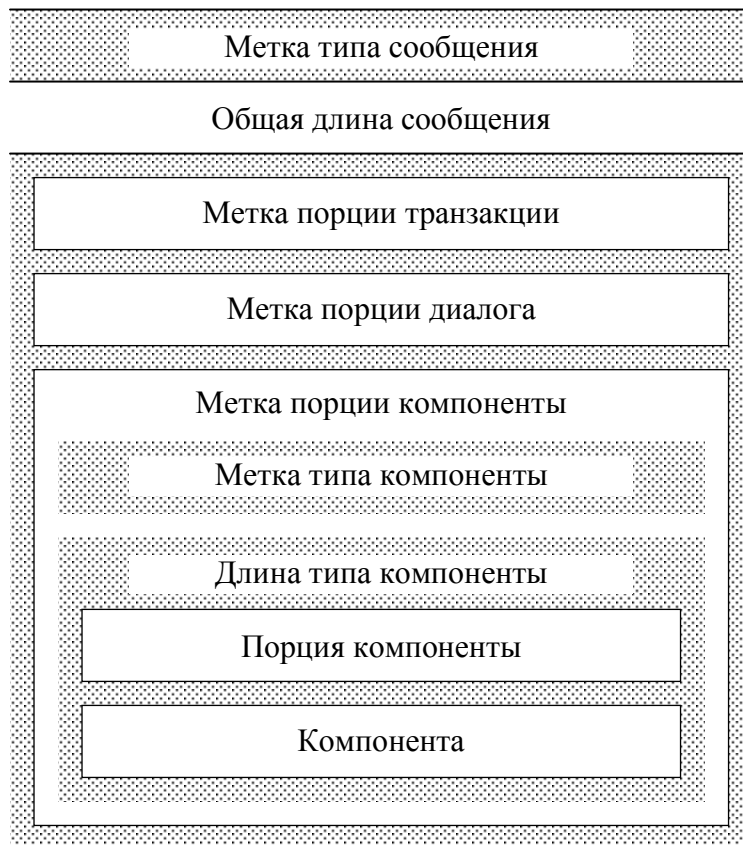


Рис. 2.17. Структура сообщения TCAP

### ***Пример обмена сообщения подсистемы TCAP***

На рис. 2.18 приведен пример обмена сообщениями подсистемы TCAP между коммутационной станцией, получившей вызов Freephone (услуга ИСС), и сетевой базой данных, содержащей информацию о маршрутизации вызова [81]. Для трансляции номера база данных запрашивает у станции дополнительную информацию, например, номер вызывающего абонента. С целью выполнения процедуры подсистема TCAP пункта сигнализации на станции передает сообщение BEGIN, которое устанавливает структурированный диалог с подсистемой TCAP узла базы данных.

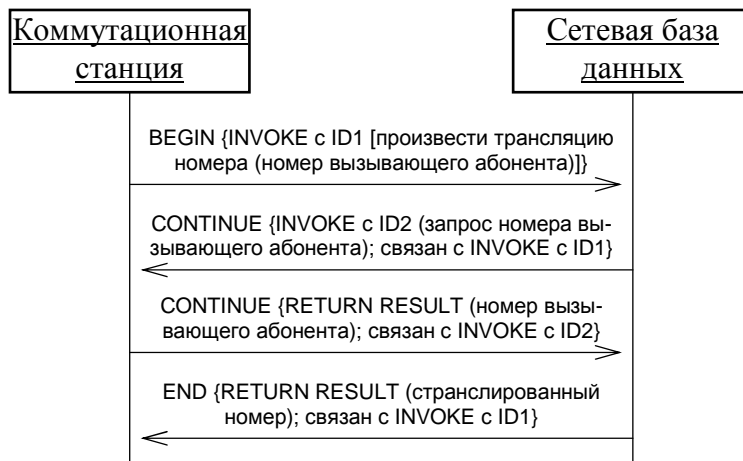


Рис. 2.18. Пример выполнения подсистемой TCAP процедур услуги Freephone

При обработке сообщения BEGIN в узле базы данных запускается процесс с параметром ID1, запрашивающий трансляцию маршрутного номера для услуги Freephone. Набранный номер является параметром компоненты INVOKE. В рамках этого структурированного диалога узел базы данных передает в обратном направлении сообщение продолжения диалога CONTINUE для вызова операции, результатом

которой является обеспечение передачи дополнительной информации о вызывающей стороне. Это сообщение имеет идентификатор ID2 и связано с сообщением с идентификатором ID1. Станция осуществляет необходимые действия и передает базе данных сообщение CONTINUE, в котором дополнительные данные содержатся в компоненте RETURN RESULT с идентификатором ID2. После приема и обработки этого сообщения база данных передает станции сообщение END о завершении диалога. Сообщение END включает компоненту RETURN RESULT с идентификатором ID1, в которой транслированный номер содержится в виде параметра.

#### **2.4.2. Подсистема пользователя ЦСИС (ISUP)**

Подсистема ISUP разработана для обеспечения функций установления коммутируемых соединений с возможностью предоставления абонентам услуг ЦСИС.

##### ***Форматы и коды***

Сигнальная информация подсистемы ISUP передается в поле SIF значащей сигнальной единицы. Формат поля SIF представлен на рис. 2.19. Этикетка маршрутизации содержит код пункта назначения DPC (2 байта) и код исходящего пункта OPC (2 байта). Поле SLS (4 бита) используется для разделения нагрузки. Код идентификации канала (2 байта) определяет тип канала: разговорный канал или канал передачи данных. Код типа сообщения (1 байт) однозначно определяет функцию и формат каждого сообщения ISUP.

Обязательная фиксированная часть сообщений подсистемы ISUP состоит из обязательных для данного типа сообщения параметров фиксированной длины. Тип сообщения определяет позицию, порядок расположения параметров и их длину. Обязательная переменная часть сообщений ISUP состоит из обязательных параметров переменной длины. Имя каждого параметра, их количество, число указателей и порядок передачи параметров определяются типом сообщения.

Необязательная часть состоит из параметров, которые могут отсутствовать или присутствовать в данном сообщении.

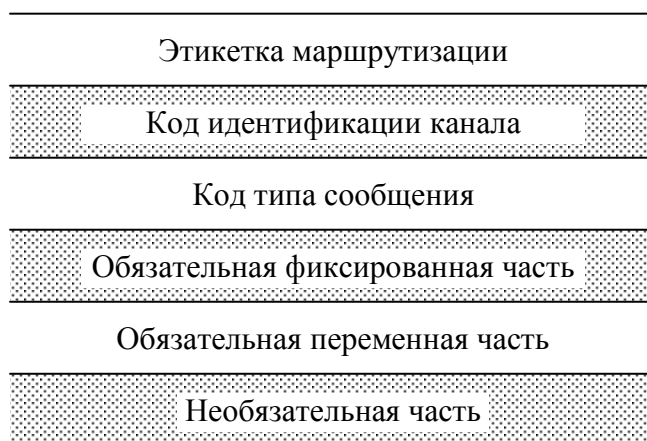


Рис. 2.19. Формат поля SIF

Формат сообщения подсистемы ISUP показан на рис. 2.20. Из рисунка видно, что каждый параметр переменной длины содержит указатель параметра и индикатор длины, за которым следует содержимое параметра. В таблице 2.1 приведены сообщения подсистемы ISUP с кодами, определяющими тип сообщения.

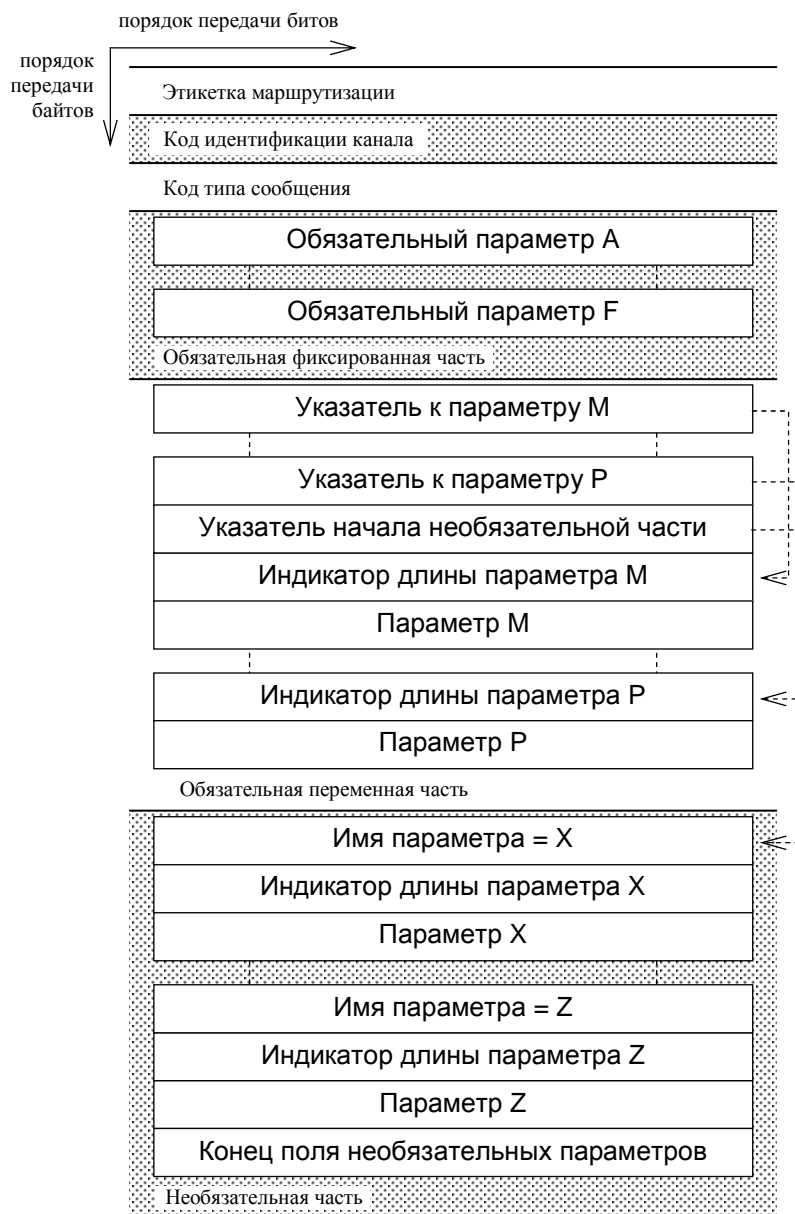


Рис. 2.20. Формат сообщения подсистемы ISUP



Таблица 2.1

Аббре- виатура	Тип сообщения	Код
ACM	Адрес полный	0000 0110
ANM	Ответ	0000 1001
BLA	Подтверждение блокировки	0001 0101
BLO	Блокировка	0001 0011
CCR	Запрос контроля целостности	0001 0001
CGB	Блокировка группы каналов	0001 1000
CGBA	Подтверждение блокировки группы каналов	0001 1010
CGU	Разблокировка группы каналов	0001 1001
CGUA	Подтверждение разблокировки группы каналов	0001 1011
CON	Соединение	0000 0111
COT	Проверка целостности	0000 0101
CPG	Соединение устанавливается	0010 1100
FOT	Вмешательство	0000 1000
GRA	Подтверждение сброса группы каналов	0010 1001
GRS	Сброс группы каналов	0001 0111
IAM	Начальное адресное сообщение	0000 0001
INF	Информация	0000 0100
INR	Запрос информации	0000 0011
REL	Освобождение	0000 1100
RES	Возобновление (продолжение) вызова	0000 1110
RLC	Освобождение завершено	0001 0000
RNG	Сообщение вызова	1111 1111
RSC	Сброс канала	0001 0010
SAM	Последующее адресное сообщение	0000 0010
SUS	Приостановление соединения (пауза)	0000 1101
UBA	Подтверждение разблокировки	0001 0110
UBL	Разблокировка	0001 0100

### ***Пример процедуры сигнализации***

Базовый класс услуг подсистемы ISUP обеспечивает управление установлением соединений в сетях с коммутацией каналов между коммутационными станциями. Пример процедуры установления и разъединения соединения ЦСИС между двумя коммутационными станциями в нормальных условиях функционирования сети показан на рис. 2.21 (см. также пример в разделе 1.2). Сигнализация от абонента к станции осуществляется по D-каналу и обеспечивается протоколом, специфицированным в рекомендациях Q.930 и Q.931 (DSS1 – Digital Subscriber Signaling System No.1) [140,141].

В рассматриваемом примере вызывающий абонент А набирает номер и направляет вызов к вызываемому абоненту В. При этом в базовой сети связи и в сети сигнализации осуществляются перечисленные ниже действия.

1. Станция 1 анализирует набранный номер и определяет, что вызов должен быть маршрутизирован станции 2.
2. Станция 1 выбирает свободный разговорный тракт к станции 2 и формирует начальное адресное сообщение IAM. В сообщении определены код исходящего пункта сигнализации на станции 1, код пункта назначения на станции 2, выбранный разговорный тракт, номера вызывающего и вызываемого абонентов, а также другая информация, не рассматриваемая в данном примере.
3.  $SP_A$  на станции 1 выбирает одно из звеньев сигнализации (например, звено AC) и передает по нему сообщение IAM для маршрутизации к  $SP_B$  на станции 2.
4.  $STP_C$  принимает сообщение, анализирует его этикетку маршрутизации и определяет, что сообщение должно быть маршрутизировано к  $SP_B$  на станции 2. Сообщение передается по звену CB.
5.  $SP_B$  принимает сообщение, анализирует его и определяет, что данное сообщение относится к вызываемому аб-

ненту В и данный номер находится в состоянии «свободен».

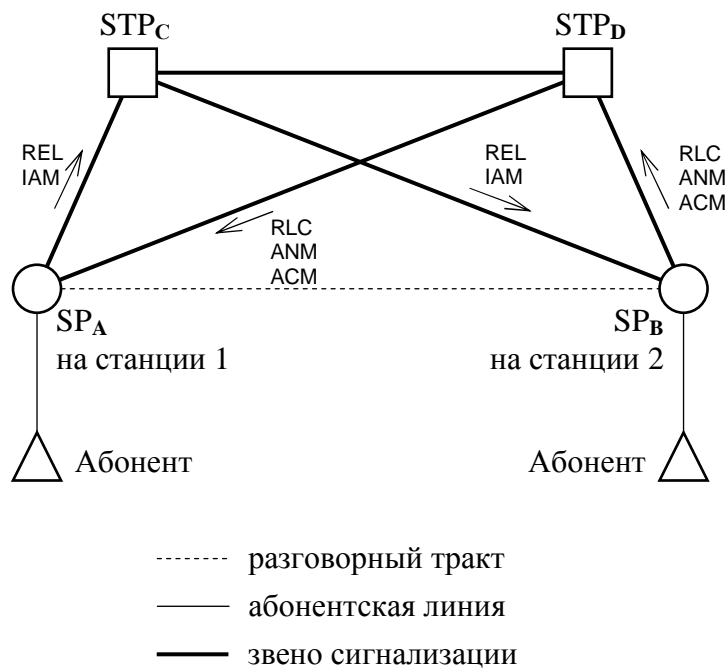


Рис. 2.23. Пример установления и разъединения соединения подсистемой ISUP

6.  $SP_B$  формирует сообщение ACM о принятии полного адреса, которое означает, что сообщение IAM корректно достигло пункта назначения. В сообщении определены код пункта назначения  $SP_B$ , код исходящего пункта  $SP_A$  и выбранный разговорный тракт.
7.  $SP_B$  выбирает одно из ЗС (например, звено BD) и передает по нему сообщение ACM для маршрутизации к  $SP_A$ . Одновременно станция 2 проключает разговорный тракт в обратном направлении к станции 1, посылает тональ-

ный сигнал по этому тракту и посылает звонок по линии к вызываемому абоненту В.

8.  $STP_D$  принимает сообщение, анализирует его этикетку маршрутизации и определяет, что сообщение должно быть маршрутизировано к  $SP_A$  на станции 1. Сообщение передается по звену DA.
9. После получения сообщения ACM станция 1 подсоединяет линию абонента А к выбранному разговорному тракту. Вызывающий абонент А слышит сигнал звонка, посланного станцией 2 вызываемому абоненту В.
- 10 В момент снятия трубки вызываемым абонентом В пункт сигнализации  $SP_B$  на станции 2 формирует сообщение «ответ абонента» ANM. В сообщении определены код пункта назначения  $SP_A$ , код исходящего пункта  $SP_B$  и выбранный разговорный тракт.
11.  $SP_B$  выбирает для передачи сообщения ANM то же звено сигнализации BD, что и для передачи сообщения ACM. К этому моменту разговорный тракт подключен к абонентским линиям в обоих направлениях.
12.  $STP_D$  принимает сообщение, анализирует его этикетку маршрутизации и определяет, что сообщение должно быть маршрутизировано к  $SP_A$  на станции 1. Сообщение передается по звену DA.
13. Станция 1 проверяет, что вызывающий абонент А подсоединен к исходящему разговорному тракту и что разговор абонентов может осуществляться.
14. Если вызывающий абонент А кладет трубку первым, то  $SP_A$  на станции 1 генерирует сообщение REL, адресованное  $SP_B$  на станции 2, об освобождении разговорного тракта, ассоциированного с данным вызовом.  $SP_A$  посылает данное сообщение по звену сигнализации AC.
15.  $STP_C$  принимает сообщение, анализирует его этикетку маршрутизации и определяет, что сообщение должно быть маршрутизировано к  $SP_B$ . Сообщение передается по звену CB.

16.  $SP_B$  принимает сообщение REL, станция 2 отсоединяет разговорный тракт от линии вызываемого абонента В, возвращает разговорный тракт в состояние «свободен»,  $SP_B$  генерирует сообщение RLC об окончании освобождения тракта и посылает его по звену BD.
17.  $STP_D$  принимает сообщение, анализирует его этикетку маршрутизации и определяет, что сообщение должно быть маршрутизировано к  $SP_A$ . Сообщение передается по звену DA.
18. Получив сообщение RLC, станция 1 возвращает разговорный тракт в состояние «свободен».

Приведенный пример используется во многих источниках, в том числе и в источниках сети Интернет. Не меняя пример по сути, автор книги адаптировал его в удобном для изложения виде.

## ГЛАВА 3

### СЕТЬ СИГНАЛИЗАЦИИ

#### 3.1. Уровни иерархии сети ОКС 7

Сети ОКС 7 строятся по иерархическому принципу и делятся на три уровня иерархии: международный, национальный и местный. В России национальный уровень иерархии принято называть федеральным или междугородным, а местный – также региональным уровнем иерархии. Далее, если не оговорено противоположное, используется терминология, принятая для Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации (ВСС РФ). Следует также отметить, что масштаб и особенности национальной сети ОКС 7 России позволили автору, не прибегая к примерам зарубежных сетей ОКС 7, на исчерпывающем уровне изложить и проиллюстрировать всю проблемную область данной книги.

Национальная сеть ОКС 7 России разделена на два уровня иерархии – федеральную (междугородную) сеть и региональную (местную) сеть. Международные центры коммутации (МЦК) и международные коммутационные станции (МНТС), а также транзитные центры коммутации СПС, входящие в состав ВСС РФ, в силу своего функционального назначения включают в себя пункты сигнализации международной сети ОКС 7.

Различие принадлежности сигнальных единиц к тому или иному уровню иерархии производится по индикатору сети (NI), кодируемому двумя битами C и D в поле байта служебной информации (SIO). Значения индикатора сети NI для различных уровней иерархии сети ОКС 7 приведены в таблице 3.1 в принятом для отечественных документов и источников виде [27,29].

Таблица 3.1

Уровень иерархии сети ОКС 7	Значение NI
Международная	00 <sub>bin</sub>
Федеральная (междугородная)	10 <sub>bin</sub>
Региональная (местная)	11 <sub>bin</sub>

Принципы построения национальной сети ОКС 7 России показаны на рис 3.1. Отметим, что здесь и далее все сетевые аспекты излагаются для ТфОП без учета СПС и ИСС, т.е. фактически рассматриваются сети ОКС 7 на ТфОП/ЦСИС. Поэтому на рис. 3.1 не показаны принципы построения сетей сотовой подвижной связи и интеллектуальных сетей на ВСС РФ. Междугородная сеть ОКС 7 ВСС РФ является единым транспортным механизмом для обеспечения взаимодействия всех типов цифровых сетей связи. Ее структура и функциональные возможности должны обеспечить для национальных операторов возможность создания и развития собственных сетей, возможность взаимодействия с сетями других операторов, включая операторов зарубежных сетей связи. Особенностью национальной сети ОКС 7 России является наличие шлюзов между региональными сетями и междугородной сетью. Данные шлюзы строятся на базе автоматических междугородных телефонных станций (АМТС) с двойной нумерацией пунктов сигнализации. Это означает, что в оборудование каждой междугородной станции включены два пункта сигнализации – один с нумерацией в междугородной сети ( $NI=10_{bin}$ ) и другой с нумерацией в региональной сети ( $NI=11_{bin}$ ). Для обмена сигнальной информацией эти два пункта сигнализации используют внутривыделенную сигнализацию. Именно такая пара пунктов сигнализации и является шлюзом между федеральным и региональным уровнями иерархии сети ОКС 7. Аналогично может быть построен шлюз между другими уровнями иерархии сети ОКС 7 или шлюз

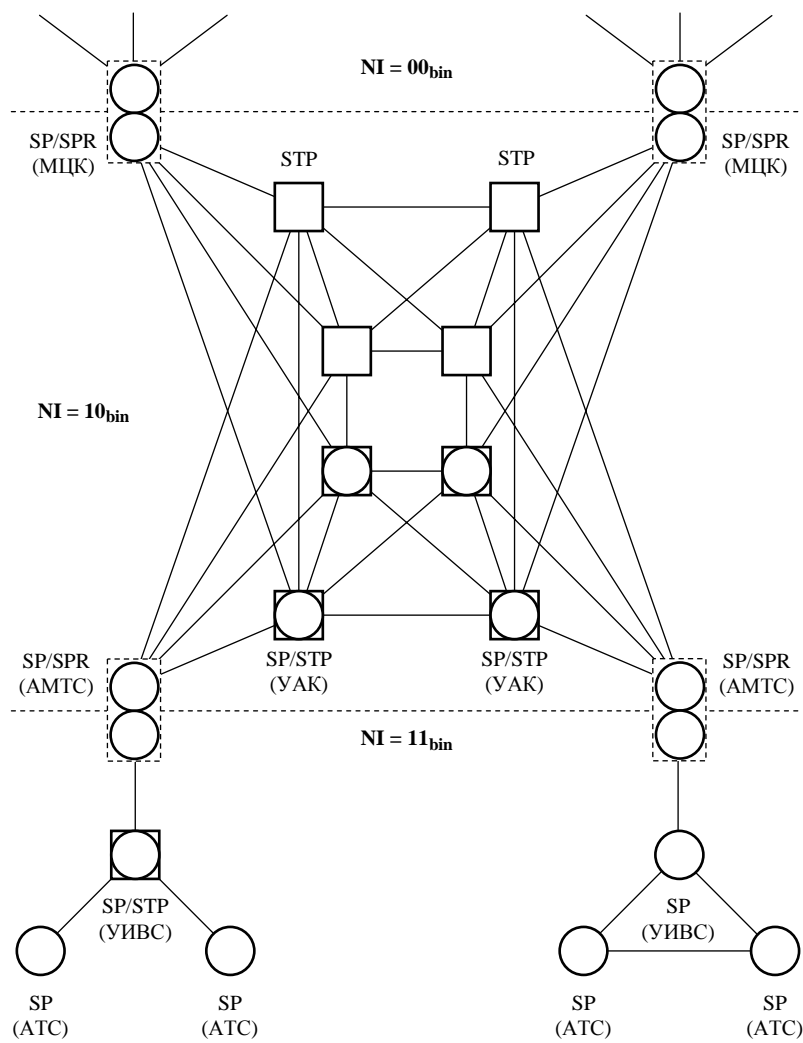


Рис. 3.1. Принципы построения национальных сетей ОКС 7 России



в сети одного оператора ОКС 7, предоставляющего услуги связи абонентам различных региональных сетей в одном сетевом индикаторе  $NI=11_{bin}$ . Такое построение сетей ОКС 7 России означает, что для обеспечения «прозрачности» национальной сети требуется на границе между федеральной и региональными сетями ОКС 7 организация пунктов, обеспечивающих трансляцию глобальных наименований в подсистеме SCCP (SPR – Signaling Relay Point). Такие пункты могут быть организованы, например, на базе АМТС и МЦК (см. рис. 3.1).

Междугородная сеть ОКС 7 России представляет собой совокупность пунктов сигнализации (SP), построенных на базе АМТС и взаимодействующих через сеть транзитных пунктов сигнализации (STP), созданных как на базе узлов автоматической коммутации (УАК), так и на базе выделенного оборудования. Каждый SP опирается, по крайней мере, на два STP, что обеспечивает выполнение требований стандартов к показателям качества функционирования сети сигнализации. По мере дальнейшего изложения материала принципы построения и особенности сетей ОКС 7 России будут рассмотрены более детально.

### **3.2. Принципы нумерации пунктов сигнализации**

Для идентификации пункта сигнализации в сети ОКС 7 используется *код пункта сигнализации (SPC)*. Конкретное значение кода SPC в конкретной сети ОКС 7 в рамках одного уровня иерархии сети должно присваиваться только одному пункту сигнализации.

Размер поля в сигнальном сообщении для кода пункта сигнализации SPC равен 14 битам. Такие поля используются в этикетке маршрутизации (см. рис. 2.9) для кодирования исходящего пункта (OPC) и пункта назначения (DPC). Указанный размер поля определяет максимальное число пунктов сигнализации сети ОКС 7 соответствующего уровня иерархии, равное  $2^{14} = 16384$ .

Структуру кода пункта сигнализации и метод кодирования поясним на примере междугородной сети ОКС 7 России, для которой в 14-битовом поле кода SPC старшие 8 бит определяют код сигнальной зоны (КСЗ), а младшие 6 бит – код (номер) пункта сигнализации в зоне (КПЗ) (рис. 3.2).

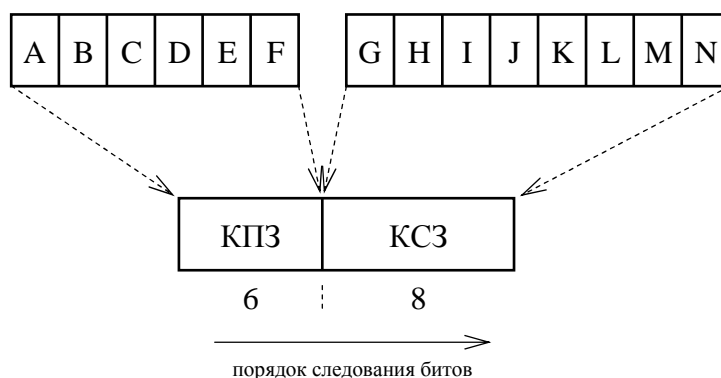


Рис. 3.2. Структура кода пункта сигнализации междугородной сети ОКС 7

В соответствии с принятой структурой, в междугородной сети ОКС 7 на территории России может быть организовано до 256 сигнальных зон по 64 пункта сигнализации в каждой зоне. Коды пунктов сигнализации междугородной сети ОКС 7 России (индикатор сети  $NI = 10_{bin}$ ) присваиваются:

- пунктам сигнализации, выполняющим шлюзовые функции из/в международные сети ОКС 7 с индикатором сети  $NI=00_{bin}$ , например, пунктам сигнализации на МЦК и на МНТС;
- пунктам сигнализации, выполняющим шлюзовые функции из/в региональные сети ОКС 7 с индикатором сети  $NI=11_{bin}$ , например, пунктам сигнализации на АМТС;

- пунктам сигнализации транзитных узлов междугородной сети (УАК), выполняющим функции SP и STP на сети ОКС 7 междугородного уровня иерархии;
- другим пунктам сигнализации, имеющим сигнальные отношения с перечисленными выше пунктами сигнализации.

План нумерации кодов пунктов сигнализации на междугородной сети ОКС 7 ( $NI=10_{bin}$ ) составляется путем закрепления кодов сигнальных зон за соответствующими междугородными станциями России в объеме существующих зон нумерации сети ТфОП, входящих в территорию обслуживания данного МЦК (МНТС), с учетом резерва КСЗ данной территории обслуживания. В каждом выделенном КСЗ, т.е. одной зоне нумерации сети ТфОП, выделяется полный диапазон кодов пунктов зоны (КПЗ).

Коды сигнальных зон в индикаторе сети  $NI=10_{bin}$  междугородной сети для МЦК, МНТС и УАК присваиваются из диапазона КСЗ, выделенных для зон нумерации (АМТС), входящих в территорию обслуживания данных МЦК, МНТС и УАК. Коды сигнальных зон для пунктов сигнализации сетей ОКС 7, требующих прямого взаимодействия с междугородной сетью ОКС 7, присваиваются из диапазона КСЗ, выделенных для зон нумерации, на территориях которых устанавливаются данные пункты сигнализации. Более детально с планом нумерации пунктов сигнализации ВСС РФ можно ознакомиться в Руководящем техническом материале по выделению кодов пунктов сигнализации [27].

Таким образом, использование двух уровней иерархии в национальной сети сигнализации позволяет иметь прозрачную на уровне МТРЗ (без переприемов SССР) федеральную сеть сигнализации емкостью до 16384 пунктов сигнализации, структурированную на 256 междугородных зон по 64 пункта сигнализации в каждой. В каждой междугородной зоне сети сигнализации может быть организована региональная сеть

сигнализации емкостью также до 16384 пунктов сигнализации.

### **3.3. Структура сети сигнализации**

#### **3.3.1. Общие положения**

Структура сети ОКС 7 строится исходя из некоторых правил объединения ее элементов (пунктов сигнализации и пучков ЗС), обеспечивающих функционирование сети в соответствии с требованиями стандартов (международных и/или национальных). Для простоты изложения и не ограничивая общности принципов построения сети ОКС 7, используется минимальный набор ее структурных элементов и считается, что каждому элементу соответствует некоторая функциональность в соответствии с архитектурой протоколов ОКС 7. В принятых для дальнейшего изложения условных обозначениях (рис. 3.3) SP выполняет все функции оконечного пункта сигнализации, включая все функции подсистемы сетевых услуг. Функции подсистемы передачи сообщений выполняются в STP. Наконец, возможна комбинация функций SP и STP в одном структурном элементе сети ОКС 7. В этом случае говорят о комбинированном пункте типа SP/STP и применяют соответствующую комбинацию условных обозначений (см. рис. 3.3). В ряде случаев при планировании сети ОКС 7 требуется применять дополнительные понятия, определяющие специфические взаимосвязи элементов сети. Например, используют понятие *кластера* – совокупности структурных элементов, определенной на основании некоторого общего правила их объединения между собой и по отношению к структуре сети ОКС 7 в целом.

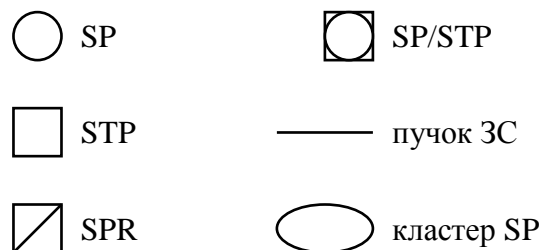


Рис. 3.3. Условные обозначения элементов сети ОКС 7

Основными целями планирования сети ОКС 7 являются:

- максимально простая структура;
- надежность функционирования;
- минимальные задержки передачи сигнальных сообщений;
- эффективные стоимостные показатели.

Простота структуры сети обеспечивает гибкость ее создания и дальнейшего развития, эффективное администрирование и управление сетью. Надежность является одним из важнейших показателей качества функционирования сети ОКС 7. Высокая надежность обеспечивается несколькими способами, в первую очередь путем введения избыточности оборудования и организацией альтернативных сигнальных маршрутов. Задержки передачи сигнальных сообщений относятся к параметрам качества функционирования сети ОКС 7, которые жестко нормированы рекомендациями МСЭ-Т. Эффективные стоимостные показатели сети являются результатом ее корректного расчета. Следует отметить, что стоимость сети сигнализации не является столь критичной, как стоимость базовой сети связи, поскольку объемы оборудования ОКС 7 составляют небольшую часть всего оборудования коммутационных систем. Основную часть «дополнительной» стоимости сети ОКС 7 составляют выделенные пункты сигнализации и оконечное оборудование звеньев сигнализации (так

называемые сигнальные терминалы). Поэтому при планировании сети сигнализации необходимо обосновывать с экономической точки зрения внедрение выделенного оборудования, а также как можно более точно рассчитывать предложенную сигнальную нагрузку, которая должна обслуживаться сетью ОКС 7. От величины сигнальной нагрузки, как это будет показано далее, зависят емкости пучков ЗС и, следовательно, количество сигнальных терминалов в пунктах сигнализации.

### 3.3.2. Транзитные пункты сигнализации

Развитые сети ОКС 7 включают в себя совокупность пунктов сигнализации и связывающую их сеть транзитных пунктов сигнализации (сеть STP). Сеть STP может иметь несколько уровней иерархии. С точки зрения вышеизложенных целей планирования, сеть STP с одним уровнем иерархии является более предпочтительной. Из мировой практики известно, что для достижения большей структурной надежности сети сигнализации и для обеспечения возможности построения большего количества сигнальных маршрутов может быть построен второй уровень иерархии транзитных пунктов сигнализации. Пример структуры сети ОКС 7 с одним уровнем иерархии транзитных пунктов сигнализации показан на рис. 3.4.

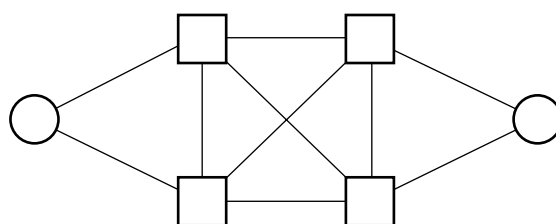


Рис.3.4. Пример структуры сети ОКС 7 с одним уровнем иерархии STP

В данном примере каждый SP опирается пучками ЗС на два STP. Сеть STP должна быть максимально связной, полносвязная сеть определена в случае наличия связей по принципу «каждый с каждым».

Пример структуры сети ОКС 7 с двумя уровнями иерархии STP показан на рис. 3.5. Здесь каждый SP опирается пучками ЗС на два STP первого уровня иерархии. Каждый STP 1-го уровня опирается пучками ЗС на два STP второго уровня иерархии, а сеть STP 2-го уровня является полносвязной.

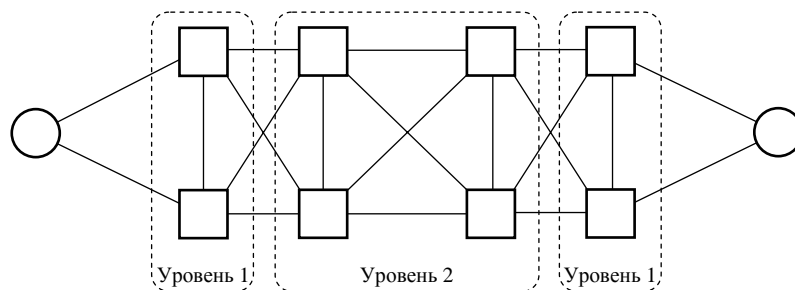


Рис. 3.5. Пример структуры сети ОКС 7 с двумя уровнями иерархии STP

Фрагмент структуры сети ОКС 7 с интегрированными и выделенными STP, изображенный на рис. 3.6, показывает способ построения структуры сети ОКС 7 России на междугородном уровне иерархии. Здесь выделенные STP обеспечивают в квазисвязанном режиме обслуживание сигнального трафика, поступающего от SP на АМТС. Интегрированные в оборудование УАК пункты SP/STP обслуживают сигнальную нагрузку в смешанном (связанном и квазисвязанном) режиме, т.е. несут на себе функции окончных и транзитных пунктов одновременно.

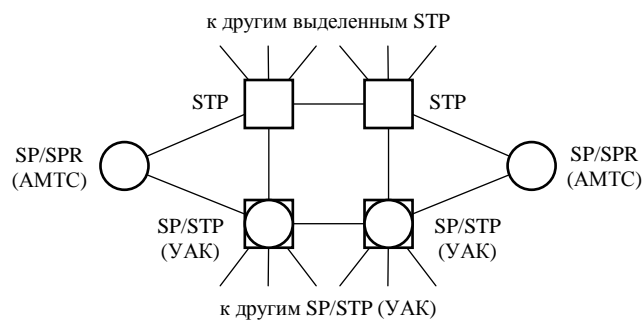


Рис. 3.6. Фрагмент структуры сети ОКС 7 с интегрированными и выделенными STP

### 3.3.3. Построение структуры сети ОКС 7

При изложении данного раздела будем следовать общепринятому методу построения структуры сети ОКС 7 (см., например [83, 89]). Метод заключается в определении всех необходимых типов связей, устанавливаемых между структурными элементами сети сигнализации. Тип связи определяется путем присвоения условных имен пучкам ЗС, связывающих пункты сигнализации в различных конфигурациях. Перечислим наиболее часто встречающиеся конфигурации, в случае необходимости дополним, и для удобства изложения будем использовать систему имен, принятую в англоязычных источниках.

При построении структуры сети ОКС 7 в первую очередь определяют связи между STP. Для обеспечения структурной надежности сети ОКС 7 транзитные пункты, как правило, объединяют в пары (mated STP), как показано на рис. 3.7. В такой конфигурации при отказе либо перегрузке одного из STP вся сигнальная нагрузка будет обслужена его «соседом». Будем говорить, что в этой конфигурации пучок ЗС, соединяющий данные STP, имеет тип С («cross»).



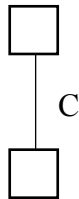


Рис. 3.7. Парные STP, пучок ЗС типа С («cross»)

Парные STP могут быть связаны между собой, как показано на рис. 3.8, пучками ЗС типа В («bridge»).

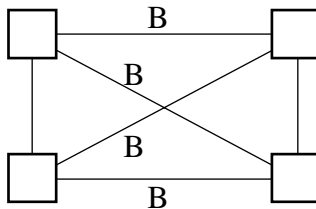


Рис. 3.8. Соединение парных STP, пучки ЗС типа В («bridge»)

Как говорилось выше, в сети STP могут быть несколько уровней иерархии (рис. 3.9). Пучки ЗС, соединяющие STP разных уровней, имеют тип D («diagonal»).

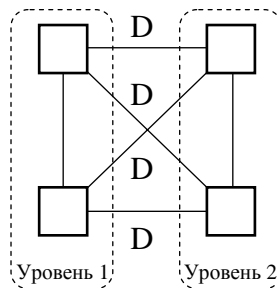


Рис. 3.9. Уровни STP, пучки ЗС типа D («diagonal»)

Оконечные пункты сигнализации SP, как правило, опираются на пару STP (рис. 3.10), что также диктуется соображениями структурной надежности сети ОКС 7. Соответствующие пучки ЗС в данном случае являются пучками доступа и имеют тип А («access»).

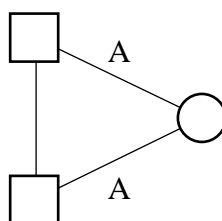


Рис. 3.10. Соединение SP с парой STP, пучки ЗС типа А («access»)

В ряде случаев (например, при большой нагрузке) некоторые SP могут быть соединены с двумя парами STP. С одной парой SP связан пучками доступа типа А, а с другой парой – пучками ЗС типа Е («extended»). Такое соединение показано на рис. 3.11.

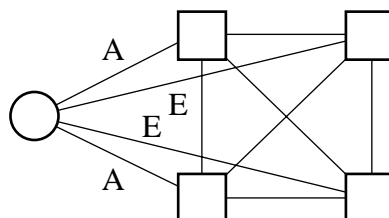


Рис. 3.11. Соединение SP с двумя парами STP, пучки ЗС типа Е («extended»)

Некоторые оконечные SP могут быть соединены прямыми пучками ЗС типа F («fully associated»), как показано на рис. 3.12. Такие пучки обычно организуются в случае, если

между этими SP передается большой объем сигнального трафика.

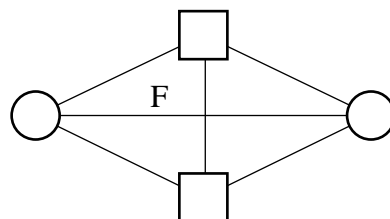


Рис. 3.12. Соединение SP прямым пучком ЗС типа F («fully associated»)

Иногда перечисленных типов связей может оказаться недостаточно для построения структуры конкретной сети ОКС 7. Тогда проектировщик может самостоятельно расширить введенную выше нотацию. Поясним это на примере сети ОКС 7, в которой используются комбинированные узлы типа SP/STP. В этом случае аналогично парам STP можно составить пары из STP и SP/STP (рис. 3.13) и ввести новый тип Н для пучка ЗС, соединяющего такую пару.

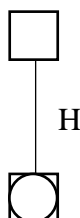


Рис. 3.13. Пара STP – SP/STP, пучок ЗС типа Н

Пары SP/STP объединяются между собой пучками ЗС типа G (рис. 3.14) аналогично тому, как связаны пары STP пучками ЗС типа В (см. рис. 3.8).

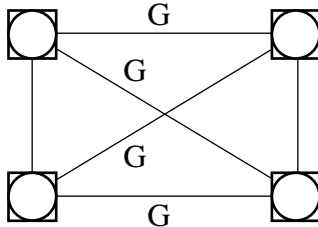


Рис. 3.14. Соединение пар SP/STP между собой, пучки ЗС типа G

Наиболее логичный способ соединения узла SP с парами STP – SP/STP показан на рис. 3.15, где одна пара для рассматриваемого SP условно является «своей», а другая – «смежной». Здесь SP имеет один пучок ЗС не введенного ранее типа A/F, связывающий его с SP/STP, и один пучок ЗС уже рассмотренного типа A. Тип пучка A/F означает, что он может быть использован как пучок типа A в тех случаях, когда SP/STP выполняет по отношению к SP функции транзитного узла STP, и как пучок типа F в том случае, когда SP/STP функционирует как окончательный пункт сигнализации.

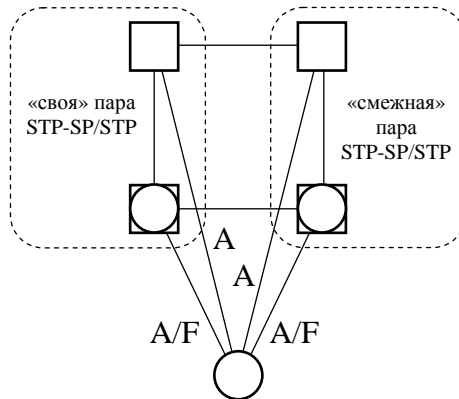


Рис. 3.15. Соединение SP со «своей» и «смежной» парами STP–SP/STP, пучки ЗС типа A/F

В контексте рассматриваемого примера назовем кластером все SP сети ОКС 7, у которых совпадают «своя» и «смежная» пары STP – SP/STP. На рис. 3.16 изображена структура сети ОКС 7 с кластерами такого типа, где номера пар STP–SP/STP рисунке приведены в соответствующих STP. На данном рисунке показаны несколько кластеров, некоторые из них опираются на разные пары STP – SP/STP, другие имеют одну или две общие пары. Выделенные STP расположены в верхней плоскости, все они соединены между собой пучками ЗС типа В (не показаны на рисунке) по принципу «каждый с каждым». Аналогично соединены между собой пучками ЗС типа G узлы SP/STP, расположенные в нижней плоскости. Каждый выделенный STP имеет парный SP/STP, с которым он соединен прямым пучком ЗС типа H. Узлы SP соединены со «своей» и «смежной» парами STP – SP/STP пучками типа A/F и объединены в кластеры, пронумерованные в соответствии с нумерацией пар. В данной структуре сети могут отсутствовать пучки типа С, так как узлы STP не обязательно объединять между собой в пары. Также отсутствуют пучки типа D, так как в структуре сети не определены уровни STP. Отметим, что показанную на рис. 3.16 структуру имеет междугородная сеть ОКС 7 России.

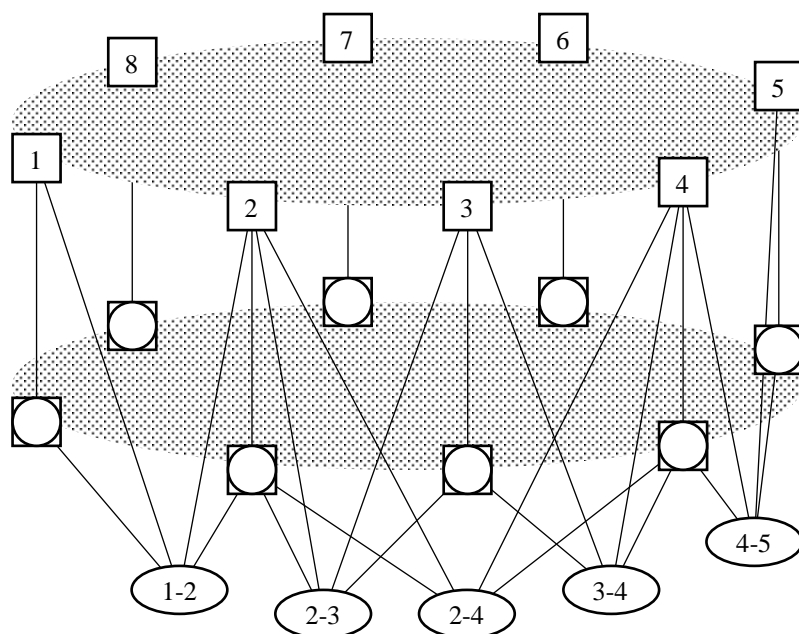


Рис. 3.16. Структура сети ОКС 7 с кластерами и парами SP–SP/STP (X–Y – номер кластера SP, для которых пара X – «своя», а Y – «смежная»)

### 3.4. Маршрутизация сигнальных сообщений

#### 3.4.1. Маршрутные таблицы

В сети ОКС 7 применяется фиксированная (не динамическая) маршрутизация сигнальных сообщений, которая осуществляется на основании так называемых полупостоянных данных, содержащихся в *маршрутных таблицах* пунктов сигнализации сети. Поэтому сигнальным маршрутом является заранее установленный путь передачи сигнальных сообщений по сети ОКС 7 между исходящим пунктом и пунктом назначения. Сигнальный маршрут состоит из исходящего пункта, нескольких STP (в некоторых случаях могут отсутствовать) и

пункта назначения, последовательно соединенных пучками ЗС. Совокупность всех сигнальных маршрутов между исходящим пунктом и пунктом назначения образует пучок сигнальных маршрутов.

Маршрутизация сигнальных сообщений в пунктах сигнализации и транзитных пунктах сигнализации осуществляется в соответствии с маршрутными таблицами и этикеткой маршрутизации, которая имеет длину 32 бита и расположена в начале поля SIF сигнальной единицы (см. рис. 2.11). Поле CIC (Channel Identification Code) является кодом идентификации канала, который обозначает один разговорный канал из тех, которые непосредственно соединяют станцию исходящего пункта со станцией пункта назначения. В протоколе подсистемы пользователя телефонии (TUP) четыре младших бита поля CIC являются полем кода SLS, которое используется для разделения сигнальной нагрузки. Во всех остальных случаях этикетка маршрутизации и код идентификации канала формируются независимо друг от друга.

Маршрутные таблицы содержат данные, которые для каждого сигнального сообщения в каждом пункте сигнализации дают возможность определить приоритет использования пучка ЗС для выбора направления дальнейшей передачи (звено основного или альтернативного сигнального маршрута), доступность ЗС для передачи по соответствующему сигнальному маршруту (например, ЗС может быть недоступно в случае отказа или перегрузки сигнального маршрута), а также данные для разделения сигнальной нагрузки (выбор ЗС внутри пучка или выбор пучка ЗС из числа нескольких пучков с одинаковыми приоритетами). Сообщения, которые должны передаваться в определенной последовательности (например, сообщения, относящиеся к одной и той же процедуре сигнализации), имеют одинаковое значение кода SLS и направляются по одной и той же последовательности ЗС одного и того же сигнального маршрута. Более детально данные вопросы

рассматриваются в разделе данной главы, посвященной вопросам разделения сигнальной нагрузки, где также приведен пример, иллюстрирующий построение маршрутных таблиц.

### **3.4.2. Маршрутизация в нормальных условиях функционирования сети**

Сигнальное сообщение, которое необходимо передать конкретному пункту назначения, в нормальных условиях функционирования сети ОКС 7 (в отсутствие отказов и перегрузок) маршрутизируется по одному пучку ЗС или, в случае разделения нагрузки между пучками, по двум или нескольким пучкам ЗС. Внутри пучка, если он состоит из нескольких ЗС, может быть осуществлена дополнительная маршрутизация, чтобы равномерно распределить сигнальную нагрузку между доступными ЗС. Заметим, что более точное определение понятия «нормальные условия функционирования сети ОКС 7» дано в главе 4.

С целью индикации недоступности сигнальных маршрутов в маршрутных таблицах делаются записи, содержащие данные об альтернативных маршрутах. Для этого в маршрутной таблице определяется один или несколько так называемых резервных пучков ЗС, по которым может осуществляться альтернативная маршрутизация сигнальных сообщений. Пучки ЗС используются в порядке назначенных приоритетов. Пучок ЗС, имеющий наивысший приоритет, используется при условии его доступности. Для сигнального сообщения, которое маршрутизируется к пункту назначения, этот пучок называют нормальным. Пучок ЗС, используемый в данный момент времени для передачи сигнальных сообщений, называют текущим пучком ЗС. Таким образом, текущий пучок звеньев исходно может быть либо нормальным, либо резервным.

Для каждого ЗС все другие звенья пучка являются резервными. Звенья сигнализации одного пучка используются в порядке приоритета. В нормальных условиях одно или не-



сколько ЗС, имеющих высший приоритет, служат для передачи сигнального трафика. Эти ЗС являются нормальными, и поэтому каждая часть сигнальной нагрузки (с учетом ее разделения внутри пучка) передается по соответствующему ей нормальному звену сигнализации.

Маршрутизация сообщений в заданный пункт назначения (нормальная и/или резервная) в каждом пункте сигнализации сигнального маршрута определяется независимо от маршрутизации к другим пунктам назначения. Следовательно, сигнальные сообщения, относящиеся к одному и тому же сигнальному отношению, могут быть переданы в прямом и обратном направлениях по различным ЗС. Это означает, что для одной и той же сигнальной процедуры (например, процедура установления телефонного соединения) пути передачи сигнальных сообщений в прямом и обратном направлениях могут не совпадать (см. пример на рис. 2.23).

Ниже перечислены основные принципы маршрутизации и разделения нагрузки в нормальных условиях функционирования сети ОКС 7:

- для сигнальных сообщений, относящихся к одной и той же сигнальной процедуре, должен использоваться один и тот же код поля SLS;
- для передачи сигнальных сообщений, относящихся к одной и той же сигнальной процедуре, в прямом и обратном направлениях могут использоваться разные пути передачи по сети сигнализации;
- количество переприемов в транзитных пунктах на маршруте должно быть минимальным;
- при наличии нескольких доступных маршрутов с одинаковым числом транзитных пунктов следует разделять между ними сигнальную нагрузку;
- разделение нагрузки следует осуществлять равномерно между ЗС и пучками ЗС;

- разделение нагрузки между пучками ЗС производится на основе части поля кода SLS, отличающейся от той, которая применяется при разделении нагрузки между ЗС одного пучка (например, для разделения нагрузки между пучками может использоваться второй бит, а для разделения нагрузки внутри пучка – первый бит);
- в исходящем пункте предполагается, что биты поля SLS распределены поровну и нагрузка делится соответственно между пучками ЗС и звеньями одного пучка;
- в транзитном пункте сигнальные сообщения, относящиеся к различным исходящим пунктам, могут не иметь одинаковой фиксированной части поля кода SLS, что может привести к неравномерному разделению нагрузки;
- разделение нагрузки между сигнальными маршрутами осуществляется в случае наличия на них равного числа транзитных пунктов; если другие доступные маршруты имеют большее число транзитных пунктов, то они используются как альтернативные с теми же принципами разделения сигнальной нагрузки.

На рис. 3.17 показан пример (см. также [6,83]) маршрутизации сигнальных сообщений от  $SP_A$  к  $SP_F$  в нормальных условиях функционирования сети. Здесь и далее в книге на рисунках бесцветной точкой отмечается пункт-источник сигнальной нагрузки, а черной точкой – пункт-адресат. При наличии нескольких основных маршрутов необходимо применять разделение нагрузки, применяя код поля SLS. В примере исходящий пункт  $SP_A$  использует предпоследний бит поля SLS при маршрутизации сигнальных сообщений по двум исходящим пучкам ЗС, а транзитные пункты  $STP_B$  и  $STP_C$  используют последний бит. Таким образом, код поля SLS однозначно определяет все четыре основных сигнальных маршрута от  $SP_A$  к  $SP_F$ .

Необходимо отметить, что выбор конкретного звена сигнализации для некоторого значения кода SLS в каждом SP

осуществляется независимо. То есть маршруты для сообщений с одинаковым кодом SLS в разных направлениях могут быть различны. Например, для сообщений с кодом  $SLS = 0010$  от  $SP_A$  к  $SP_F$  маршрут будет  $SP_A \rightarrow STP_C \rightarrow STP_D \rightarrow SP_F$ , а от  $SP_F$  к  $SP_A$  –  $SP_F \rightarrow STP_E \rightarrow STP_B \rightarrow SP_A$ .

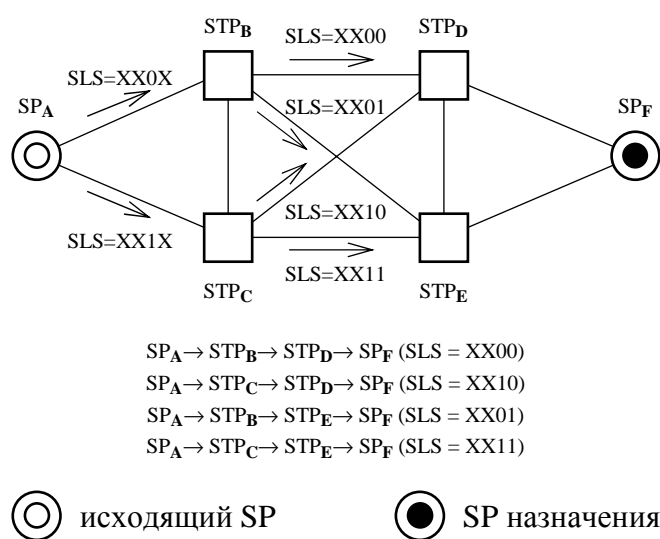


Рис. 3.17. Пример маршрутизации в нормальных условиях

Заметим, что в нормальных условиях звенья BC и DE (ЗС между парами  $STP_B$ - $STP_C$  и  $STP_D$ - $STP_E$  соответственно) не используются, так как число транзитных пунктов на сигнальном маршруте должно быть минимизировано. Они могут применяться только в случаях отказов и перегрузок на отдельных участках сети сигнализации.

### **3.4.3. Маршрутизация в случаях отказов и перегрузок**

Когда звено сигнализации становится недоступным, передаваемый по нему сигнальный трафик переносится на одно или несколько других ЗС с помощью процедуры перехода на резерв. Одно или несколько резервных ЗС определяются в соответствии с кратко изложенными ниже правилами [6,83].

В случае, когда доступно одно или несколько звеньев в пучке, которому принадлежит звено, ставшее недоступным, сигнальный трафик внутри пучка переносится на звено, которое на данный момент не передает сигнальный трафик (находится в «горячем» резерве), или, в его отсутствие, на одно или несколько резервных звеньев, которые в данный момент передают сигнальный трафик.

В случае, когда в пучке, которому принадлежит недоступное ЗС, не имеется резервного звена, сигнальный трафик переносится на один или несколько других пучков ЗС в соответствии с правилами альтернативной маршрутизации. Резервным пучком считается доступный пучок, имеющий наивысший приоритет. В резервном пучке сигнальный трафик распределяется между звеньями в соответствии с принципом маршрутизации, применяемом на этом пучке.

Когда ЗС, ранее недоступное, вновь становится доступным, сигнальный трафик может быть перенесен обратно на это ЗС посредством применения процедуры восстановления трафика. В случае, если пучок, к которому относится ставшее доступным ЗС, на момент восстановления передает сигнальный трафик по другим звеньям, то переносится та часть трафика, для которого ЗС, вновь ставшее доступным, является нормальным.

Трафик переносится с одного или с нескольких ЗС в зависимости от критериев, применяемых на момент, когда звено сигнализации стало недоступным. Трафик может переноситься с одного или нескольких пучков ЗС либо с одного или нескольких ЗС внутри каждого пучка.

Когда сигнальный маршрут по каким-либо причинам становится недоступным, сигнальный трафик, передаваемый по этому маршруту, переносится на альтернативный маршрут с помощью процедуры вынужденной ремаршрутизации. Альтернативный маршрут (т.е. резервные ЗС или пучки ЗС) определяется в соответствии с принципами альтернативной маршрутизации, рассчитанными в плане маршрутизации сигнальных сообщений для каждого пункта назначения.

Когда ранее недоступный сигнальный маршрут вновь становится доступным, сигнальный трафик может быть перенесен на него с помощью процедуры управляемой ремаршрутизации. Эта процедура применяется в случае, если ставший доступным маршрут имеет больший приоритет по сравнению с маршрутом, используемым для трафика, передаваемого к данному пункту назначения на момент восстановления.

В таблице 3.2 приведен пример набора резервных пучков ЗС для всех нормальных пучков  $SP_A$  и  $STP_B$  из примера на рис. 3.17. В нормальных условиях функционирования сети ОКС 7 при передаче сигнальных сообщений используются нормальные пучки. В случае, когда нормальный пучок становится недоступен, поток сигнальных сообщений необходимо перенести на доступный резервный пучок с приоритетом 1. Резервный пучок с приоритетом 2 используется только в том случае, когда нормальный пучок и резервный пучок с приоритетом 1 недоступны.

Ниже рассматриваются типичные случаи отказов пучков ЗС и пунктов сигнализации для примера на рис. 3.17 и маршрутизации в соответствии с таблицей 3.2. Для простоты предполагается, что все пучки состоят из одного ЗС.

Таблица 3.2

	Нормальный пучок	Резервный пучок	Приоритет
SP <sub>A</sub>	AB	AC	1
	AC	AB	1
STP <sub>B</sub>	BA	BC	2
	BC	нет	нет
	BE	BD	1
	BE	BC	2
	BD	BE	1
	BD	BC	2

*Пример отказа одного звена сигнализации.* В этом примере (рис. 3.18), как следует из таблицы 3.2, SP<sub>A</sub> переносит трафик со звена AB на звено AC, а STP<sub>B</sub> – на звено BC. Следует отметить, что число транзитных пунктов на маршрутах, которые проходили через STP<sub>B</sub>, увеличивается на единицу и становится равным трем. В этом случае при маршрутизации применяется принцип минимизации числа транзитных пунктов на сигнальном маршруте.

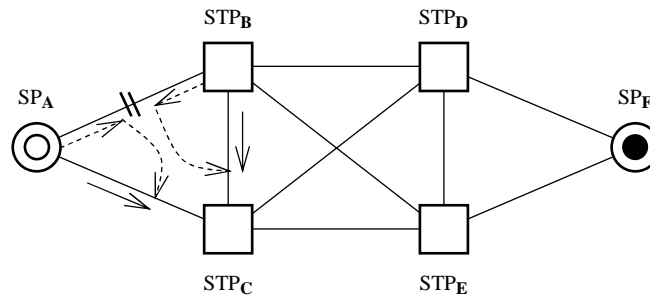


Рис. 3.18. Отказ звена AB

*Пример отказа звена сигнализации между двумя STP.* В этом примере (рис. 3.19) STP<sub>B</sub> переносит трафик со звена BD на звено BE и, аналогично, STP<sub>D</sub> переносит трафик со звена DB на звено DC. В случае отказа звена между STP<sub>B</sub> и STP<sub>C</sub> никаких изменений в маршрутизации не происходит, транзитные пункты лишь отмечают, что звено BC стало недоступным.

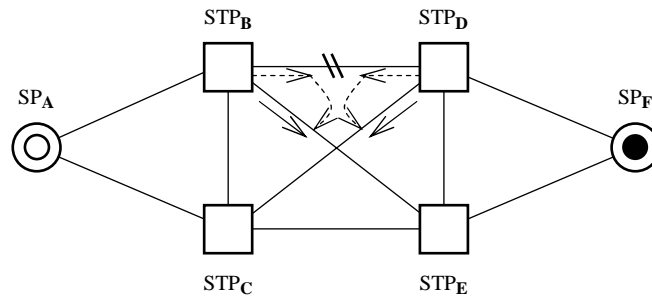


Рис. 3.19. Отказ звена BD

*Примеры отказов нескольких звеньев сигнализации.* На рис. 3.20 показан пример отказа звена между STP<sub>D</sub> и STP<sub>E</sub> и звена между SP<sub>F</sub> и STP<sub>D</sub>. В этом примере STP<sub>B</sub> переносит трафик, маршрутизируемый к SP<sub>F</sub> с пучка BD на пучок BE, так как SP<sub>F</sub> является недоступным через STP<sub>D</sub>. Необходимо отметить, что только сигнальные сообщения, предназначенные для SP<sub>F</sub>, перенаправляются со звена BD на звено BE, а не все сообщения, проходящие через пучок BD. Аналогичная процедура применяется к STP<sub>C</sub>, который переносит трафик, предназначенный для SP<sub>F</sub>, со звена CD на звено CE. Наконец, SP<sub>F</sub> перенаправляет все сообщения со звена FD на звено FE, как было показано на рис. 3.18.

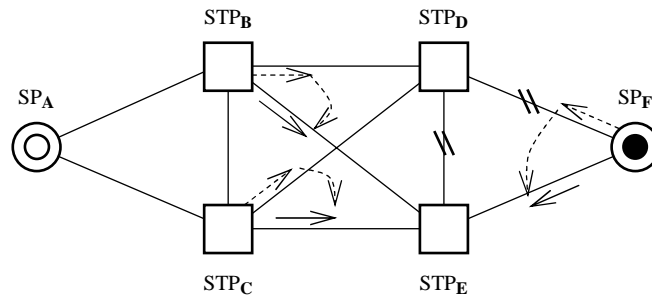


Рис. 3.20. Отказ звеньев DE и DF

На рис. 3.21 приведен пример отказа звена между STP<sub>B</sub> и STP<sub>D</sub> и звена между SP<sub>F</sub> и STP<sub>D</sub>.

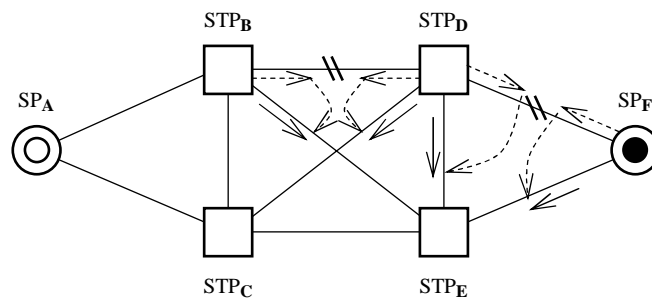


Рис. 3.21. Отказ звеньев BD и DF

Этот пример является комбинацией двух приведенных выше примеров. Пункт STP<sub>D</sub> переносит трафик со звена DF на звено DE, в то время как SP<sub>F</sub> использует только звено FE. Кроме того, STP<sub>D</sub> перенаправляет трафик со звена DB на звено DC (этот трафик может поступать с других пунктов сигнализации, маршрутизирующих трафик через STP<sub>D</sub>). Аналогично STP<sub>B</sub> перенаправляет трафик, предназначенный для SP<sub>F</sub>, со звена BD на звено BE. Следует отметить, что в этом случае



только сообщения, направленные  $STP_C$  к  $SP_F$  через  $STP_D$ , будут проходить через три транзитных пункта ( $STP_C$ ,  $STP_D$  и  $STP_E$ ), в то время как все остальные сообщения – через два.

На рис. 3.22 приведен пример отказа двух звеньев – звена между  $STP_B$  и  $STP_D$  и звена между  $STP_B$  и  $STP_E$ .

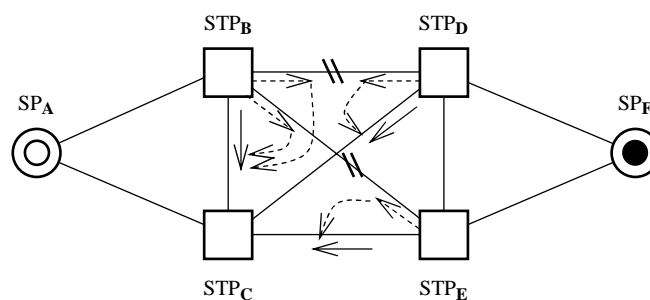


Рис. 3.22. Отказ звеньев BD и BE

В этом примере  $STP_B$  переносит трафик со звена BD на звено BC, так как резервное звено с приоритетом 1 (т.е. звено BE) также является недоступным. То же самое происходит с трафиком, проходящим по звену BE, т.е.  $STP_B$  переносит его на звено BC, а  $STP_D$  и  $STP_C$  переносят трафик со звеньев DB и EB на звенья DC и EC так же, как это было показано в примере на рис. 3.18.

На рис. 3.23 приведен пример отказа двух звеньев – звена между  $SP_F$  и  $STP_D$  и звена между  $SP_F$  и  $STP_E$ . В данном случае сигнализация между  $SP_F$  и любым другим пунктом сигнализации блокируется.  $SP_F$  останавливает все исходящие сигнальные сообщения, в то время как  $SP_A$  останавливает только сообщения, предназначенные  $SP_F$ .

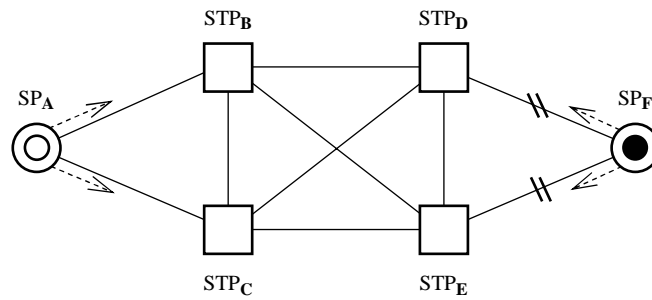


Рис. 3.23. Отказ звеньев DF и EF

*Пример отказа одного пункта сигнализации.* В этом примере (рис. 3.24) STP<sub>B</sub> переносит трафик со звена BD на звено BE, STP<sub>C</sub> переносит трафик со звена CD на звено CE, а SP<sub>F</sub> переносит трафик со звена FD на звено FE аналогично тому, как происходит перенаправление трафика при отказе звена FE.

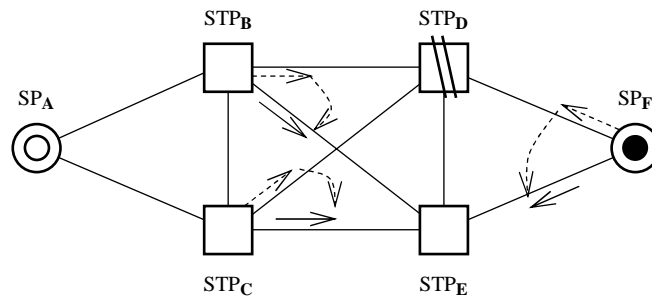


Рис. 3.24. Отказ STP<sub>D</sub>

*Примеры отказа нескольких STP.* В результате отказа STP<sub>B</sub> (рис. 3.25) SP<sub>A</sub> переносит трафик со звена AB на звено AC, в то время как STP<sub>E</sub> переносит трафик со звена EB на звено EC. Аналогично, в результате отказа STP<sub>D</sub>, SP<sub>F</sub> переносит трафик со звена FD на звено FE, в то время как STP<sub>C</sub> переносит трафик со звена CD на звено CE. Следует отметить, что в данном случае все сигнальные сообщения между SP<sub>A</sub> и SP<sub>F</sub> будут проходить по одному и тому же пути, а отказ транзитного пункта сигнализации соответствует отказу всех соединенных с ним звеньев.

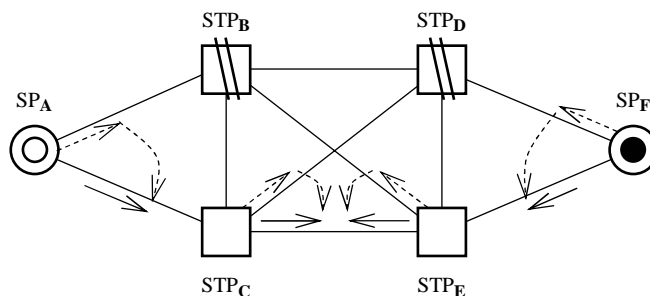


Рис. 3.25. Отказ STP<sub>B</sub> и STP<sub>D</sub>

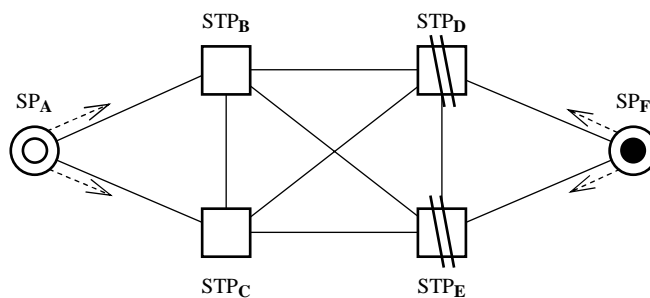


Рис. 3.26. Отказ STP<sub>D</sub> и STP<sub>E</sub>

На рис. 3.26 приведен пример отказа двух транзитных пунктов  $STP_D$  и  $STP_E$ . Данный пример эквивалентен примеру, приведенному на рис. 3.23, так как  $SP_F$  становится недоступным. Но в данном случае любой другой пункт сигнализации, присоединенный только к  $STP_D$  и  $STP_E$ , так же оказывается недоступным.

### 3.5. План маршрутизации сигнальных сообщений

В контексте данной главы *планом маршрутизации* сигнальных сообщений будем называть совокупность пучков сигнальных маршрутов, определенных для всех сигнальных отношений сети ОКС 7. Задача расчета плана маршрутизации сигнальных сообщений является одной из основных проблем процесса планирования сетей ОКС 7. Эта задача решается в главе 6 книги, где понятие плана маршрутизации определяется строго в терминах теории графов.

Ниже перечислены типичные критерии построения плана маршрутизации, используемые при планировании сетей ОКС 7.

- 1) В нормальных условиях функционирования сети ОКС 7 основные сигнальные маршруты должны иметь в своем составе не более  $N_1$  переприемов в транзитных пунктах (как выделенных  $STP$ , так и комбинированных  $SP/STP$ ).
- 2) Альтернативные сигнальные маршруты должны иметь в своем составе не более  $N_2$  переприемов в транзитных пунктах.
- 3) Приоритеты использования пучков ЗС различными пучками сигнальных маршрутов должны обеспечивать не противоречащие друг другу записи в маршрутных таблицах пунктов сигнализации.
- 4) План маршрутизации сети ОКС 7 должен обеспечивать маршрутизацию сигнальных сообщений без циклов и петель как в нормальных условиях функционирования сети, так и при наличии отказов и перегрузок.

План маршрутизации, удовлетворяющий перечисленным критериям, будем называть корректным. Метод построения корректного плана маршрутизации сети ОКС 7 может быть основан на проектировании шаблонов пучков сигнальных маршрутов. Шаблон пучка маршрутов включает в себя пункт-источник сигнальной нагрузки (исходящий пункт), пункт-адресат (пункт назначения), транзитные пункты сигнализации и соединяющие их пучки ЗС. Каждый пучок ЗС имеет приоритет передачи сигнальных сообщений. При совпадении приоритетов пучков ЗС, исходящих из одного пункта сигнализации, должно осуществляться разделение сигнальной нагрузки. Термин *шаблон пучка сигнальных маршрутов* означает, что в сети ОКС 7 может присутствовать несколько сигнальных отношений, для которых сигнальная нагрузка передается по пучкам маршрутов, имеющих одинаковую структуру и приоритеты пучков ЗС. Отличаются лишь «имена» пунктов сигнализации, которые при построении структуры сети ОКС 7 определяют привязку этих пунктов к коммутационным станциям базовой сети связи или конкретные выделенные пункты сигнализации. Для каждого сигнального отношения может быть построено не более двух шаблонов пучков сигнальных маршрутов: один шаблон, определяющий передачу сигнального трафика в прямом направлении, и другой – для передачи сигнального трафика в обратном направлении. В некоторых случаях эти два шаблона могут быть идентичными, т.е. иметь одинаковую структуру и приоритеты пучков ЗС. Последнее не означает, что пути передачи сигнальной нагрузки в сети ОКС 7 для данного сигнального отношения должны обязательно совпадать.

Примеры шаблонов пучков сигнальных маршрутов приведены на рис. 3.27 и 3.28. На рис. 3.27 показан пример шаблона пучка сигнальных маршрутов, функционирующих в квазисвязанном режиме. В этом шаблоне все четыре маршрута являются основными и используются в режиме разделения

сигнальной нагрузки. На рис. 3.28 приведен пример шаблона пучка сигнальных маршрутов, функционирующих в смешанном режиме – это связанный режим для основного маршрута и квазисвязанный режим для альтернативных маршрутов.

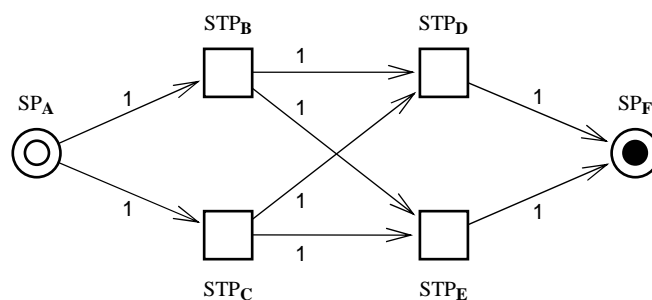


Рис. 3.27. Пример шаблона пучка сигнальных маршрутов, функционирующих в квазисвязанном режиме

Построение корректного плана маршрутизации сигнальных сообщений для сети ОКС 7 с заданной структурой является нетривиальной задачей. Решению этой задачи посвящена шестая глава книги, а в данной главе на примерах, типичных для сетей ОКС 7 России, иллюстрируются критерии построения плана маршрутизации. Для сетей ОКС 7 России как федерального, так и регионального уровня иерархии принято, что основные и альтернативные маршруты должны иметь не более двух переприемов в транзитных пунктах, т. е. в упомянутых выше критериях (1) и (2) принимается, что  $N_1=N_2=2$ .

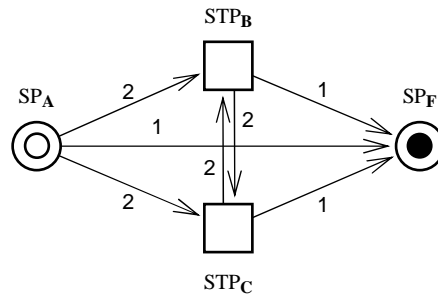


Рис. 3.28. Пример шаблона пучка сигнальных маршрутов, функционирующих в смешанном режиме

На рис. 3.29 показан пример нарушения критерия (2), где рассмотрены шаблоны пучков сигнальных маршрутов, спроектированные для двух сигнальных отношений: один шаблон – для сигнального отношения  $SP_A \rightarrow SP_F$  (рис. 3.29,а), а другой – для сигнального отношения  $SP_G \rightarrow SP_F$  (рис. 3.29,б).

Заметим, что в обоих шаблонах на рис. 3.29 сигнальные маршруты используют одни и те же транзитные пункты  $STP_D$  и  $STP_E$ . В первом шаблоне кроме этого задействован транзитный пункт  $STP_B$ . В обоих шаблонах пунктом назначения является  $SP_F$ , следовательно, сигнальные сообщения, передаваемые по обоим пучкам сигнальных маршрутов, при маршрутизации будут использовать одни и те же записи в маршрутных таблицах транзитных пунктов  $STP_D$  и  $STP_E$ . Поэтому при отказе пучка  $EF$  сигнальные сообщения, относящиеся к сигнальному отношению  $SP_A \rightarrow SP_F$ , будут передаваться не по альтернативному маршруту  $SP_A \rightarrow STP_B \rightarrow STP_D \rightarrow SP_F$  (как это следовало бы предположить, глядя на соответствующий шаблон пучка сигнальных маршрутов), а по «новому» альтернативному маршруту  $SP_A \rightarrow STP_E \rightarrow STP_D \rightarrow SP_F$  (рис. 3.29,в). Кроме того, «появился» еще один альтернативный маршрут  $SP_A \rightarrow STP_B \rightarrow STP_E \rightarrow STP_D \rightarrow SP_F$ , который имеет недопусти-

мое число переключений  $N_2=3$ . Такая ситуация требует перепроектирования шаблонов пучков маршрутов. Аналогичный пример может быть построен для критерия (1) корректности плана маршрутизации сигнальных сообщений.

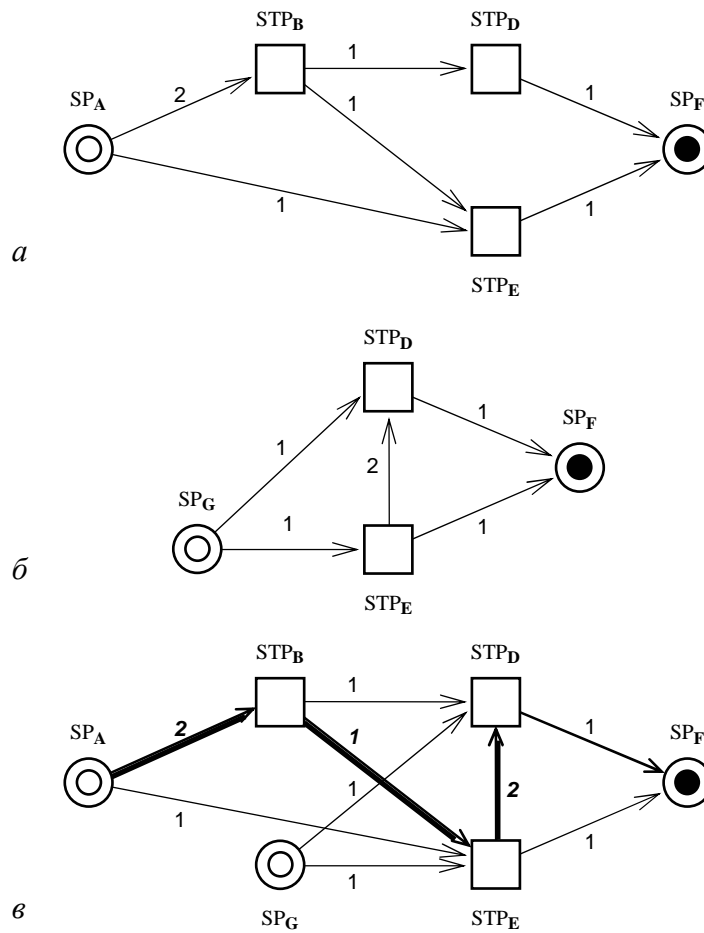


Рис. 3.29. Пример нарушения критерия допустимого числа переключений на альтернативном маршруте



На рис. 3.30 показан пример нарушения критерия (3) корректности плана маршрутизации. В примере рассмотрены шаблоны пучков сигнальных маршрутов, спроектированные для двух сигнальных отношений: один шаблон для сигнального отношения  $SP_A \rightarrow SP_F$  и другой – для сигнального отношения  $SP_H \rightarrow SP_F$ . Заметим, что в обоих шаблонах сигнальные маршруты используют одни и те же транзитные пункты  $STP_B$  и  $STP_D$ . Как и в предыдущем примере, в обоих шаблонах пунктом назначения является  $SP_F$ , следовательно, сигнальные сообщения, передаваемые по обоим пучкам сигнальных маршрутов, при маршрутизации будут использовать одни и те же записи в маршрутных таблицах транзитного пункта  $STP_B$ .

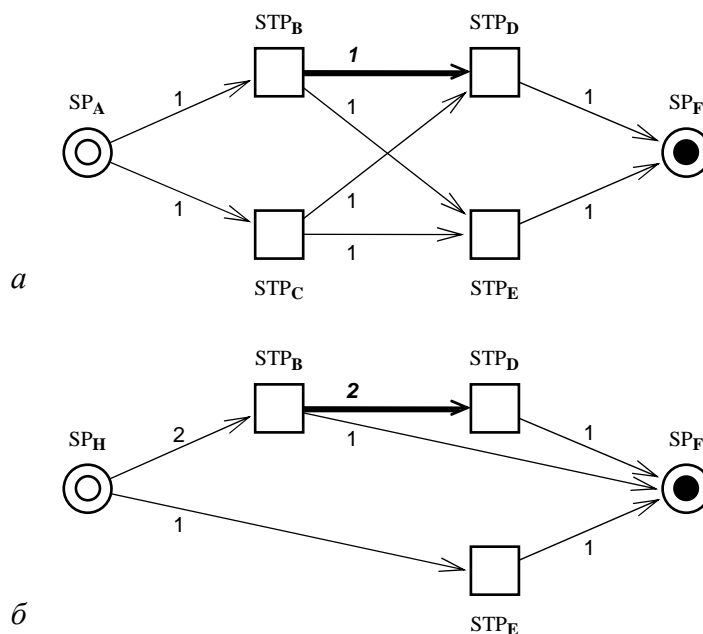


Рис. 3.30. Пример нарушения критерия корректного назначения приоритетов пучкам ЗС

Однако в шаблоне для сигнального отношения  $SP_A \rightarrow SP_F$  (см. рис. 3.30,а) приоритет пучка  $BD$  имеет значение 1, а в шаблоне для сигнального отношения  $SP_H \rightarrow SP_F$  (см. рис. 3.30,б) тот же пучок  $3C$  имеет приоритет 2. Такого типа ситуация недопустима, поскольку она является неоднозначной для формирования записей в маршрутной таблице транзитного пункта  $STP_B$ .

Рассмотрим пример, когда при отказах отдельных элементов в сети ОКС 7 могут возникать циклы при передаче сигнальных сообщений. Протоколы ОКС 7 не поддерживают процедуры выявления и устранения циклов и петель в процессе функционирования сети. Поэтому план маршрутизации должен быть рассчитан так, чтобы и в нормальных условиях, и в сбойных ситуациях заикливание сигнальных сообщений было бы невозможным. На рис. 3.31 показан пример возникновения цикла при одновременном отказе пучков  $DF$  и  $EF$ . В этом случае нарушается критерий (4) корректности плана маршрутизации сигнальных сообщений.

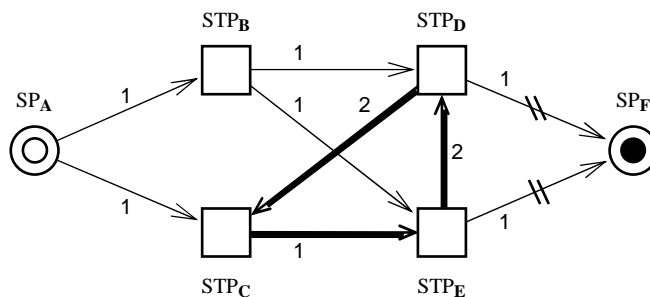


Рис. 3.31. Пример возникновения цикла при маршрутизации сигнальных сообщений

Таким образом, возникает задача построения корректного плана маршрутизации сигнальных сообщений. Решение задачи основано на том, что для любого пункта назначения маршрутизация сигнальных сообщений осуществляется независимо от маршрутизации сигнальных сообщений во все другие пункты назначения сети ОКС 7. Поэтому для построения корректного плана маршрутизации достаточно для каждого пункта назначения построить множество всех пучков сигнальных маршрутов к данному пункту таким образом, чтобы не нарушились критерии (1) – (4). Множество всех пучков сигнальных маршрутов в направлении к пункту с заданным кодом пункта назначения (DPC) будем называть *планом маршрутизации по коду пункта назначения* (ПМКПН). Если все ПМКПН построены корректно, то план маршрутизации в целом также будет корректным, так как маршрутные таблицы для каждого значения кода DPC составляются независимо. Пример ПМКПН показан на рис. 3.29 в. В этом примере пунктом назначения является  $SP_F$ , к которому по двум пучкам сигнальных маршрутов передаются сигнальные сообщения от исходящих пунктов  $SP_A$  и  $SP_G$ . Заметим, что этот ПМКПН не является корректным.

Ниже излагаются общие принципы построения ПМКПН, а в главе 6 данная задача решена в терминах теории графов. Здесь и далее, если не оговорено противное, каждый пункт сигнализации сети ОКС 7 может иметь функции STP.

- 1) Пункту назначения (SP-адресату) присваиваются не более двух так называемых опорных STP из числа STP и/или SP/STP, смежных данному SP.
- 2) SP-адресат вместе с опорными STP образуют кластер назначения. Маршрутизация сигнальных сообщений осуществляется в направлении от SP-источников к SP-адресату через кластер назначения. Другие направления маршрутизации сигнальных сообщений в рамках одного ПМКПН запрещены.

- 3) SP-адресат имеет пучок ЗС к каждому STP кластера назначения. STP кластера назначения связаны между собой пучком ЗС, если это возможно в структуре данной сети ОКС 7.
- 4) Все STP, имеющие в соответствии со структурой сети ОКС 7 пучки ЗС к опорным STP, образуют множество STP данного ПМКПН. Множество STP не включает в себя опорные STP. Множество STP включает в себя SP/STP, в том числе те, SP которых находятся в сигнальном отношении с SP-адресатом.
- 5) Все SP сети ОКС 7, которые находятся в сигнальных отношениях с SP-адресатом, образуют множество SP данного ПМКПН. Множество SP не включает в себя SP-адресат и SP с функциями STP, т.е. SP/STP из множества STP.
- 6) В каждом SP из множества SP (SP/STP из множества STP) создаются пучки ЗС в направлении к кластеру назначения. Пучки ЗС создаются в зависимости от возможностей их организации в структуре данной сети ОКС 7. Для каждого SP (SP/STP) следует (если это возможно) создавать, по крайней мере, два пучка ЗС. Пучки ЗС используются либо в режиме разделения нагрузки между основными сигнальными маршрутами, либо для организации альтернативной маршрутизации сигнальных сообщений.

На рис. 3.32 показан пример построения ПМКПН с указанием SP-источников, SP-адресата, кластера назначения, множества STP и множества SP в виде вложенных друг в друга окрестностей.

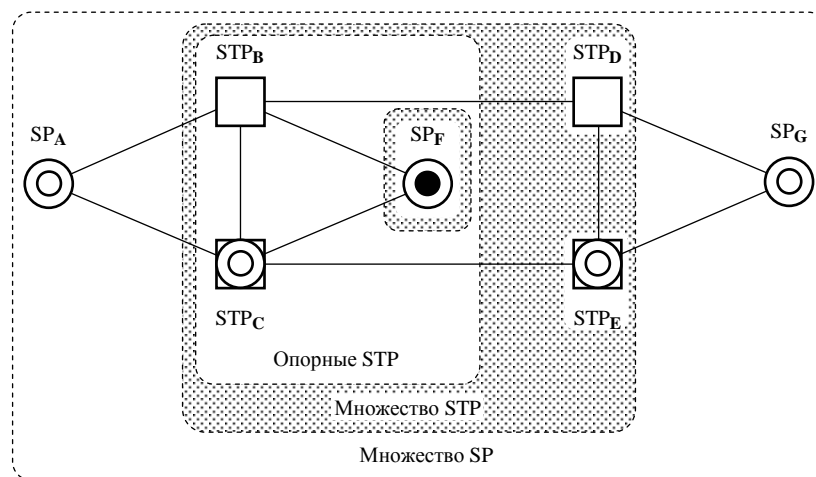


Рис. 3.32. Пример построения плана маршрутизации по коду пункта назначения

Для расчета маршрутных таблиц пунктов сигнализации сети ОКС 7 помимо данных, полученных в результате расчета плана маршрутизации сигнальных сообщений, необходимо иметь данные о разделении сигнальной нагрузки между пучками ЗС для маршрутов с одинаковыми приоритетами и данные о разделении нагрузки между звеньями внутри пучков ЗС. Принципы разделения сигнальной нагрузки излагаются ниже.

### 3.6. Разделение сигнальной нагрузки

В данном разделе рассматриваются и поясняются на примерах общие принципы разделения сигнальной нагрузки в объеме, достаточном для расчета маршрутных таблиц сетей ОКС 7. В главе 6 для решения этой задачи предложен строгий математический метод. Как говорилось выше, разделение сигнальной нагрузки осуществляется с целью равномерной

загрузки ресурсов сети ОКС 7 и надежности ее функционирования. Разделение нагрузки производится как между ЗС внутри одного пучка, так и между пучками ЗС (см. рис. 3.33). Символ «X» на этом и других рисунке означает, что при выборе данного звена или пучка звеньев бит поля СЗС, помеченный этим символом, в разделении нагрузки не задействован.

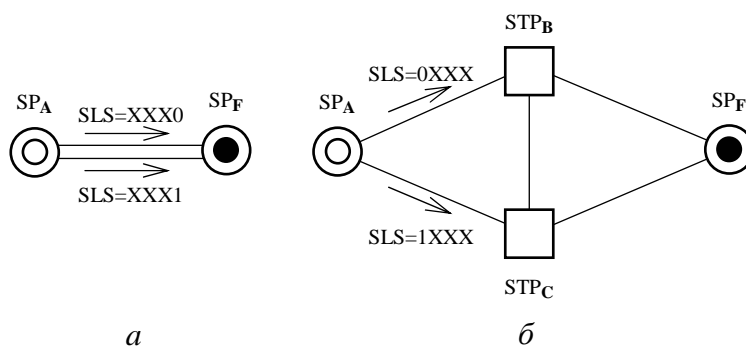


Рис. 3.33. Разделение нагрузки между ЗС одного пучка (а) и между двумя пучками ЗС (б)

Выбор в маршрутных таблицах звена, по которому будет передано сигнальное сообщение, происходит в соответствии со значением кода пункта назначения (DPC) и значения кода селекции звена сигнализации (SLS), которое имеет длину 4 бита и является неотъемлемой частью СЕ, формат которых был описан в главе 2. Разделение нагрузки между пучками ЗС происходит при помощи специального поля в маршрутной таблице, которое называется *битом разделения нагрузки* (LSHB – Load Sharing Bit). В этом поле указывается номер бита поля SLS (0, 1, 2, 3), который используется для разделения сигнальной нагрузки между пучками ЗС. В зависимости от его значения выбирается пучок ЗС для передачи

соответствующей сигнальной единицы. Далее происходит разделение нагрузки между ЗС данного пучка.

При разделении нагрузки между звеньями сигнализации внутри пучка используется 3 или 4 бита поля SLS в зависимости от того, участвует данный пучок в разделении нагрузки между пучками или нет. На рис. 3.34 показан пример разделения сигнальной нагрузки между пучками ЗС. В примере исходящий пункт сигнализации  $SP_A$  использует второй бит поля SLS ( $LSHB = 1$ ) при маршрутизации сигнальных сообщений по двум исходящим пучкам ЗС, а транзитные пункты сигнализации  $STP_B$  и  $STP_C$  используют первый бит ( $LSHB = 0$ ). Таким образом, значение кода SLS однозначно определяет все четыре основных маршрута сигнализации от  $SP_A$  к  $SP_F$ .

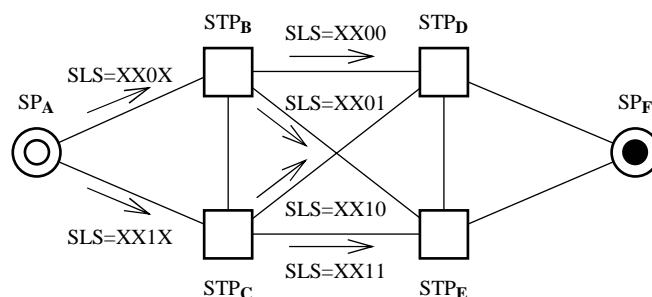


Рис. 3.34. Пример разделения сигнальной нагрузки между пучками ЗС

На рисунке 3.35 показан пример разделения нагрузки между двумя пучками, содержащими по два звена каждый. Последний бит поля SLS ( $LSHB = 3$ ) определяет выбор пучка ЗС. В этом примере сигнальная нагрузка распределена равномерно по всем ЗС, т.е. каждое ЗС несет 1/2 часть сигнальной нагрузки, приходящейся на один пучок звеньев.

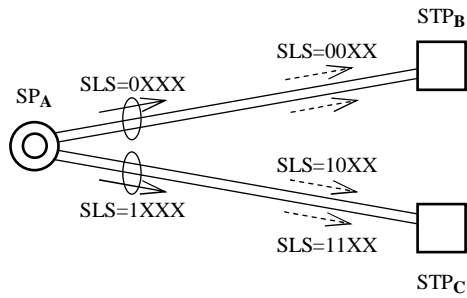


Рис. 3.35. Пример равномерного разделения  
сигнальной нагрузки

Не всегда возможно обеспечить равномерное разделение нагрузки между звеньями одного пучка. На рис. 3.36 показан пример неравномерного разделения сигнальной нагрузки. Из рисунка видно, что ЗС<sub>1</sub> и ЗС<sub>2</sub> будут нести по 3/8, а ЗС<sub>3</sub> будет нести 2/8 от общей сигнальной нагрузки, приходящейся на пучок ЗС между SP<sub>A</sub> и STP<sub>B</sub>. Возникает вопрос: какую максимальную нагрузку может пропустить рассматриваемый пучок ЗС?

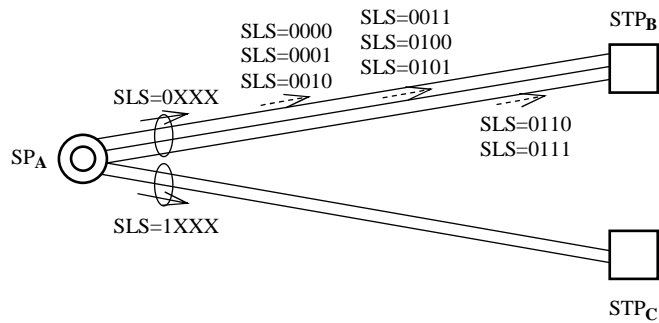


Рис. 3.36. Пример неравномерного разделения  
сигнальной нагрузки



Обозначим  $a_1$ ,  $a_2$  и  $a_3$  нагрузки на ЗС<sub>1</sub>, ЗС<sub>2</sub> и ЗС<sub>3</sub> соответственно и заметим, что в соответствии с требованиями рекомендаций МСЭ-Т эти величины должны удовлетворять ограничениям

$$a_1 \leq 0,2, a_2 \leq 0,2, a_3 \leq 0,2. \quad (3.1)$$

Обозначим  $a = a_1 + a_2 + a_3$  суммарную нагрузку на пучок ЗС между SP<sub>A</sub> и STP<sub>B</sub>. Из изложенного выше следует, что

$$a_1 = \frac{3a}{8}, a_2 = \frac{3a}{8}, a_3 = \frac{2a}{8}, \quad (3.2)$$

а из формул (3.1) и (3.2) получаем

$$\frac{3a}{8} \leq 0,2; \frac{2a}{8} \leq 0,2. \quad (3.3)$$

Решая систему неравенств (3.3), получаем, что  $a \leq \frac{8}{3} \times 0,2 \approx 0,53$ . Поэтому суммарная нагрузка на рассматриваемый в примере пучок ЗС не должна превышать 0,53, а не 0,6, как можно было бы предположить исходя из принципа равномерного распределения нагрузки на ЗС одного пучка. В общем случае суммарная нагрузка  $a$  на пучок ЗС должна удовлетворять неравенству

$$a \leq K(n) \cdot C, n = \overline{1, 16}, \quad (3.4)$$

где  $C$  – величина пропускной способности ЗС в нормальных условиях функционирования сети,  $n$  – число ЗС в пучке, а  $K(n)$  – коэффициент, определяемый по таблице 3.3. Заметим, что здесь и далее величина  $C$  измеряется в эрлангах и имеет значение, определенное требованиями МСЭ-Т, т.е.  $C = 0,2$  Эрл.

Таблица 3.3 составлена в соответствии с рекомендацией E.733 [142]. Из таблицы видно, что не имеет смысла увеличивать число ЗС в пучке с 4 до 5, так как максимально возможная нагрузка на этот пучок от этого не изменится. Если для

разделения нагрузки используются все 4 бита поля SLS (т.е. нет разделения нагрузки между пучками ЗС), то полезным является увеличение числа звеньев в пучке с 1 до 2, с 2 до 3, с 3 до 4, с 4 до 6, с 6 до 8 и, наконец, с 8 до 16.

Таблица 3.3

Число ЗС в пучке ( $n$ )	Коэффициент $K(n)$	
	Разделение по 4 битам поля SLS	Разделение по 3 битам поля SLS
1	1	1
2	2	2
3	8/3	8/3
4	4	4
5	4	4
6	16/3	4
7	16/3	4
8	8	8
9	8	см. примечание
10	8	— // —
11	8	— // —
12	8	— // —
13	8	— // —
14	8	— // —
15	8	— // —
16	16	— // —

*Примечание.* При разделении сигнальной нагрузки по 3 битам поля SLS может быть использовано не более 8 звеньев в одном пучке ЗС.

При планировании сети ОКС 7 назначение кодов SLS является нетривиальной задачей, которая решается взаимосвязано для всех сигнальных маршрутов, сигнальная нагрузка которых передается через одни и те же транзитные пункты сигнализации. На рис. 3.37 показан пример разделения сиг-

нальной нагрузки по значению кода SLS при маршрутизации сигнальных сообщений из  $SP_A$  и  $SP_G$  в  $SP_F$  через  $STP_B$ .

В примере маршрутизацию сообщений из  $SP_A$  и  $SP_G$  в направлении  $STP_B$  определяет старший бит поля SLS, равный 0 и 1 соответственно. Таким образом, в каждом из пучков  $STP_A \rightarrow STP_B$  и  $STP_G \rightarrow STP_B$  могут использоваться по 8 ЗС. Это следует из того, что в поле SLS остаются свободными 3 бита, которые используются для разделения нагрузки между звеньями сигнализации в пучке (разделение происходит между  $2^3 = 8$  ЗС).

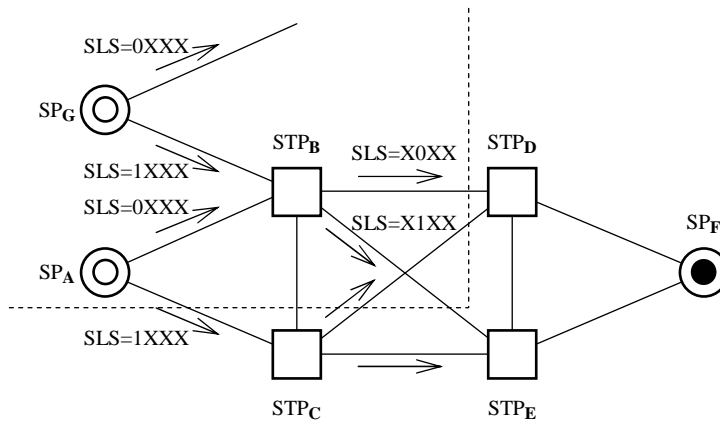


Рис. 3.37. Пример маршрутизации по коду SLS из  $SP_A$  и  $SP_G$  в  $SP_F$  через  $STP_B$

Рассмотрим дальнейшую маршрутизацию сообщений из  $STP_B$  в направлении  $STP_D$  и  $STP_E$  и решим задачу назначения кодов SLS звеньям сигнализации в пучках  $STP_B \rightarrow STP_D$  и  $STP_B \rightarrow STP_E$ .

Из  $STP_B$  сообщения маршрутизируются в  $STP_D$  в том случае, если второй слева бит поля SLS равен 0. В противном случае сообщения маршрутизируются в  $STP_E$ . Таким образом, при маршрутизации сообщений из  $STP_B$  в  $STP_D$  код SLS име-

ет вид X0XX, а при маршрутизации сообщений из STP<sub>B</sub> в STP<sub>E</sub> код SLS имеет вид X1XX. Из рис. 3.38 видно, что при маршрутизации от SP<sub>A</sub> к SP<sub>F</sub> используются 4 ЗС пучка STP<sub>B</sub> → STP<sub>D</sub>. Эти 4 звена определяются кодом SLS вида 00XX. При маршрутизации от SP<sub>G</sub> и SP<sub>F</sub> тоже используются 4 ЗС того же пучка. Но в этом случае они используют коды SLS вида 10XX. Следовательно, между STP<sub>B</sub> и STP<sub>D</sub> (так же, как и между STP<sub>B</sub> и STP<sub>E</sub>) могут быть использованы максимум 8 ЗС в одном пучке. Таким образом, в соответствии с таблицей 3.3 пучки ЗС STP<sub>B</sub> → STP<sub>D</sub> и STP<sub>B</sub> → STP<sub>E</sub> могут пропускать до 8С сигнальной нагрузки в нормальных условиях функционирования сети.

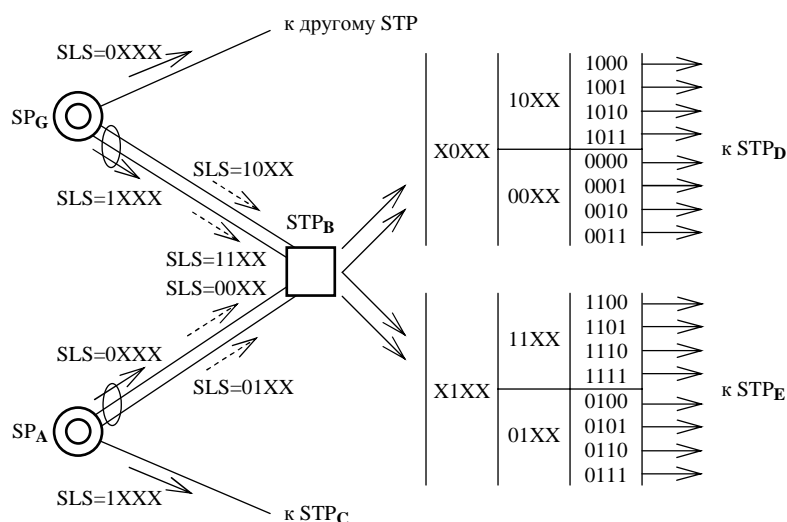


Рис. 3.38. Значения кодов SLS в STP<sub>B</sub> для ЗС в направлении к STP<sub>D</sub> и STP<sub>E</sub>

Главным результатом процесса расчета сети ОКС 7 являются данные для маршрутных таблиц всех пунктов сигнализации рассматриваемой сети. Маршрутные таблицы рас-

считываются на основании плана маршрутизации, построенного в соответствии с изложенным в предыдущем разделе методом и на результатов расчета разделения сигнальной нагрузки. Ниже приведен пример построения маршрутных таблиц для пунктов сигнализации шаблона пучка маршрутов, показанного на рис. 3.39 (таблица 3.4).

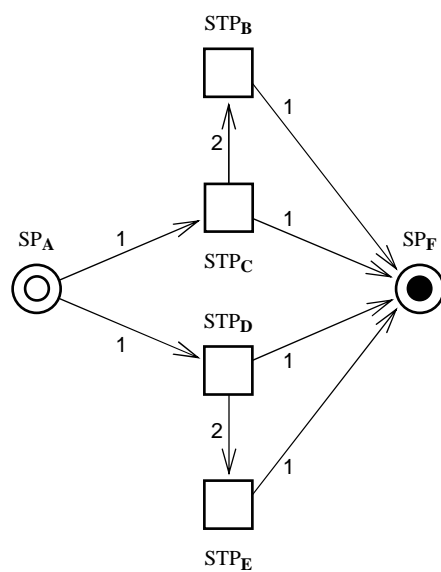


Рис. 3.39. Пример шаблона маршрутов

Таблица 3.4

Пункт назначения	ЗС	Приоритет пучка ЗС	Код SLS
Элементы маршрутной таблицы $SP_A$			
$SP_F$	$(SP_A, STP_C)$	1	XXX0
	$(SP_A, STP_D)$	1	XXX1
Элементы маршрутной таблицы $STP_C$			
$SP_F$	$(STP_C, SP_F)$	1	XXXX
	$(STP_C, STP_B)$	2	XXXX
Элементы маршрутной таблицы $STP_D$			
$SP_F$	$(STP_D, SP_F)$	1	XXXX
	$(STP_D, STP_E)$	2	XXXX
Элементы маршрутной таблицы $STP_B$			
$SP_F$	$(STP_B, SP_F)$	1	XXXX
Элементы маршрутной таблицы $STP_E$			
$SP_F$	$(STP_E, SP_F)$	1	XXXX

## Г Л А В А 4

### ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ОКС 7 И СИГНАЛЬНАЯ НАГРУЗКА

#### 4.1. Общие положения

Требования к показателям качества функционирования сети ОКС 7 определяются исходя из показателей качества услуг, предоставляемых базовой сетью связи. Поэтому эти требования должны формулироваться как для каждой из функциональных подсистем в отдельности, так и в интегральном виде с точки зрения качества функционирования сети ОКС 7 в целом. Каждая подсистема ОКС 7 (МТР, SССР, ISUP и др.) имеет свои качественные характеристики, которые должны отвечать требованиям стандартов и соответствовать интегральным показателям функционирования системы в целом [7,8,13,143,144].

Интегральные показатели качества функционирования ОКС 7 определены рекомендациями МСЭ-Т для *гипотетических соединений сигнализации* (HSRC – Hypothetical Signaling Reference Connection). Заметим, что в российских источниках принят также термин *эталонное соединение сигнализации* [29,89]. Гипотетические (возможные) соединения сигнализации состоят из структурных элементов сети ОКС 7 (пункты сигнализации различных типов и звенья данных сигнализации), которые используются в сигнальном соединении между двумя *оконечными пунктами сигнализации* (SEP – Signaling End Point). Под сигнальным соединением в этом случае понимается путь в сети ОКС 7, который может включать в себя один или более пучков сигнальных маршрутов на уровне МТРЗ между пунктами сигнализации с подсистемами пользователей. Такой путь может проходить как в рамках сети ОКС 7 одного уровня иерархии, например, в сети ОКС 7 регионального уровня ( $NI=11_{bin}$ ), так и через несколько иерархических уровней, например, из региональной

сети ОКС 7 одной страны через международный уровень сети ОКС 7 и далее в региональную сеть ОКС 7 другой страны. Соединение сигнализации в сети ОКС 7 создается в процессе установления соединения между двумя коммутационными станциями базовой сети связи с целью предоставления услуг абонентам этой сети, а также в том случае, когда для установления соединения требуется дополнительная информация о его маршрутизации по базовой сети. В последнем случае одной или несколькими коммутационными станциями базовой сети необходимо осуществить запрос в соответствующие базы данных, например, когда сеть ОКС 7 обслуживает вызовы ИСС или СПС. При установлении таких соединений используются транзакционные возможности ОКС 7 и, следовательно, подсистема управления соединениями сигнализации (SCCP). Такие соединения также могут устанавливаться как в рамках сети ОКС 7 одного уровня иерархии, так и между конечными пунктами сигнализации сетей ОКС 7 разных уровней иерархии.

Структурными элементами соединения сигнализации могут быть пункты сигнализации с различным функциональным назначением, в том числе пункты сигнализации с функциями подсистем пользователей (пункты SP), транзитные пункты только с функциями подсистемы MTP (пункты STP), а также пункты сигнализации с функциями обработки сигнальных сообщений в подсистеме SCCP (пункты SPR). Функции обработки сообщений в SCCP могут включать в себя и другие типы пунктов сигнализации, например узлы SSP в ИСС. Все перечисленные структурные элементы рассматриваются в гипотетических соединениях исключительно с функциональной точки зрения с учетом их привязки к уровням иерархии сети ОКС 7. Следует отметить, что размещение транзитных пунктов STP между другими пунктами сигнализации на гипотетическом соединении не является существенным. То есть показатель качества определяется общим числом STP, которое выступает как ограничение на



этапах построения структуры сети ОКС 7 и расчета плана маршрутизации сигнальных сообщений (см. главу 6).

Для гипотетических соединений сигнализации в рекомендациях МСЭ-Т нормируются число задействованных в них пунктов сигнализации всех типов, задержки передачи сигнальных сообщений и надежность параметры. В рекомендации E.723 нормируются число транзитных пунктов STP в гипотетических соединениях ОКС 7 при различных типах связи (международная, междугородная и местная связь), а также задержки сигнальных сообщений различного типа. Рекомендация Q.709 специфицирует гипотетические соединения сигнализации в целом, а также требования к показателям качества этих соединений, учитывая требования к показателям качества базовой сети связи, вытекающие из рекомендаций E.721, E.723 и I.352 [145-147].

Показатели качества функционирования отдельных подсистем ОКС 7 должны быть согласованы с интегральными показателями гипотетических соединений. Такое согласование в рекомендациях МСЭ-Т осуществляется в основном с точки зрения сигнализации в ЦСИС и ТФОП. Это мотивируется тем, что значительная часть сигнального трафика в подавляющем большинстве сетей ОКС 7 относится к сигнальным процедурам, прямо или косвенно связанным с управлением коммутируемыми соединениями в базовой сети связи. Такое положение для большинства национальных сетей ОКС 7 будет сохраняться на достаточно долгосрочную перспективу, в том числе и для сетей ОКС 7 России. Поэтому при анализе качества функционирования сетей ОКС 7 в современных рекомендациях МСЭ-Т основное внимание уделяется соединениям сигнализации, относящимся к установлению/разъединению коммутируемых соединений.

В рекомендации Q.706 [7] нормированы основные показатели качества функционирования подсистемы МТР, а также специфицированы другие качественные характеристики, необходимые при анализе основных показателей. Такие

характеристики называют параметрами, влияющими на показатели качества функционирования ОКС 7. Основными показателями качества функционирования подсистемы МТР являются:

- надежность функционирования сигнальных маршрутов;
- вероятностные характеристики ситуаций, приводящих к неисправимым ошибкам и отказам в передаче сообщений пользователей;
- различного рода задержки, возникающие при передаче сигнальных сообщений по сети ОКС 7 на уровне подсистемы МТР.

Показатели качества функционирования подсистемы SCCP специфицированы в рекомендации Q.716 [13]. К этим показателям относятся:

- вероятности различного рода ошибок в передаче сигнальных сообщений;
- надежность пунктов сигнализации с обработкой сигнальных сообщений в подсистеме SCCP (пункты SPR);
- различного рода задержки, возникающие при передаче сигнальных сообщений на уровне подсистемы SCCP.

Следует отметить, что рекомендация Q.716 содержит в основном описание показателей качества функционирования подсистемы SCCP, в ней практически отсутствуют какие-либо численные оценки значений этих показателей. Параметры, влияющие на показатели качества подсистемы SCCP, на сегодняшний день мало исследованы, и поэтому практически отсутствуют методы их анализа и какие-либо числовые характеристики.

В рекомендациях Q.766 и Q.725 [143,144] нормированы некоторые показатели качества функционирования ОКС 7 с точки зрения подсистем ISUP и TUP соответственно. В том числе нормированы задержки обработки сигнальных сообщений в пунктах сигнализации транзитных коммутационных станций. В этой главе рассматриваются только качественные

показатели подсистемы ISUP и их влияние на интегральные показатели ОКС 7.

## **4.2. Интегральные показатели качества**

### **4.2.1. Гипотетические соединения сигнализации**

В рекомендациях МСЭ-Т различают два способа установления соединений сигнализации: установление *соединения сигнализации «от-звена-к-звену»* (link-by-link signaling) и установление *соединения сигнализации «из-конца-в-конец»* (end-to-end signaling). Для краткости также говорят о сигнализации «от-звена-к-звену» и о сигнализации «из-конца-в-конец». Мы будем использовать такую терминологию в тех случаях, когда это не вызывает двусмысленного толкования.

При сигнализации «от-звена-к-звену» сигнальные сообщения обрабатываются подсистемами пользователей ОКС 7 в оконечных пунктах (SEP) и во всех промежуточных пунктах сигнализации (SP) гипотетического соединения, т.е. в пунктах сигнализации всех станций базовой сети связи (оконечных и транзитных), где осуществляется коммутация информационных каналов. При сигнализации «из-конца-в-конец» обработка сигнальных сообщений подсистемами пользователей осуществляется только в оконечных пунктах (SEP). Промежуточными пунктами в гипотетических соединениях при сигнализации «из-конца-в-конец» являются только пункты с функциями STP и SPR.

Показатели качества функционирования гипотетических соединений нормируются МСЭ-Т в зависимости от размерности сетей ОКС 7 тех стран, через которые проходят пути этих соединений. Сеть ОКС 7 некоторой страны считается сетью большой размерности, если соответствующая национальная базовая сеть связи обслуживает десятки миллионов абонентов ( $\geq n \cdot 10^7$ ). Поэтому сеть ОКС 7 России в целом следует считать сетью большой размерности. В рекомендации Q.709 [8] рассматриваются только те гипотетические сигнальные соединения, которые соответствуют междуна-

родной связи. Вопрос анализа показателей качества гипотетических соединений национального уровня остается на сегодняшний день открытым и относится к компетенции региональных и национальных органов стандартизации. В данном разделе книги числовые значения всех параметров приводятся для сетей ОКС 7 большой размерности, что, с точки зрения автора, наиболее интересно для российских читателей.

Пример гипотетического сигнального соединения при сигнализации «от-звена-к-звену» для междугородной связи на ВСС России приведен на рис. 4.1. Рассматриваемое соединение обслуживает вызовы абонентов двух автоматических телефонных станций (АТС), например, абонентов городской телефонной сети (ГТС) с узлообразованием. Поэтому возможный (гипотетический) путь установления соединения по базовой сети проходит от АТС на узел исходящей и входящей связи (УИВС) и далее на АМТС соответствующей зоны нумерации. На междугородном участке соединение может быть установлено через два УАК и далее в порядке, обратном вышеизложенному, т.е. от АМТС зоны к УИВС и к АТС вызываемого абонента.

На рис. 4.1 показан путь установления соединения по базовой сети, а также все сигнальные взаимосвязи и структурные элементы гипотетического соединения сигнализации. Число STP на каждом сигнальном маршруте выбрано «наихудшим» с точки зрения возможности маршрутизации сигнальных сообщений сетей ОКС 7 каждого уровня иерархии (одна сеть ОКС 7 федерального уровня иерархии и две сети ОКС 7 регионального уровня иерархии), поскольку МСЭ-Т рекомендует строить гипотетические соединения наибольшей «длины» для путей последнего выбора вторичной сети. В данном примере выбраны данные, характерные для ВСС России, т.е. число SP ( $N_{SP}$ ) на гипотетическом соединении равно 10, а число STP ( $N_{STP}$ ) равно 8. Числовые значения па-

параметров  $N_{SP} \geq 0$  и  $N_{STP} \geq 0$  в данном случае являются показателями качества функционирования национальной сети ОКС 7 России и подлежат стандартизации в руководящих документах отрасли. Вопрос анализа показателей качества гипотетических соединений сигнализации на ВСС России подлежит дальнейшему исследованию, а разработку соответствующих нормативных документов следует отнести к важнейшим вопросам построения национальной сети ОКС 7.

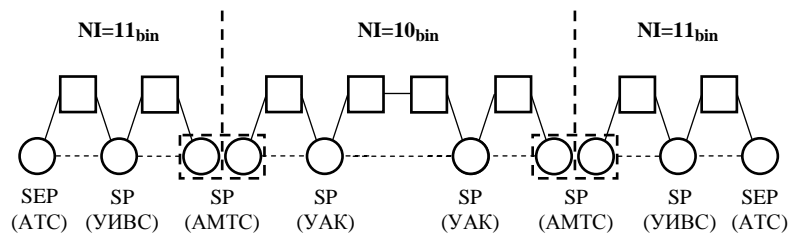


Рис. 4.1. Пример соединения сигнализации «от-звена-к-звену» при междугородной связи на ВСС России

Следует отметить, что число пунктов коммутации (станций и узлов) в соединении базовой сети связи в примере на рис. 4.1 не соответствует значениям, специфицированным для данного случая в рекомендациях E.721 и E.723, т.е. в случае соединений при междугородной связи (таблица 4.1). В этих рекомендациях указано на то, что требования к соединениям на национальных сетях связи подлежат дальнейшим исследованиям, т.е. требования МСЭ-Т в этом случае не являются чрезмерно жесткими. Тем не менее следует, по крайней мере, принимать во внимание эти требования и исследовать вопросы, связанные с особенностями построения национальной сети. Например, как говорилось выше, особенностью сети ОКС 7 России является наличие шлюза на АМТС зоны между сетями сигнализации федерального ( $NI=10_{bin}$ ) и регионального уровней иерархии ( $NI=11_{bin}$ ). Для соединений с шлюзовыми пунктами сигнализации такого ти-

па в рекомендациях МСЭ-Т по ОКС 7 какие-либо требования отсутствуют.

На рис. 4.2 показан пример гипотетического соединения при сигнализации «из-конца-в-конец» между двумя оконечными пунктами сигнализации. В этом примере соединение устанавливается для осуществления запроса по сети ОКС 7 из оконечного пункта SEP<sub>1</sub> в базу данных оконечного пункта SEP<sub>2</sub>. Запрос осуществляется с использованием транзакционных возможностей ОКС 7 для получения дополнительной информации о маршрутизации вызова (см. пример на рис. 2.20 и пояснения к нему). Поскольку SEP<sub>1</sub> и SEP<sub>2</sub> могут находиться в разных сетях ОКС 7 (например, в сетях ОКС 7 разных операторов и разных уровней иерархии), то в установлении такого соединения могут быть задействованы несколько пунктов сигнализации с обработкой сигнальных сообщений в подсистеме SCCP (пункты SPR). Напомним, что на рис. 4.2 пункты SPR изображены перечеркнутыми квадратами. Сигнальные маршруты между оконечными пунктами и пунктами SPR используют транзитные пункты STP.

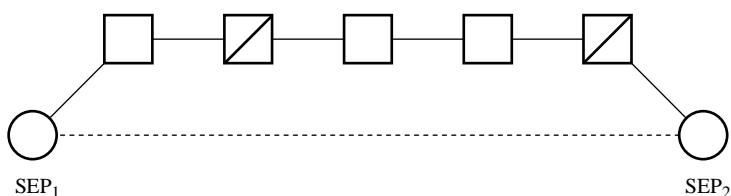


Рис. 4.2. Пример соединения сигнализации «из-конца-в-конец»

В гипотетических соединениях при сигнализации «из-конца-в-конец» к показателям качества относятся число пунктов SPR ( $N_{SPR} \geq 0$ ) и число транзитных пунктов  $N_{STP} \geq 0$ . Значения этих параметров являются ограничениями при планировании сетей ОКС 7, через которые устанавливается со-

единение, и при расчете планов маршрутизации сигнальных сообщений в этих сетях.

#### 4.2.2. Показатели качества гипотетических соединений

В рекомендации E.723 нормируются задержки сигнальных сообщений для гипотетических соединений, удовлетворяющих нормам, приведенным в таблице 4.1. В этой и других рекомендациях МСЭ-Т задержки, как правило, нормируются для двух типов сигнальных сообщений. К первому типу относятся сигнальные сообщения, время обработки которых в подсистемах пользователей пунктов сигнализации значительно превосходит время обработки сообщений других типов. Говорят, что такие сообщения требуют интенсивной обработки в пунктах сигнализации. К таким сообщениям относится, например, начальное адресное сообщение IAM подсистемы ISUP. Типичным примером сообщений второго типа является сообщение ответа вызываемого абонента ANM. Для сообщения IAM требования МСЭ-Т к задержкам приведены в таблице 4.2, а для сообщения ANM – в таблице 4.3.

Таблица 4.1

	Тип связи		
	местная	междугородная	международная
Число пунктов коммутации	1-4	5-7	8-10
Число пунктов STP	до 3	до 8 <sup>(*)</sup>	до 12 <sup>(**)</sup>

(\*) Число STP в гипотетическом соединении определяется в предположении наличия одного STP между каждой парой SP и еще двух STP, присутствующих где-либо в соединении.

(\*\*) Кроме STP, определенных в (\*) еще один STP существует в международной части гипотетического соединения. Кроме того, предполагается прохождение одного звена данных сигнализации через спутник.

Таблица 4.2

Тип связи	Средняя задержка сообщений IAM при нормальной нагрузке (мс)
Местная	900
Междугородная	2300
Международная	4000

Таблица 4.3

Тип связи	Средняя задержка сообщений ANM при нормальной нагрузке (мс)
Местная	750
Междугородная	1500
Международная	2500

В рекомендации Q.709 нормируются качественные показатели гипотетических соединений. Для соединений при сигнализации «от-звена-к-звену» нормируются значения параметров  $N_{SP}$  и  $N_{STP}$ , а для соединений при сигнализации «из-конца-в-конец» – значения параметров  $N_{STP}$  и  $N_{SPR}$ . Для обоих типов соединений нормируются надежные показатели и задержки сигнальных сообщений. Все нормы задаются в вероятностном виде для двух случаев. Одна норма распространяется на 50% из всех возможных вариантов соединений (нижний предел нормы), а другая норма – на 95% гипотетических соединений (верхний предел нормы).

Рассмотрим примеры требований к показателям качества гипотетических соединений, которые сформулированы в рекомендации Q.709 для сетей ОКС 7 большой размерности. В таблице 4.4 приведены требования к значениям параметров  $N_{SP}$  и  $N_{STP}$  на национальной части гипотетического соединения при сигнализации «от-звена-к-звену». В национальную часть гипотетического соединения входят все SP национального уровня иерархии (для сети ОКС 7 на ВСС России – все SP регионального и федерального уровней иерархии), а также все STP вплоть до границы с международным уровнем



иерархии сети ОКС 7. Национальная часть гипотетического соединения не включает SP на международной станции данной страны (для России не включаются SP на МНТС и SP на МЦК в индикаторе сети NI=10<sub>bin</sub>).

Таблица 4.4

Процент соединений	$N_{STP}$	$N_{SP}$	$N_{SEP}$
50%	3	3	1
95%	4	4	1

Следуя данным таблицы 4.4, национальная часть 95% из всех возможных соединений сигнализации на ВСС России может иметь вид, показанный на рис. 4.3.

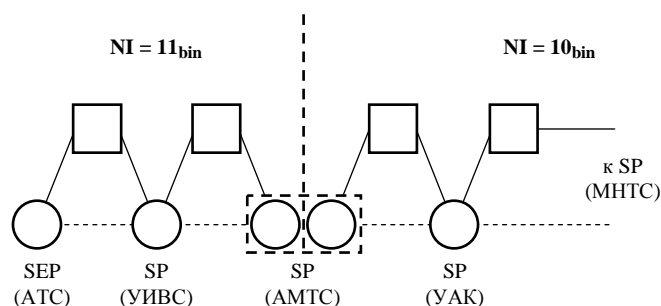


Рис. 4.3. Пример национальной части соединения сигнализации «от-звена-к-звену» при международной связи на ВСС России

Требования рекомендации Q.709 к средним значениям задержек сигнальных сообщений на национальной части гипотетических соединений при сигнализации «от-звена-к-звену» приведены в таблице 4.5, где нормы указаны только для сетей ОКС 7 большой размерности.

Таблица 4.5

Процент соединений	Среднее значение задержки (мс)	
	Сообщения, не требующие интенсивной обработки (типа ANM)	Сообщения с интенсивной обработкой (типа IAM)
50%	390	600
95%	520	800

Требования, аналогичные изложенным выше, предъявляются к показателям качества гипотетических соединений при сигнализации «из-конца-в-конец». Пример национальной части такого соединения применительно к сетям ОКС 7 ВСС России показан на рис. 4.4. Таблицы 4.6 и 4.7 содержат значения показателей качества для национальной части гипотетических соединений в том же виде, что и таблицы 4.4 и 4.5 соответственно.

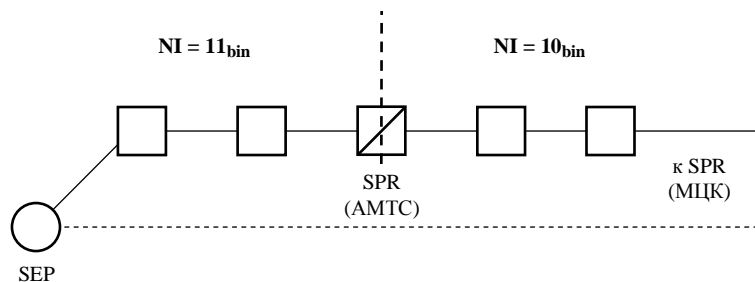


Рис. 4.4. Пример национальной части соединения сигнализации «из-конца-в-конец» при международной связи на ВСС России

Таблица 4.6

Процент соединений	$N_{STP}$	$N_{SPR}$	$N_{SEP}$
50%	4	1	1
95%	5	2	1

Таблица 4.7

Процент соединений	Среднее значение задержки (мс)	
	Сообщения, не требующие интенсивной обработки в SCCP (сообщения CC или DT)	Сообщения с интенсивной обработкой в SCCP (сообщения CR или UDT)
50%	300	440
95%	430	640

В рекомендации Q.709 сформулированы также требования к надежностным показателям гипотетических соединений сигнализации, которые определяются исходя из требований к времени прерывания связи по этим соединениям в течение одного года наблюдений. Прерывание связи по ОКС 7 возникает в связи с отказом хотя бы одного из структурных элементов соединения сигнализации, а само соединение является недоступным для взаимодействия конечных пунктов сигнализации в течение всего времени восстановления отказавшего элемента(ов). В соответствии с этими требованиями в сетях ОКС 7 большой размерности как при сигнализации «от-звена-к-звену», так и при сигнализации «из-конца-в-конец» время прерывания связи по ОКС 7 на национальной части любого соединения сигнализации при международной связи не должно превышать 30 минут в год для 50% соединений и 40 минут в год для 95% соединений.

Заметим, что эти и другие требования рекомендации Q.709 вытекают из требований к надежностным показателям пучков сигнальных маршрутов, сформулированных в рекомендациях Q.706 и Q.766 (см. разделы 4.3.1 и 4.3.3 данной главы).

### **4.3. Требования стандартов к показателям качества подсистем ОКС 7**

#### **4.3.1. Показатели качества функционирования подсистемы МТР**

Подсистема МТР разрабатывалась таким образом, чтобы удовлетворить наиболее жестким требованиям различных подсистем пользователей к передаче сигнальных сообщений по сети ОКС 7. Предполагалось, что заложенных в подсистему возможностей хватит на достаточно продолжительный период времени. Поэтому под качеством функционирования подсистемы МТР понимается ее способность передавать сигнальные сообщения подсистем-пользователей в рамках единого для всех подсистем диапазона значений качественных характеристик. Для достижения такой цели разработка МТР осуществлялась исходя из трех групп ограничений на показатели качества ее функционирования.

1. Ограничения, возникающие из требований различных подсистем-пользователей. Целью удовлетворения этим ограничениям являются минимизация задержек передачи сигнальных сообщений по сети ОКС 7, защита пользователей от различного рода отказов и сбоев и гарантированные надежностные показатели.
2. Ограничения, связанные с характеристиками сигнального трафика. Подсистема МТР должна гарантировать своевременную доставку сигнальных сообщений в едином для всех подсистем-пользователей диапазоне значений нагрузочных и структурных параметров сигнального трафика.
3. Ограничения, связанные с чисто техническими факторами, которые определяются в основном характеристиками физической среды передачи, например, интенсивностью побитовой ошибки.

Рассмотрим основные требования к показателям качества подсистемы МТР, сформулированные в рекомендации Q.706 с целью удовлетворения перечисленным выше ограничениям.

Надежностные показатели подсистемы МТР определяются для пучков сигнальных маршрутов в виде ограничения на длительность прерывания связи между исходящим пунктом сигнализации и пунктом назначения данного пучка. Данный показатель зависит от многих факторов. В первую очередь на надежность пучков сигнальных маршрутов влияет надежность звеньев данных сигнализации, которая зависит непосредственно от надежности первичной сети связи. Отказы пунктов сигнализации (SP и STP) оказывают меньшее влияние на надежность пучков сигнальных маршрутов, поскольку оборудование коммутационных станций и выделенных узлов обладает достаточно высокой надежностью, чаще отказы могут возникать в оконечном оборудовании звеньев сигнализации – сигнальных терминалах. В вероятностном виде критерий надежности функционирования подсистемы МТР формулируется следующим образом. Прерывания связи между оконечными пунктами сигнализации пучка сигнальных маршрутов допускаются на время не более 10 минут в год, т.е. коэффициент  $K_r$  готовности пучка сигнальных маршрутов должен удовлетворять соотношению

$$K_r \geq 0,99998 . \quad (4.1)$$

Заметим, что данный критерий учитывает резервирование звеньев сигнализации в пучках ЗС и альтернативную маршрутизацию. Надежность пучка сигнальных маршрутов может быть улучшена в основном путем введения дополнительных альтернативных маршрутов в квазисвязанном режиме. Добавление резервных звеньев в пучки ЗС без введения дополнительных альтернативных маршрутов редко приводит к желаемому результату. Эффект может быть получен только в том случае, если новое звено будет создано на независимом (по отношению к другим звеньям пучка) направлении первичной сети связи.

Следующая группа показателей относится к редко возникающим на уровне подсистемы МТР разного рода отказам и сбоям в процессе передачи сигнальных сообщений, и поэтому требования к этим показателям формулируются в вероятностном виде:

- вероятность приема сигнальной единицы с необнаруженной ошибкой должна быть ниже  $10^{-10}$ ;
- общая вероятность потери сигнального сообщения вследствие сбоев в подсистеме МТР должна быть ниже  $10^{-7}$ ;
- вероятность передачи сигнального сообщения в неправильной последовательности, включая дублирование сообщений, вследствие сбоев в МТР должна быть ниже  $10^{-10}$ .

Подсистема МТР разработана таким образом, чтобы для цифровых каналов со скоростью 64 Кбит/с выдерживались требования к интенсивности побитовых ошибок в звене данных сигнализации:

- интенсивность ошибок на один бит в звене данных сигнализации не должна превышать  $10^{-6}$  для длительных интервалов времени;
- интенсивность ошибок на один бит в звене данных сигнализации не должна превышать  $10^{-4}$  для интервалов времени средней длины.

От интенсивности ошибок в звене данных сигнализации зависит вероятность передачи СЕ с ошибкой (вероятность искажения СЕ). Ошибки влекут за собой повторные передачи искаженных ЗнСЕ и, следовательно, дополнительные задержки в очереди на передачу. Более того, монитор интенсивности ошибок в СЕ (монитор SUERM) инициирует процедуру перехода на резервное звено в случае, если вероятность приема СЕ с обнаруженной ошибкой превышает пороговое значение 0,004 (примерно 1 из 256 принятых СЕ). Ситуация функционирования ЗС с таким уровнем ошибок в рекомендации E.733 [142] названа экстремальной. Некоторые замечания к анализу функционирования ЗС в таких условиях рассматриваются в главе 5.

При передаче сигнальных сообщений возникают различного рода задержки, которые зависят от многих факторов и должны приниматься во внимание при планировании и расчете сети ОКС 7. Рассмотрим случайную величину (СВ)  $T_0$  общего времени задержки сигнальных сообщений на сигнальном маршруте, функциональная схема которого показана на рис. 4.5. Предполагается, что передача сигнальных сообщений осуществляется из исходящего пункта  $SP_1$  в пункт назначения  $SP_2$  через  $n$  транзитных пунктов  $STP$ . Заметим, величина  $T_0$  не включает в себя время обработки сигнальных сообщений в подсистемах-пользователях МТР.

Основными составляющими СВ  $T_0$  являются:

- $T_{ms}$  – время обработки сигнальных сообщений в исходящем пункте сигнального маршрута ( $SP_1$ ) на уровнях МТР2 и МТР3;
- $T_{mr}$  – время обработки сигнальных сообщений в пункте назначения сигнального маршрута ( $SP_2$ ) на уровнях МТР2 и МТР3;
- $T_{cs}(i)$  – время обработки сигнальных сообщений в  $i$ -ом транзитном пункте сигнального маршрута ( $STP_i$ ) на уровнях МТР2 и МТР3,  $1 \leq i \leq n$ ;
- $T_p(i)$  – время распространения сигнала на  $i$ -ом звене данных сигнального маршрута (уровень МТР1),  $1 \leq i \leq n+1$ .

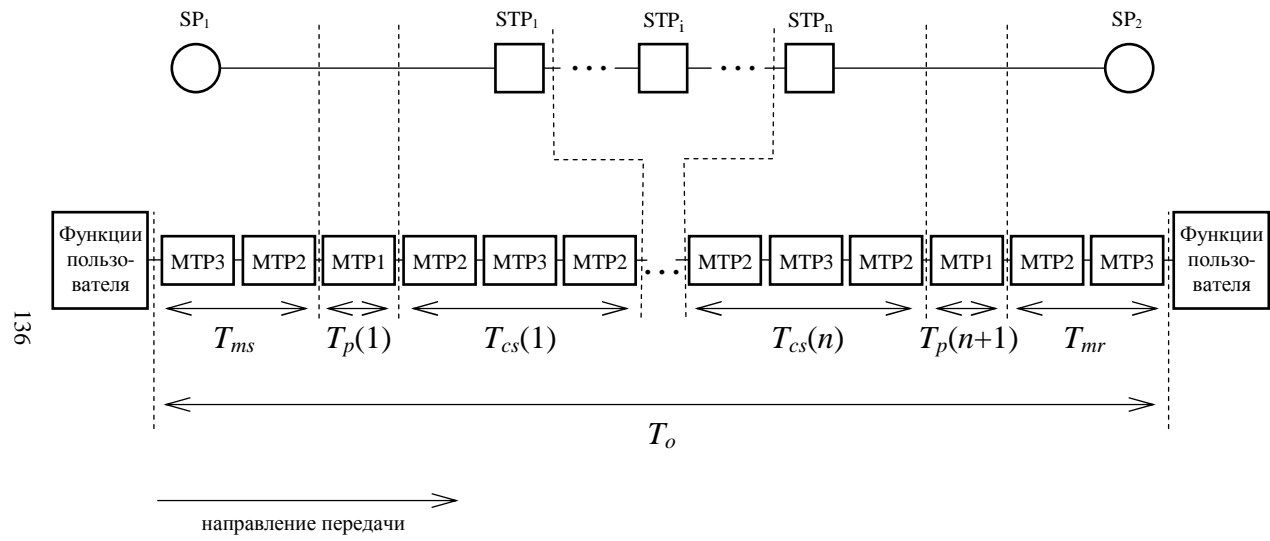


Рис. 4.5. Структурная и функциональная схемы сигнального маршрута



Случайные величины  $T_{ms}$  и  $T_{cs}$  также имеют свои составляющие, которые схематично показаны на рис. 4.6 и 4.7 соответственно, где использованы следующие обозначения:

- $T_{ht}$  – СВ времени обработки сигнальных сообщений в исходящем пункте сигнального маршрута на уровне МТР3;
- $T_{ph}$  – СВ времени приема сигнальных сообщений в транзитном пункте сигнального маршрута на уровне МТР2 и времени обработки в том же пункте на уровне МТР3;
- $T_{od}$  – СВ времени передачи СЕ на уровне МТР2, включая задержки в очереди на передачу.

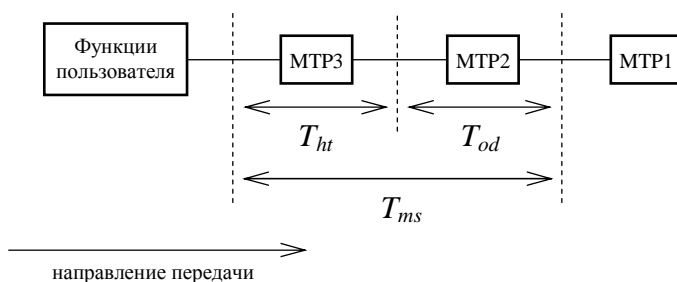


Рис. 4.6. Составляющие СВ  $T_{ms}$

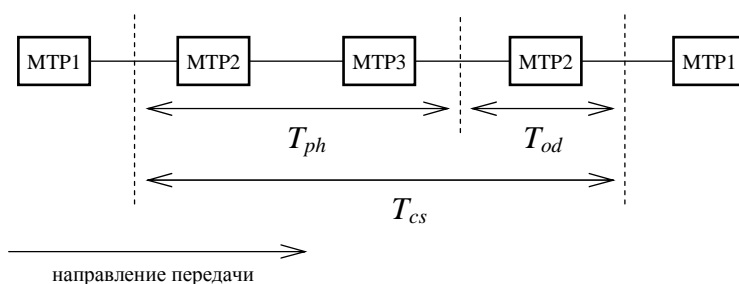


Рис. 4.7. Составляющие СВ  $T_{cs}$

Для временных характеристик ОКС 7, как правило, нормируются средние значения соответствующих СВ (математические ожидания) и их 95% квантили (значения, которые СВ не превышает с вероятностью 0,95). В этом разделе и далее будем использовать обозначение  $T^{(i)}$  для  $i$ -го начального момента СВ  $T$  с соответствующим нижним индексом. Например,  $T_{ms}^{(1)}$  является математическим ожиданием СВ  $T_{ms}$  ( $T_{ms}^{(1)} = MT_{ms}$ ). Аналогично будем обозначать соответствующие квантили случайных величин, например,  $T_{cs}^{95\%}$  обозначает 95% квантиль СВ  $T_{cs}$ .

В рекомендации Q.706 специфицированы оценки значений характеристик СВ  $T_{cs}$  и  $T_{ph}$  (средние значения и 95% квантили). Оценки значений характеристик СВ  $T_{cs}$  приведены для модели сигнального трафика, типичной для услуг традиционной телефонии. Рассматриваются две модели (модели А и В), в которых средняя длина ЗнСЕ составляет 120 бит (таблица 4.8).

Таблица 4.8

Модель	А	В	
Длина ЗнСЕ (бит)	120	104	304
Доля ЗнСЕ	100%	92%	8%

В таблице 4.9 приведены оценки для значений характеристик СВ  $T_{cs}$  в зависимости от величины сигнальной нагрузки. Оценки справедливы для обеих моделей А и В из таблицы 4.8.

Таблица 4.9

Сигнальная нагрузка	$T_{cs}$ (мс)	
	$T_{cs}^{(1)}$	$T_{cs}^{95\%}$
Норма	20	40
+15%	40	80
+30%	100	200

Сигнальная нагрузка в таблице 4.1 является суммарной нагрузкой на транзитный пункт сигнализации, независимо от того, сколько к нему подключено звеньев сигнализации. В рекомендациях МСЭ-Т принято, что:

- среднее значение величины сигнальной нагрузки на одно ЗС не должно превышать 0,2 Эрл в нормальных условиях функционирования сети ОКС 7;
- допускается увеличение нагрузки до 0,4 Эрл в ситуациях сбоев и перегрузок, т.е. при переносе сигнального трафика на резервные звенья внутри пучков ЗС или на ЗС альтернативных маршрутов.

Под нормальными условиями функционирования сети ОКС 7 в данном случае понимаются условия, при которых показатели качества функционирования МТР находятся в пределах допустимых значений. Следует отметить, что сигнальная нагрузка на STP зависит от числа подключенных к нему ЗС, которое определяется на этапе планирования и расчета сети ОКС 7. Фактически таблица 4.9 задает ограничения, которые должны быть приняты во внимание при планировании сети, т.е. сеть ОКС 7 должна быть построена таким образом, чтобы сигнальная нагрузка на STP соответствовала ограничениям на СВ  $T_{cs}$  времени обработки сигнальных сообщений. В противном случае STP будет считаться перегруженным.

В рекомендации Q.706 специфицированы также оценки для характеристик СВ  $T_{ph}$ , которые учитывают более широ-

кий, по сравнению с моделями из таблицы 4.8, диапазон параметров сигнального трафика (таблица 4.10).

Таблица 4.10

Сигнальная нагрузка	Характеристики СВ $T_{ph}$ (мс)	Средняя длина ЗнСЕ (байт)			
		23	50	140	279
Норма	$T_{ph}^{(1)}$	19	22	33	55
	$T_{ph}^{95\%}$	35	40	50	75
+30%	$T_{ph}^{(1)}$	60	70	100	160
	$T_{ph}^{95\%}$	120	140	200	320

Заметим, что приведенные в таблице 4.10 оценки зависят от реализации оборудования STP конкретным производителем на базе технологий, применявшихся на период планирования конкретной сети ОКС 7. При реализации оборудования на базе технологий следующих поколений временные характеристики могут быть улучшены. В рекомендации указано на то, что значения оценок из таблицы 4.10 распространяются на период «жизни» оборудования, произведенного в соответствии с требованиями стандартов МСЭ-Т Красной и Синей книг.

#### 4.3.2. Показатели качества функционирования подсистемы SCCP

Показатели качества функционирования подсистемы SCCP рассматриваются с точки зрения требований подсистем-пользователей, поэтому при анализе качества функционирования подсистемы SCCP должны быть приняты во внимание требования к качеству функционирования соединений сигнализации со стороны подсистем ISUP и TCAP. Кроме показателей качества, «различимых» подсистемами-пользователями, у подсистемы SCCP есть свои «внутренние» показатели качества, которые существенно влияют на показатели качества ОКС 7 в целом. К такого рода «внутренним»

показателям относится, например, время обработки сигнальных сообщений в пункте сигнализации с функциями обработки в подсистеме SCCP, которое, в свою очередь, влияет на задержки сигнальных сообщений в соединениях при сигнализации «из-конца-в-конец». Ниже перечислены основные показатели качества функционирования подсистемы SCCP.

1. Вероятность приема сигнального сообщения с необнаруженной ошибкой.
2. Вероятность потери сигнального сообщения вследствие сбоев в подсистеме сетевых услуг.
3. Вероятность передачи сигнального сообщения в неправильной последовательности в подсистеме сетевых услуг.
4. Задержки сигнальных сообщений при передаче по сети ОКС 7 от одной подсистемы-пользователя SCCP до другой.
5. Недоступность соединения сигнализации для передачи сигнальных сообщений.
6. Время установления соединения сигнализации.
7. Вероятность отказа в установлении соединения сигнализации.
8. Пропускная способность соединения сигнализации.
9. Вероятность повторного установления соединения сигнализации по причине сбоев в подсистеме SCCP.
10. Время разъединения соединения сигнализации.

Соответствие перечисленных выше показателей качества функционирования классам протоколов подсистемы SCCP показано в таблице 4.11. Детальное описание этих показателей содержится в рекомендации Q.716 [13].

Таблица 4.11

Номер показателя качества	Класс протокола			
	0	1	2	3
1	+	+	+	+
2	+	+	+	+
3	-	+	-	+
4	+	+	+	+
5	+	+	+	+
6	-	-	+	+
7	-	-	+	+
8	-	-	+	+
9	-	-	+	+
10	-	-	+	+

Для подсистемы SCCP в рекомендации Q.716 нормирован ряд показателей качества ее функционирования, которые в основном относятся к характеристикам СВ  $T_{rp}$  времени обработки сигнальных сообщений в пункте SPR для различных классов протоколов подсистемы SCCP. Функциональная схема СВ  $T_{rp}$  показана на рис. 4.8.

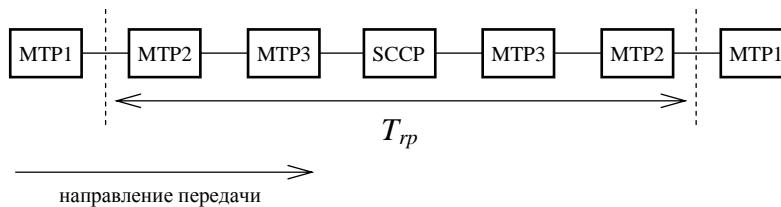


Рис. 4.8. Функциональная схема времени обработки сигнальных сообщений в пункте SPR (СВ  $T_{rp}$ )

Кроме временных характеристик, для пункта SPR нормирован также надежный показатель – коэффициент готовности пункта не должен превышать значения  $10^{-4}$ .

Для протоколов подсистемы SCCP классов 0 и 1 оценки характеристик СВ  $T_{rp}$  приведены в таблице 4.12. Значения оценок в этой и других таблицах данного раздела книги справедливы для модели сигнального трафика со средней длиной ЗнСЕ 15 байт (см. таблицу 4.8). Для других моделей сигнального трафика необходимо учитывать увеличение задержек сигнальных сообщений при их обработке на уровнях МТР2 и МТР3, аналогично тому, как это сделано для показателей качества функционирования подсистемы МТР (см. раздел 4.3.1). Отметим также, что во всех таблицах данного раздела значения оценок справедливы только для наземных каналов ОКС 7 и для значений сигнальной нагрузки не выше 0,2 Эрл на одно ЗС.

Таблица 4.12

Сигнальная нагрузка	Характеристики СВ $T_{rp}$ для сообщений UDT (мс)	
	$T_{rp}^{(1)}$	$T_{rp}^{95\%}$
Норма	50-155	100-310
+ 15%	100-233	200-465
+ 30%	255-388	500-755

В таблице 4.13 приведены оценки характеристик СВ  $T_{rp}$  для протоколов SCCP классов 2 и 3 без связывания секций, а для тех же классов протоколов, со связыванием секций – в таблицах 4.14 – 4.16. Под связыванием секций соединения сигнализации понимается процедура, позволяющая передавать сигнальные сообщения «из-конца-в-конец» в заданной в исходящем пункте последовательности.

Таблица 4.13

Сигнальная нагрузка	Характеристики СВ $T_{rp}$ для сообщений CR в SPR без связывания секций (мс)	
	$T_{rp}^{(1)}$	$T_{rp}^{95\%}$
Норма	50-155	100-310
+ 15%	100-233	200-465
+ 30%	255-388	500-755

Таблица 4.14

Сигнальная нагрузка	Характеристики СВ $T_{rp}$ для сообщений CR в SPR со связыванием секций (мс)	
	$T_{rp}^{(1)}$	$T_{rp}^{95\%}$
Норма	75-180	150-360
+ 15%	150-270	300-540
+ 30%	375-450	750-900

Таблица 4.15

Сигнальная нагрузка	Характеристики СВ $T_{rp}$ для сообщений СС в SPR со связыванием секций (мс)	
	$T_{rp}^{(1)}$	$T_{rp}^{95\%}$
Норма	30-110	60-220
+ 15%	60-165	120-330
+ 30%	150-275	300-550

Таблица 4.16

Сигнальная нагрузка	Характеристики СВ $T_{rp}$ для сообщений DT в SPR со связыванием секций (мс)	
	$T_{rp}^{(1)}$	$T_{rp}^{95\%}$
Норма	30-110	60-220
+ 15%	60-165	120-330
+ 30%	150-275	300-550

#### 4.3.3. Показатели качества функционирования подсистемы ISUP

Требования к показателям качества функционирования подсистемы ISUP специфицированы в рекомендации Q.766 с точки зрения обслуживания коммутируемых соединений в ЦСИС. Эти требования распространяются на различные вероятностные и временные характеристики как сети ОКС 7 в целом, так и ее отдельных структурных элементов.



Сеть ОКС 7 должна обеспечивать надежную и своевременную передачу сообщений ISUP. Как указывалось выше, прерывания связи между двумя пунктами сигнализации с учетом резерва допускаются не более чем на 10 минут в год. Это означает, что коэффициент готовности  $K_r$  пучка сигнальных маршрутов между двумя пунктами сигнализации на коммутационных станциях ЦСИС не должен быть ниже значения 0,99998. Это требование в первую очередь относится к пучкам сигнальных маршрутов, обслуживающих соединения ЦСИС, а впервые это требование появилось в рекомендации Q.752 МККТТ Красной книги для подсистемы пользователя телефонии TUP. С целью обеспечения данного критерия МСЭ-Т рекомендует планировать сеть ОКС 7 таким образом, чтобы ее структура позволяла строить для каждой сигнальной взаимосвязи пучки маршрутов достаточной емкости, и чем больше сигнальных маршрутов в пучке будут иметь независимые трассировки на первичной сети, тем скорее будет достигнут этот надежностный показатель.

Для подсистемы ISUP нормированы следующие вероятностные показатели:

- вероятность приема сигнального сообщения с нераспознаваемой ошибкой должна быть меньше  $10^{-8}$ ;
- доля неуспешных вызовов из-за ошибок системы сигнализации должна быть меньше  $10^{-5}$ .

Кроме того, с подсистемой ISUP связана вероятность своевременной доставки ЗнСЕ на звене сигнализации. Случайная величина  $T_3$  задержки ЗнСЕ с учетом всех возможных повторных передач на одном ЗС может превышать 300 мс не более чем для одной из 10000 ЗнСЕ, т.е.

$$P\{T_3 > 300 \text{ мс} \} \leq 10^{-4}. \quad (4.2)$$

Данный критерий распространяется на все ЗнСЕ независимо от их содержания с целью обеспечения своевременной доставки сообщения «ответ вызываемого абонента» (сообщение ANM) по сети ОКС 7. Не исследованным до сих пор является

вопрос: распространяется ли данный критерий на ЗС, установленные через спутник?

В рекомендации Q.766 [144] специфицированы также требования к времени обработки сигнальных сообщений в пунктах сигнализации транзитных станций ЦСИС. На рис. 4.9 показана функциональная схема СВ  $T_{cu}$  времени обработки сигнальных сообщений в таких пунктах сигнализации и основные составляющие компоненты этой СВ. Оценки значений характеристик СВ  $T_{cu}$  приведены в таблице 4.17.

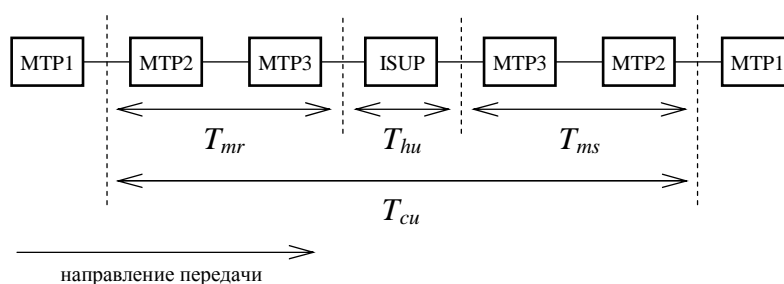


Рис. 4.9. Функциональная схема времени обработки сигнальных сообщений в пункте сигнализации транзитной станции ЦСИС

Таблица 4.17

Нагрузка станции попытками вызова	$T_{cu}$ (мс)			
	Сообщения, не требующие интенсивной обработки (типа ANM)		Сообщения с интенсивной обработкой (типа IAM)	
	$T_{cu}^{(1)}$	$T_{cu}^{95\%}$	$T_{cu}^{(1)}$	$T_{cu}^{95\%}$
Норма	110	220	180	360
+15%	165	330	270	540
+30%	275	550	450	500

#### 4.4. Сигнальная нагрузка

##### 4.4.1. Определение сигнальной нагрузки

Величину сигнальной нагрузки определим на уровне звена сигнализации подсистемы МТР общепринятым в теории телетрафика [33, 62] способом. Для этого предположим, что на ЗС с интенсивностью  $\lambda$  поступает поток значащих СЕ, и обозначим  $T_m$  среднее время передачи ЗнСЕ в условиях отсутствия ошибок в звене данных сигнализации. Величину  $a = \lambda T_m$  будем называть сигнальной нагрузкой и заметим, что в рекомендациях МСЭ-Т эту величину принято измерять в эрлангах (Эрл) в соответствии с традициями классических задач телефонии.

В ОКС 7 длина ЗнСЕ является переменной и может принимать значения в пределах от 10 до 279 байт в зависимости от того, какое сигнальное сообщение передается в ее составе. Подсистема МТР передает по сети ОКС 7 сигнальные сообщения своих пользователей, которыми являются подсистемы SCCP и ISUP. Прикладные подсистемы, использующие транзакционные возможности ОКС 7, являются «прозрачными» для подсистемы МТР с точки зрения протоколов подсистемы SCCP. «Прозрачны» в этом же смысле и те протоколы подсистемы ISUP, которые являются пользователями подсистемы SCCP. Исходя из изложенного, представим величину сигнальной нагрузки на ЗС в виде

$$a = a_{ISUP} + a_{SCCP}, \quad (4.3)$$

где  $a_{ISUP}$  и  $a_{SCCP}$  соответствуют величинам сигнальной нагрузки на ЗС, создаваемыми сигнальными сообщениями, поступающими в подсистему МТР от подсистем ISUP и SCCP.

Обозначим  $L$  дискретную СВ длины ЗнСЕ, поступающих в общем потоке в очередь на передачу ЗС, и представим ее распределение в виде

$L$	$L_1$	...	$L_i$	...	$L_k$
$q$	$q_1$	...	$q_i$	...	$q_k$

Здесь  $q_i$  соответствует доле тех значащих единиц, длина которых составляет  $L_i$  байт,  $i = \overline{1, k}$ . Средняя длина  $L^{(1)}$  ЗНСЕ вычисляется по формуле

$$L^{(1)} = \sum_{i=1}^k q_i L_i,$$

и тогда величина сигнальной нагрузки в отсутствие ошибок для канала 64 Кбит/с определяется в виде

$$a = \lambda \frac{L^{(1)}}{8000}.$$

Распределение СВ  $L$  будем называть *моделью сигнального трафика*. Например, модель В в таблице 4.8 записывается в виде

$L$	13	38
$q$	0,92	0,08

Нетрудно убедиться, что в этом примере  $L^{(1)} = 15$  байт. В главе 5 будут рассмотрены более сложные модели для случаев, когда отсутствует детальная информация о структуре сигнального трафика. В этом случае дискретная СВ может быть приближена непрерывной СВ с известным средним значением либо смесью непрерывной и дискретной СВ.

Как правило, при анализе качества функционирования ОКС 7 исходят из того, что известны модель сигнального трафика и величина сигнальной нагрузки, которая в соответствии с требованиями МСЭ-Т не должна превосходить 0,2 Эрл в нормальных условиях функционирования сети ОКС 7 и 0,4 Эрл при переходе на резервные ЗС в случаях отказов и перегрузок. Исходя из этого требования, имеем ограничение на величину сигнальной нагрузки

$$a \leq 0,2. \quad (4.4)$$

Условие (4.4) означает, что в стационарном режиме и нормальных условиях функционирования сети (когда все показатели качества ОКС 7 находятся в пределах нормативных значений) коэффициент использования ЗС не превышает

20%, и, следовательно, 80% пропускной способности ЗС резервируется на случаи различного рода «всплесков» сигнальной нагрузки, например в ЧНН.

При планировании сети ОКС 7 необходимо иметь данные о значениях величины сигнальной нагрузки, на основании которых осуществляется расчет объемов сигнального оборудования в узлах сети ОКС 7. Например, для передачи сигнальной нагрузки из  $SP_1$  в  $SP_2$  в сети, изображенной на рис. 3.34, необходимо иметь как минимум 16 сигнальных терминалов (по 2 терминала на  $SP_1$  и  $SP_2$  и по 3 терминала на каждом из 4 транзитных пунктов). В этом случае может быть передана сигнальная нагрузка не более 0,4 Эрл. Максимально возможное число сигнальных терминалов в рассматриваемом примере равняется 64 (по 8 терминалов на каждом из 6 пунктов сигнализации). В этом случае из  $SP_1$  в  $SP_2$  может быть передано максимум 3,2 Эрл сигнальной нагрузки.

Сигнальная нагрузка должна быть рассчитана для всех сигнальных взаимосвязей сети ОКС 7. На рис. 4.10 изображена схема сигнальной взаимосвязи двух пунктов сигнализации с суммарной нагрузкой  $a = a_{ij} + a_{ji}$ , где  $a_{ij}$  – величина сигнальной нагрузки в направлении от  $SP_i$  к  $SP_j$ .

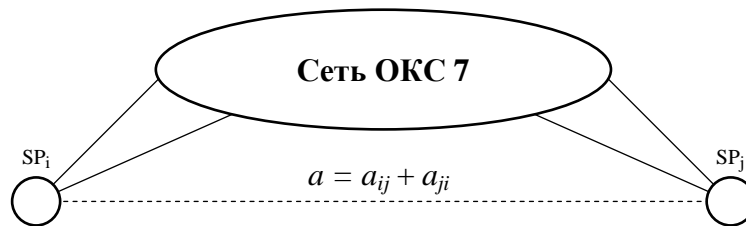


Рис. 4.10. Нагрузка на сигнальную взаимосвязь

На рис. 4.11 показана функциональная схема сигнальной взаимосвязи в направлении от  $SP_i$  к  $SP_j$  с учетом сигнальных нагрузок подсистемы ISUP ( $a_{ij}^{ISUP}$ ) и подсистемы SCCP ( $a_{ij}^{SCCP}$ ).

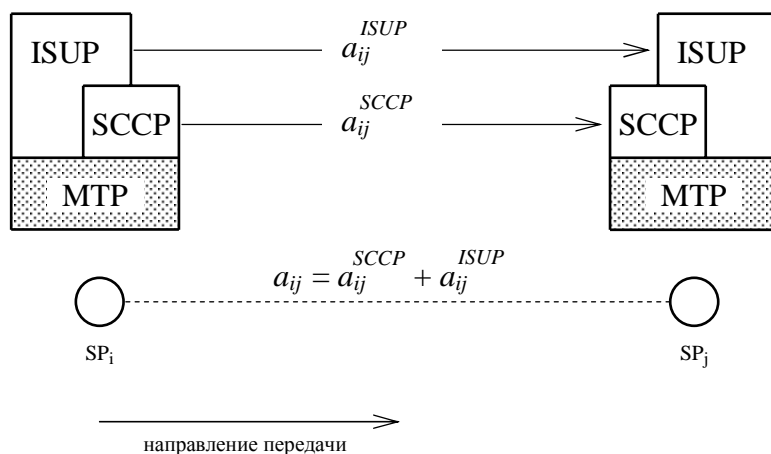


Рис. 4.11. Функциональная схема нагрузки на сигнальную взаимосвязь

Задача заключается в расчете сигнальной нагрузки на все ЗС сети ОКС 7, а ее решение состоит из двух этапов. На первом этапе рассчитываются сигнальные нагрузки (подсистем ISUP и SCCP) на каждую сигнальную взаимосвязь, а на втором этапе в соответствии с планом маршрутизации сигнальных сообщений рассчитываются нагрузки на все пучки ЗС. Нагрузки на звенья сигнализации рассчитываются в соответствии с принципами разделения сигнальной нагрузки в пучках ЗС. В данном разделе (см. 4.3.2 и 4.3.3) излагается метод оценки величины сигнальной нагрузки на сигнальную взаимосвязь в предположении  $a_{ij} = a_{ji}$  (равенство нагрузок в прямом и обратном направлениях), что не ограничивает общность метода решения поставленной задачи. Задача расчета нагрузок на пучки ЗС в соответствии с планом маршрутизации сигнальных сообщений решается в главе 6.

#### 4.4.2. Оценка сигнальной нагрузки подсистемы ISUP

Величина  $a_{ISUP}$  является интенсивностью сигнальной нагрузки, создаваемой сигнальными сообщениями подсистемы ISUP, и относится к обслуживанию коммутируемых соединений вторичной телефонной сети. Излагаемый в данном разделе метод расчета величины  $a_{ISUP}$  предполагает равенство сигнальной нагрузки в прямом и обратном направлениях. Под сигнальной нагрузкой в прямом направлении (и, наоборот, для сигнальной нагрузки в обратном направлении) следует понимать нагрузку, создаваемую потоком сигнальных сообщений ISUP в направлении, совпадающем с направлением установления соединения вторичной сети (от вызывающего абонента к вызываемому).

Расчет величины сигнальной нагрузки  $a_{ISUP}$  осуществляется на основании исходных данных о нагрузочных параметрах вторичной телефонной сети и объемов сигнальных сообщений, передаваемых по ОКС 7 при обслуживании вызовов различных типов [89]. В таблице 4.18 перечислены необходимые для расчетов параметры.

Суммарная информационная нагрузка, создаваемая исходящими и входящими вызовами на направлении вторичной телефонной сети, может быть рассчитана по формуле

$$A = T^{(1)} \cdot \frac{N}{86400} \text{ (Эрл)},$$

где  $N$  – общее число входящих и исходящих вызовов в сутки,  $T^{(1)}$  (с) – среднее время занятия информационного канала, рассчитываемое по формуле

$$T^{(1)} = \sum p_i T_i^{(1)}.$$

Таблица 4.18

Параметры	Обозначение
Число типов вызовов	$M$
Вероятность поступления вызова $i$ -го типа	$p_i$
Количество состояний вызова $i$ -го типа	$K_i$
Среднее время занятия информационного канала вызовом $i$ -го типа (с)	$T_i^{(1)}$
Вероятность $j$ -го состояния вызова $i$ -го типа	$q_{ij}$
Общий объем сигнальной информации, посылаемой в прямом направлении в $j$ -ом состоянии вызова $i$ -го типа (байт)	$L'_{ij}$
Общий объем сигнальной информации, посылаемой в обратном направлении в $j$ -ом состоянии вызова $i$ -го типа (байт)	$L''_{ij}$

С учетом введенных обозначений величина сигнальной нагрузки подсистемы ISUP рассчитывается по формуле

$$a_{ISUP} = K \cdot A,$$

где

$$K = \frac{L' + L''}{8000} \cdot \frac{1}{T^{(1)}} - \text{коэффициент пересчета информационной нагрузки в сигнальную нагрузку};$$

$L' = \sum_{i=1}^M p_i \sum_{j=1}^{K_i} q_{ij} L'_{ij}$  – средний объем сигнальной информации, передаваемой в прямом направлении, для всех состояний всех типов вызовов;

$L'' = \sum_{i=1}^M p_i \sum_{j=1}^{K_i} q_{ij} L''_{ij}$  – средний объем сигнальной информации, передаваемой в обратном направлении, для всех типов вызовов.

Пример расчета величины сигнальной нагрузки подсистемы ISUP приведен в разделе 4.4.4.



#### 4.4.3. Оценка сигнальной нагрузки подсистемы SCCP

Нагрузка, создаваемая потоком сигнальных сообщений от подсистемы SCCP, имеет более сложный характер, чем нагрузка подсистемы ISUP. Установить связь параметров этой части сигнальной нагрузки с параметрами услуг, предоставляемых базовой сетью связи, зачастую возможно лишь с помощью измерений на конкретной сети ОКС 7. Тем не менее на этапе планирования и расчета сети ОКС 7 необходимо иметь хотя бы грубые оценки величины сигнальной нагрузки  $a_{SCCP}$ , которые позволили бы оценить объемы сигнального оборудования, т.е. объемы пучков ЗС на сигнальных маршрутах. Получим простейшую оценку для величины  $a_{SCCP}$  в предположении, что известен коэффициент  $Q$  отношения этой величины к величине нагрузки подсистемы ISUP, т.е.

$$a_{SCCP} = Q a_{ISUP}. \quad (4.5)$$

Как было сказано выше, задача решается для случая равенства значений нагрузки в прямом и обратном направлениях. Для простоты также предположим, что сигнальная взаимосвязь в нормальных условиях функционирования сети ОКС 7 обслуживается в связанном режиме одним пучком ЗС. Из формул (4.4) и (4.5) следует, что

$$a = \left(1 + \frac{1}{Q}\right) a_{SCCP}, \quad (4.6)$$

а величина общей сигнальной нагрузки ограничена общей пропускной способностью пучка ЗС, обслуживающего сигнальную взаимосвязь (см. формулу (3.4) в разделе 3.6). Поэтому величина сигнальной нагрузки подсистемы SCCP в рассматриваемом нами случае должна удовлетворять неравенству

$$a_{SCCP} \leq \frac{Q}{1+Q} \cdot k(n) \cdot C. \quad (4.7)$$

Имея оценку (4.8), можно рассчитать, какой объем сигнального трафика подсистемы SCCP может обслуживаться пучком ЗС емкости  $n$  при известном значении коэффициента  $Q$ . При планировании сети данная оценка позволит сделать несколько вариантов расчета объемов сигнального оборудования и на этапе задействования сети ОКС 7 избежать перегрузок на основных и альтернативных сигнальных маршрутах.

Получим оценку величины  $\lambda_{SCCP}(n)$  интенсивности потока сигнальных сообщений подсистемы SCCP, который может пропустить пучок ЗС емкости  $n$  при заданной величине сигнальной нагрузки подсистемы ISUP. Из формулы (3.4) (см. раздел 3.6) следует, что

$$\lambda_{SCCP}(n)T_m^{SCCP} + a_{ISUP} \leq k(n) \cdot C,$$

где  $T_m^{SCCP}$  является средним значением времени передачи ЗнСЕ, в составе которых передаются сигнальные сообщения подсистемы SCCP. Поэтому максимальное значение  $\lambda_{SCCP}^{\max}(n)$  величины интенсивности сигнального трафика подсистемы SCCP может быть определено по формуле

$$\lambda_{SCCP}^{\max}(n) = \frac{Q}{1+Q} \cdot \frac{k(n) \cdot C}{T_m^{SCCP}} = \frac{k(n) \cdot C - a_{ISUP}}{T_m^{SCCP}}. \quad (4.8)$$

В следующем разделе приведены примеры численного анализа сигнальной нагрузки.

#### 4.4.4. Примеры численного анализа

Рассмотрим примеры расчета сигнальной нагрузки в простейшем случае, когда два пункта сигнализации обслуживают вызовы абонентов ТфОП в связанном режиме сигнализации в нормальных условиях функционирования сети. Рассматривая два типа вызовов – телефонный вызов и вызов для передачи факса, будем считать, что доля вызовов 1-го типа составляет 70% от общего числа вызовов. На рис. 4.12 – 4.14 показаны диаграммы взаимодействия пунктов сигнали-

зации для трех состояний вызова: успешное установление соединения (отбой вызывающего абонента после ответа), вызываемый абонент занят и вызываемый абонент не отвечает. Другие возможные состояния вызова в примере не рассматриваются.

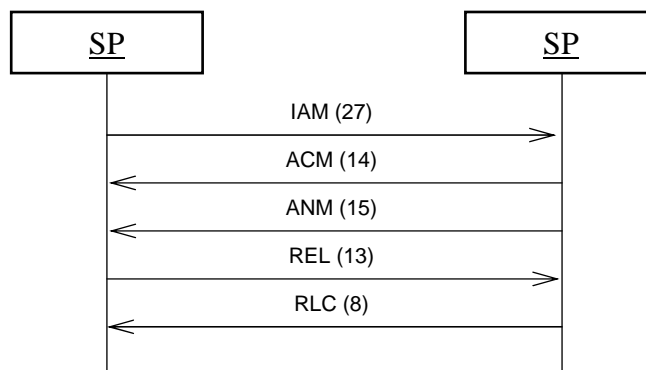


Рис. 4.12. Диаграмма взаимодействия для состояния вызова «успешное установление соединения»

На диаграммах показаны сигнальные сообщения подсистемы ISUP и длины ЗнСЕ, в составе которых передаются эти сообщения. Длины ЗнСЕ (указаны в байтах) выбраны типичными для вызовов при междугородной связи на ВСС России.

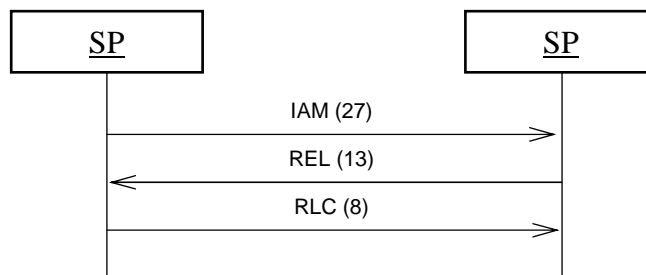


Рис. 4.13. Диаграмма взаимодействия для состояния вызова «вызываемый абонент занят»

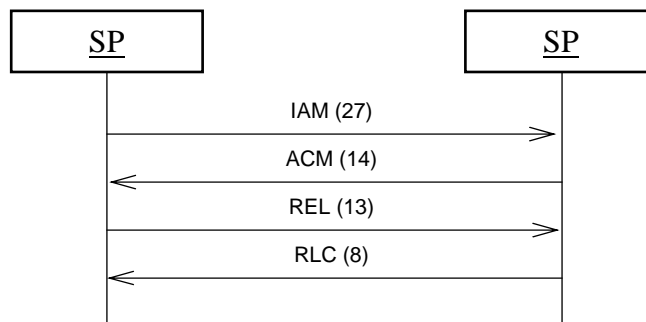


Рис. 4.14. Диаграмма взаимодействия для состояния вызова «вызывающий абонент не отвечает»

Примем, что успешное установление соединения, закончившегося разговором (передачей факса), происходит в 65% случаев (факс – в 90% случаев). Вызывающий абонент оказывается занятым в 15% случаев (факс – 10%), а в 20% случаев вызываемый абонент не отвечает (вызываемый аппарат факса работает в автоматическом режиме). Среднее время разговора примем равным 4 минутам, а среднее время передача факса – 1 минуте. Временем ожидания ответа абонента будем пренебрегать. В таблице 4.19 показаны все необходимые для дальнейших расчетов значения параметров.

Нетрудно убедиться, что  $L' + L'' = 71$  байт,  $T^{(1)} = 186$  с, и, следовательно, коэффициент пересчета информационной нагрузки в сигнальную нагрузку подсистемы ISUP принимает значение  $K = 0,477 \cdot 10^{-4}$ .

Заметим, что величина  $A$  информационной нагрузки может быть рассчитана по формуле

$$A = A_y \cdot m,$$

где  $m$  – число информационных каналов, обслуживаемых в направлении вторичной сети данным сигнальным отношением,  $A_y$  – удельная информационная нагрузка. Тогда для рас-

чета величины сигнальной нагрузки подсистемы ISUP может быть использована формула

$$a_{ISUP} = K \cdot A_y \cdot m.$$

Таблица 4.19

Параметр	Значение параметра				
$M$	2				
$P_i$	Телефонный вызов	0,7			
	Факс	0,3			
$T_i$	Телефонный вызов	240 (с)			
	Факс	60 (с)			
$K_i$	Телефонный вызов	3			
	Факс	2			
$q_{ij}$		Телефонный вызов	Факс		
	Соединение	0,65	0,9		
	Абонент занят	0,15	0,1		
	Абонент не отвечает	0,2	-		
$L_{ij}$		$L'_{ij}$	$L''_{ij}$	$L'_{ij}$	$L''_{ij}$
	Соединение	40	37	40	37
	Абонент занят	35	13	35	13
	Абонент не отвечает	40	22	-	-

Если сигнальная взаимосвязь обслуживает только нагрузку подсистемы ISUP, то должно выполняться неравенство  $K \cdot A_y \cdot m \leq 0,2$ , т.е.

$$m \leq \frac{0,2}{K \cdot A_y}.$$

Примем, что  $A_y = 0,8$  Эрл, и тогда в рассматриваемом нами примере получаем, что  $m \leq 5241$  (каналов). Это означает, что теоретически одно ЗС в условиях отсутствия нагрузки подсистемы SССР может обслужить до 5220 каналов вторичной

сети в отсутствие ошибок функционирования сети ОКС 7.

Продолжим рассмотрение примера и предположим, что по пучку ЗС, обслуживающего данную сигнальную взаимосвязь, кроме сигнального трафика подсистемы ISUP, пропускается также трафик подсистемы SCCP. Требуется оценить максимально допустимый объем этого трафика в зависимости от емкости пучка ЗС. Предположим, что по пучку ЗС пропускается 0,2 Эрл сигнальной нагрузки подсистемы ISUP (максимально возможное значение нагрузки на одном ЗС). Рассмотрим два случая: когда средняя длина ЗнСЕ, в которых передаются сигнальные сообщения подсистемы SCCP, составляют 150 байт и 279 байт. В таблицах 4.20 и 4.21 приведены результаты расчета величины  $\lambda_{SCCP}^{\max}(n)$  для первого и второго случаев соответственно. Если считать, что на взаимодействие с базой данных с использованием транзакционных возможностей ОКС 7 требуется передать 4 ЗнСЕ (см., например, рис. 2.20), тогда максимальное число таких взаимодействий будет равно 41 взаимодействию в секунду для таблицы 4.20 и 80 взаимодействиям в секунду – для таблицы 4.21.

Таблица 4.20

Число ЗС в пучке $n$	$\lambda_{SCCP}^{\max}(n)$ (ЗнСЕ/с, длина ЗнСЕ 150 байт)	
	Разделение нагрузки по 4 битам поля СЗС	Разделение нагрузки по 3 битам поля СЗС
1	0	0
2	10,7	10,7
3	17,8	17,8
4	32	32
5	32	32
6	46,2	32
7	46,2	32

Таблица 4.20 (продолжение)

8	74,7	74,7
9	74,7	см. примечание
10	74,7	— // —
11	74,7	— // —
12	74,7	— // —
13	74,7	— // —
14	74,7	— // —
15	74,7	— // —
16	160,0	— // —

Таблица 4.21

Число ЗС в пучке $n$	$\lambda_{SCCP}^{\max}(n)$ (ЗнСЕ/сек., длина ЗнСЕ 279 байт)	
	Разделение нагрузки по 4 битам поля СЗС	Разделение нагрузки по 3 битам поля СЗС
1	0	0
2	5,7	5,7
3	9,6	9,6
4	17,2	17,2
5	17,2	17,2
6	24,9	17,2
7	24,9	17,2
8	40,1	40,1
9	40,1	см. примечание
10	40,1	— // —
11	40,1	— // —
12	40,1	— // —
13	40,1	— // —
14	40,1	— // —
15	40,1	— // —
16	86,0	— // —

*Примечание.* При разделения сигнальной нагрузки по 3 битам поля SLS может быть использовано не более 8 звеньев в одном пучке ЗС.

## ГЛАВА 5

### МЕТОДЫ АНАЛИЗА ЗАДЕРЖЕК СИГНАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ В СЕТИ ОКС 7

#### 5.1. Предварительные замечания

В процессе планирования сети перед проектировщиком возникает ряд задач, при решении которых ему потребуется прийти к некоторому компромиссу между различного рода проектными ограничениями и требованиями к показателям качества функционирования ОКС 7. Например, при расчете емкости пучков ЗС возникает вопрос, в какой мере и следует ли вообще принимать во внимание требования к функционированию сети в условиях различного рода отказов и перегрузок. В случае принятия этих требований, скорее всего, будет получен результат, который войдет в противоречие с заданными ограничениями на структуру сети ОКС 7. Это объясняется тем, что отказы и перегрузки в сети ОКС 7 носят, как правило, кратковременный характер и поэтому в расчетах придется учитывать нестационарный режим функционирования сети. Очевидно, что в таких условиях будет получен результат, избыточный по отношению к исходным ограничениям. В лучшем случае потребуется избыточная емкость пучков ЗС, а в худшем случае, с целью организации дополнительных альтернативных маршрутов придется вводить в структуру сети дополнительные пункты сигнализации, например выделенные STP. В обоих случаях принятый подход к проектированию сети может привести к экономически нецелесообразному решению.

Следует отметить, что для достижения упомянутого компромисса, помимо решений, которые могут быть приняты чисто «волевым» способом, проектировщику так или иначе придется решать и ряд содержательных задач анализа показателей качества функционирования ОКС 7. Вопрос заключается в том, в каком объеме и на базе каких методов бу-



дет осуществлен этот анализ. Известно (см., например [81]), что при среднесрочном планировании не следует проводить анализ показателей качества в предположении о нестационарном режиме функционирования сети, а также принимать во внимание возможные отказы и перегрузки элементов сети ОКС 7. Это мотивировано в том числе тем, что даже в предположении о стационарном режиме для анализа сети потребуются весьма сложные математические модели либо методы имитационного моделирования.

Читатель, заинтересованный в комплексных методах анализа показателей качества ОКС 7, может обратиться к известным работам [74-76, 81], где также имеется наиболее полный список зарубежных источников по этому вопросу. В данной книге ограничимся изложением методов анализа задержек сигнальной информации в сети ОКС 7, которые основаны на результатах работ [91,92,95,97], полученных для случая, когда в ЗС применяется базовый метод исправления ошибок. Заметим, что метод оценки задержек сигнальных сообщений на маршрутах сети ОКС 7 (см. раздел 5.3) применим и в случае исправления ошибок с использованием метода РСР. Для этого достаточно воспользоваться моделью, предложенной в [72], и соответствующим этой модели методом из рекомендации Q. 706 [7].

## **5.2. Метод расчета задержек в звене сигнализации**

### **5.2.1. Математическая модель**

При построении модели необходимо учесть особенности передачи СЕ при базовом методе исправления ошибок (далее – метод ВЕС). Напомним, что в ОКС 7 различают три типа СЕ: ЗнСЕ, ЗСЕ и СЕ состояния звена (СЕСЗ). При обнаружении ошибок ЗнСЕ передаются повторно, а ЗСЕ и СЕСЗ не повторяются, кроме того, ЗСЕ передаются только в том случае, когда в ЗС нет других СЕ для передачи. Поскольку СЕСЗ используются только в целях управления функциони-

рованием ЗС, при построении модели они учитываться не будут.

В качестве модели функционирования ЗС рассмотрим [91] однолинейную систему массового обслуживания (СМО) типа  $M, B|G, G|1|\infty|f_1^0$ , состоящую из одного обслуживающего прибора, накопителя неограниченной емкости и бункера (рис. 5.1). На систему с интенсивностью  $\lambda$  поступает пуассоновский поток заявок типа 1 (1-заявки), которые соответствуют ЗнСЕ. Из бункера с неограниченным запасом заявок на прибор могут поступать только заявки типа 2 (2-заявки), которые соответствуют ЗСЕ. Поступление 2-заявок на прибор происходит только в том случае, если в момент окончания обслуживания заявки любого типа в системе нет 1-заявок. Предполагается, что обслуживание 1-заявок и 2-заявок производится по произвольному закону с функциями распределения (ФР)  $B(x)$  и  $F(x)$  соответственно. Функция распределения  $B(x)$  описывает процесс обслуживания ЗнСЕ с учетом повторных передач, а ФР  $F(x)$  – процесс обслуживания ЗСЕ.

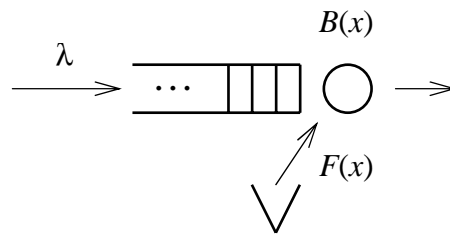


Рис. 5.1. Модель ЗС при базовом методе исправления ошибок

В данном разделе предложенная модель анализируется в общем виде, а в следующем разделе вид функций  $B(x)$  и

$F(x)$  конкретизируется с учетом особенностей метода ВЕС, для чего вводится понятие виртуального времени обслуживания (ВВО) значащих СЕ.

Для анализа модели и получения ее основных вероятностно-временных характеристик (ВВХ) введем случайные процессы (СП)  $\xi(t)$ : число 1-заявок в СМО и  $X(t)$  – число 1-заявок в очереди в момент времени  $t \geq 0$ . Для этих СП введем вероятностные распределения:

$$p_j = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{X(t) = j\}, \quad j \geq 0,$$

$$q_j = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{\xi(t_n^q + 0) = j\}, \quad j \geq 0,$$

$$h_j = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{\xi(t_n^h + 0) = j\}, \quad j \geq 0,$$

где  $t_n^q$  является  $n$ -ым моментом окончания обслуживания заявки любого типа, а  $t_n^h$  – моментом окончания обслуживания 1-заявки. То есть распределения  $\{q_j, j \geq 0\}$  и  $\{h_j, j \geq 0\}$  являются распределениями вложенных цепей Маркова.

Производящие функции (ПФ) рассматриваемых распределений будем обозначать заглавными латинскими буквами  $P(z)$ ,  $Q(z)$  и  $H(z)$  соответственно. Например,

$$P(z) = \sum_{j \geq 0} p_j z^j, \quad |z| \leq 1.$$

Функции распределения времени ожидания начала обслуживания и времени пребывания в СМО 1-заявок обозначим  $W(x)$  и  $V(x)$  соответственно. Для обозначения преобразования Лапласа – Стильеса (ПЛС) функций распределения  $B(x)$ ,  $F(x)$ ,  $W(x)$  и  $V(x)$  будем использовать соответствующие малые греческие или

латинские буквы:  $\beta(s)$ ,  $\varphi(s)$ ,  $\omega(s)$ ,  $\nu(s)$ . Например, выражение ПЛС ФР  $B(x)$  имеет вид

$$\nu(s) = \int_0^{\infty} e^{-sx} dV(x), \quad s \geq 0.$$

Моменты распределений будем обозначать с помощью тех же букв с соответствующим индексом, т.е.  $\beta_i$ ,  $\varphi_i$ ,  $\omega_i$ ,  $\nu_i$  являются  $i$ -ми начальными моментами ФР  $B(x)$ ,  $F(x)$ ,  $W(x)$  и  $V(x)$  соответственно. Например,

$$\nu_i = \int_0^{\infty} x^i dV(x), \quad i \geq 1.$$

Введем также величину  $\rho$  интенсивности нагрузки на систему и вероятность  $P_0$  того, что прибор СМО не занят обслуживанием 1-заявок, т.е.

$$\rho = \lambda\beta_1, \quad P_0 = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{\xi(t) = 0\}.$$

Сформулируем основные результаты, необходимые для анализа ВВХ системы, которые доказаны в [91] на основании фундаментальных теоретических методов анализа однолинейных СМО [31,32,34].

*Теорема 5.1.* Если  $\rho < 1$  и  $\varphi_1 < \infty$ , то производящая функция  $Q(z)$  распределения  $\{q_j, j \geq 0\}$  имеет вид

$$Q(z) = q_0 \frac{\beta(\lambda - \lambda z) - z\varphi(\lambda - \lambda z)}{\beta(\lambda - \lambda z) - z}, \quad |z| \leq 1,$$

где

$$q_0 = \frac{1 - \rho}{1 - \rho + \lambda\varphi_1}. \quad (5.1)$$

Если  $\rho \geq 1$ , то  $Q(z) \equiv 0$ .

Доказательство теоремы следует из результатов работ [32,34].

Теорема 5.2. Если  $\rho < 1$  и  $\varphi_1 < \infty$ , то производящая функция  $P(z)$  распределения  $\{p_j, j \geq 0\}$  имеет вид

$$P(z) = P_0 \frac{1 - \varphi(\lambda - \lambda z)}{\lambda \varphi_1 (\beta(\lambda - \lambda z) - z)}, \quad |z| \leq 1,$$

где

$$P_0 = 1 - \rho. \quad (5.2)$$

Если  $\rho \geq 1$ , то  $P(z) \equiv 0$ .

Теорема доказана в [91].

Теорема 5.3. Если  $\rho < 1$  и  $\varphi_1 < \infty$ , то производящая функция  $H(z)$  распределения  $\{h_j, j \geq 0\}$  имеет вид

$$H(z) = \frac{(1 - \rho)(1 - \varphi(\lambda - \lambda z))}{\lambda \varphi_1 (\beta(\lambda - \lambda z) - z)} \beta(\lambda - \lambda z), \quad |z| \leq 1,$$

а функция распределения времени ожидания  $W(x)$  определяется из соотношения

$$\omega(\lambda - \lambda z) = \frac{(1 - \rho)(1 - \varphi(\lambda - \lambda z))}{\lambda \varphi_1 (\beta(\lambda - \lambda z) - z)}, \quad |z| \leq 1.$$

Если  $\rho \geq 1$ , то  $H(z) \equiv 0$  и  $W(x) \equiv 0$ .

Доказательство теоремы следует из теорем 5.1, 5.2 и результатов работ [32,34].

Следствие 5.1. Если  $\rho < 1$  и  $\varphi_1 < \infty$ , то ПЛС функции распределения времени ожидания  $\omega(s)$  и ПЛС функции

распределения времени пребывания  $v(s)$  1-заявок в СМО  $M, B|G, G|1$  имеют вид

$$\omega(s) = \frac{(1-\rho)(1-\varphi(s))}{\varphi_1(\lambda\beta(s)-\lambda+s)}; \quad (5.3)$$

$$v(s) = \omega(s)\beta(s).$$

Из следствия теоремы 5.3 известным способом получаем начальные моменты интересующих нас временных характеристик.

Два первых начальных момента времени ожидания 1-заявок в очереди имеют вид

$$\omega_1 = \frac{\lambda\beta_2}{2(1-\lambda\beta_1)} + \frac{\varphi_2}{2\varphi_1}; \quad (5.4)$$

$$\omega_2 = \frac{\lambda\beta_3}{3(1-\lambda\beta_1)} + \frac{\varphi_3}{3\varphi_1} + \frac{\varphi_2}{2\varphi_1} \times \frac{\lambda\beta_2}{1-\lambda\beta_1} + \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda\beta_2}{1-\lambda\beta_1} \right)^2. \quad (5.5)$$

Два первых начальных момента времени пребывания 1-заявок в системе имеют вид

$$v_1 = \frac{\lambda\beta_2}{2(1-\lambda\beta_1)} + \frac{\varphi_2}{2\varphi_1} + \beta_1; \quad (5.6)$$

$$v_2 = \frac{\lambda\beta_3}{3(1-\lambda\beta_1)} + \frac{\varphi_3}{3\varphi_1} + \frac{\varphi_2}{2\varphi_1} \times \frac{\lambda\beta_2}{1-\lambda\beta_1} + \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda\beta_2}{1-\lambda\beta_1} \right)^2 + \frac{\beta_1\varphi_2}{\varphi_1} + \frac{\lambda\beta_1\beta_2}{1-\lambda\beta_1} + \beta_2. \quad (5.7)$$

В дальнейшем нам также понадобится еще одна важная характеристика системы, а именно квантиль ФР  $V(x)$ . Заметим, что квантилью уровня  $\alpha$  называется число  $k^\alpha$ , такое что

$$V(k^\alpha) = \alpha. \quad (5.8)$$

Для нахождения квантили  $k^\alpha$  требуется решить уравнение (5.8), для чего, в свою очередь, необходимо иметь явный вид ФР  $V(x)$ . В ряде случаев решение этой задачи может быть основано на следующей теореме.

*Теорема 5.4.* Если  $\rho < 1$ ,  $\varphi_1 < +\infty$  и функция  $\beta(s)$  такова, что уравнение

$$s - \lambda + \lambda\beta(s) = 0 \quad (5.9)$$

имеет, кроме нулевого,  $J$  отрицательных корней, то функция распределения  $V(x)$  имеет вид

$$V(x) = 1 + \frac{(1-\rho)}{\varphi_1} \times \sum_{j=1}^J \frac{e^{s_j x} (1 - \varphi(s_j)) \beta(s_j)}{s_j (1 + \lambda\beta'(s_j))}, \quad x > 0.$$

Доказательство теоремы можно получить на основании работы [95].

Для применения сформулированных выше теоретических результатов необходимо иметь конкретный вид функций  $B(x)$  и  $F(x)$ , который определяется в следующем разделе путем анализа процесса обслуживания ЗнСЕ и ЗСЕ при методе ВЕС.

### 5.2.2. Виртуальное время обслуживания сигнальных единиц

Виртуальное время обслуживания (ВВО) значащей СЕ – это случайный временной интервал, начинающийся в момент начала первой передачи и заканчивающийся в момент окончания успешной передачи данной ЗнСЕ. Этот интервал включает все задержки, вызванные повторными передачами ЗнСЕ в случае возникновения ошибок. Понятие ВВО введено в руководстве МСЭ-Т по использованию рекомендации Q.706 [149], а в данной книге это понятие уточнено

[113,120] и строго обосновано с математической точки зрения.

Введем случайную величину  $T_{vir}$ , соответствующую виртуальному времени обслуживания ЗнСЕ. Задача состоит в нахождении функции распределения  $T_{vir}(x)$  СВ  $T_{vir}$ .

Обозначим  $T_M$  СВ времени передачи ЗнСЕ,  $g$  вероятность ошибочной передачи ЗнСЕ и  $T_L$  СВ времени от момента окончания передачи искаженной ЗнСЕ до начала ее повторной передачи. Процесс обслуживания ЗнСЕ в ЗС с учетом повторных передач схематически изображен на рис. 5.2.

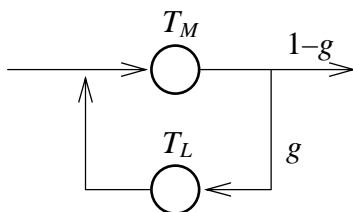


Рис. 5.2. Схема виртуального времени обслуживания ЗнСЕ

На рис. 5.3 изображена временная диаграмма передачи ЗнСЕ, учитывающая как случай передачи без ошибок (число ретрансляций  $n=0$ ), так и возможность многократной ретрансляции ЗнСЕ вследствие ошибочных передач ( $n>0$ ). На рис. 5.3 отрезки, соответствующие передаче ЗнСЕ с ошибкой, перечеркнуты двойными линиями. Точки  $t_i$  на оси времени  $t$  соответствуют моментам окончания  $i$ -ой передачи ЗнСЕ,  $i=\overline{1, n+1}$ . Заметим, что если ошибки отсутствуют ( $g=0$ ), то ВВО ЗнСЕ равно времени ее передачи (отрезок  $[0, t_1]$  на рис. 5.3), т.е.  $T_{vir}=T_M$ .

Из изложенного выше следует, что каждая последующая ретрансляция ЗнСЕ, происходящая с вероятностью  $g$ ,



увеличивает ее ВВО на случайное время  $T_L + T_M$ . Поэтому СВ  $T_{vir}$  можно представить в виде

$$T_{vir} = T_M + N(T_L + T_M),$$

где  $N$  является СВ числа ретрансляций ЗнСЕ и имеет геометрическое распределение с параметром  $g$ .

Заметим, что первые три начальных момента СВ  $N$  имеют вид

$$N^{(1)} = \frac{g}{1-g}, \quad N^{(2)} = \frac{g(1+g)}{(1-g)^2}, \quad N^{(3)} = \frac{g(1+4g+g^2)}{(1-g)^3}.$$

Обозначим  $T_M(x)$  и  $T_L(x)$  функции распределения СВ  $T_M$  и  $T_L$  соответственно, а  $\tau_M(s)$  и  $\tau_L(s)$  – ПЛС этих ФР. Очевидно, что если СВ  $T_M$  и  $T_L$  независимы, то ПЛС  $\tau_{vir}(s)$  функции распределения  $T_{vir}(x)$  имеет вид

$$\tau_{vir}(s) = (1-g) \sum_{n \geq 0} g^n \tau_M((n+1)s) \tau_L(ns). \quad (5.10)$$

Нетрудно также убедиться, что первые три начальных момента СВ  $T_{vir}$  определяются по формулам (5.11) – (5.13)

$$T_{vir}^{(1)} = T_M^{(1)} \frac{1}{1-g} + T_L^{(1)} \frac{g}{1-g}; \quad (5.11)$$

$$T_{vir}^{(2)} = T_M^{(2)} \left( \frac{g(1+g)}{(1-g)^2} + \frac{2g}{1-g} + 1 \right) + 2T_L^{(1)} T_M^{(1)} \left( \frac{g(1+g)}{(1-g)^2} + \frac{g}{1-g} \right) + T_L^{(2)} \frac{g(1+g)}{(1-g)^2}; \quad (5.12)$$

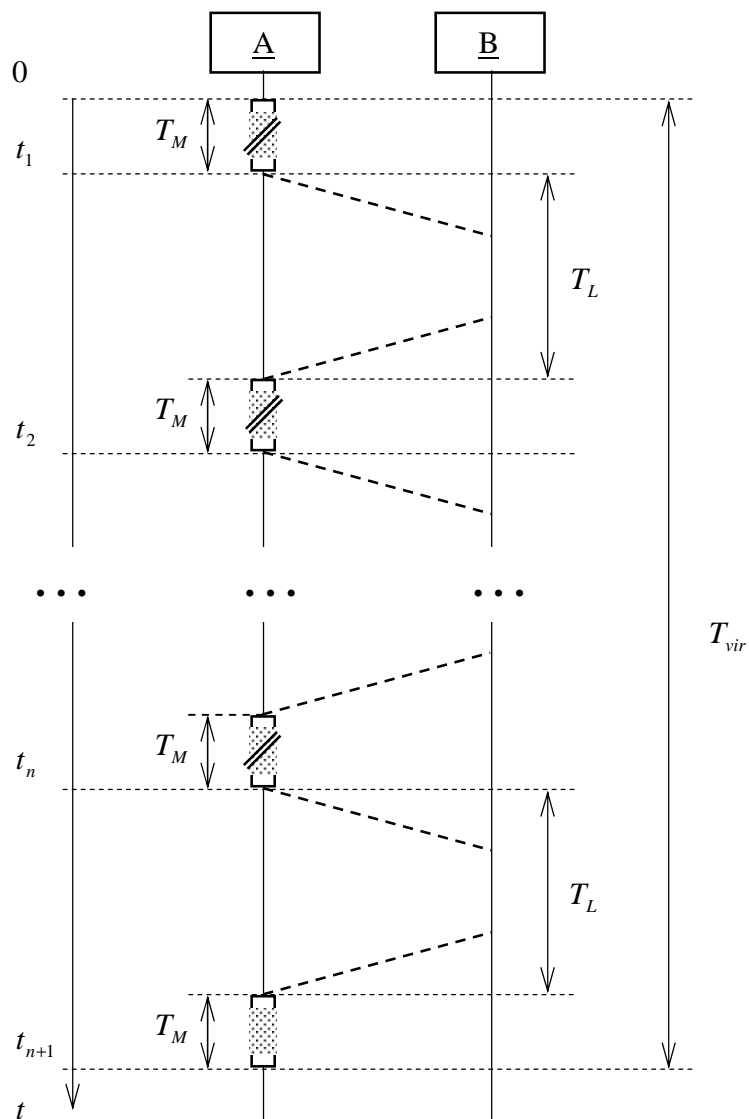


Рис. 5.3. Временная диаграмма передачи ЗнСЕ с  $n$  ретрансляциями (А – передающая, В – принимающая сторона ЗС)

$$\begin{aligned}
T_{vir}^{(3)} = & T_M^{(3)} \left( \frac{g(1+4g+g^2)}{(1-g)^3} + \frac{3g(1+g)}{(1-g)^2} + \frac{3g}{1-g} + 1 \right) + \\
& + 3T_M^{(2)} T_L^{(1)} \left( \frac{g(1+4g+g^2)}{(1-g)^3} + \frac{2g(1+g)}{(1-g)^2} + \frac{g}{1-g} \right) + \\
& + 3T_M^{(1)} T_L^{(2)} \left( \frac{g(1+4g+g^2)}{(1-g)^3} + \frac{g(1+g)}{(1-g)^2} \right) + \\
& + T_L^{(3)} \frac{g(1+4g+g^2)}{(1-g)^3}. \tag{5.13}
\end{aligned}$$

Таким образом, для нахождения ФР  $T_{vir}(x)$  (или ее ПЛС  $\tau_{vir}(s)$ ) необходимо найти ФР  $T_M(x)$  и  $T_L(x)$  (или их ПЛС). Вид функции  $T_M(x)$  зависит от моделей сигнального трафика, которые будут введены в разделе 5.2.3 в соответствии с рекомендацией Q.706.

Для нахождения ФР  $T_L(x)$  рассмотрим более детально процесс ретрансляции ЗнСЕ вследствие ее ошибочной передачи. На временной диаграмме рис. 5.4 показана СВ  $T_L$  и все составляющие ее случайные величины. На рисунке используются следующие обозначения:

$K$  – постоянная величина времени распространения сигнала в петле связи, включающая время обработки в конечном оборудовании ЗС;

$T_{res}$  – случайная величина остаточного времени передачи СЕ (ЗнСЕ либо ЗСЕ);

$T_{SU}$  – случайная величина времени передачи СЕ.

Из рис. 5.4 видно, что СВ  $T_L$  можно представить в виде

$$T_L = K + T_{SU} + 2T_{res},$$

причем СВ  $T_{SU}$  и  $T_{res}$  являются независимыми случайными величинами. Следовательно, ПЛС  $\tau_L(s)$  имеет вид

$$\tau_L(s) = e^{-sK} \tau_{SU}(s) (\tau_{res}(s))^2, \quad (5.14)$$

где  $\tau_{SU}(s)$  и  $\tau_{res}(s)$  являются ПЛС ФР случайных величин  $T_{SU}$  и  $T_{res}$  соответственно.

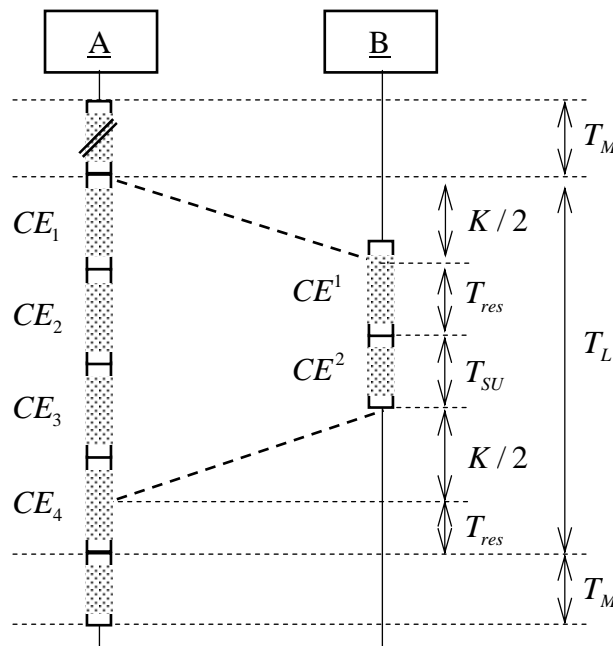


Рис. 5.4. Случайная величина  $T_L$  и ее составляющие

Обозначим  $T_m = T_M^{(1)}$  среднее время передачи ЗнСЕ (см. также раздел 4.4.1),  $a = \lambda T_m$  интенсивность нагрузки ЗнСЕ в отсутствие ошибок и  $T_f$  время передачи ЗСЕ. Заметим, что время передачи ЗСЕ является постоянной величиной, поэтому при анализе функционирования ЗС в формулах раздела 5.2.1 можно принять

$$\varphi(s) = e^{-sT_f}, \quad \varphi_i = T_f^i, \quad i \geq 1.$$

Обозначим  $\gamma$  относительную частоту передачи ЗнСЕ, тогда величина  $\bar{\gamma} = 1 - \gamma$  является относительной частотой передачи ЗСЕ. Поскольку с вероятностью  $\gamma$  СЕ является ЗнСЕ, а с вероятностью  $\bar{\gamma}$  – ЗСЕ, то имеем

$$\tau_{SU}(s) = \gamma \tau_M(s) + \bar{\gamma} e^{-sT_f} \quad (5.15)$$

Величина  $\bar{\gamma}$  соответствует вероятности того, что в СМО  $M, B|G, G|1$  в момент окончания обслуживания заявки любого типа нет 1-заявок. Тогда с учетом введенных ранее обозначений из формулы (5.1) получаем

$$\gamma = \frac{aT_f}{(1-a)T_m + aT_f} \quad (5.16)$$

Для нахождения ПЛС  $\tau_{res}(s)$ , необходимо определить вероятность того, что в ЗС в некоторый момент времени передается ЗСЕ. В СМО  $M, B|G, G|1$  этой вероятности соответствует вероятность  $P_0$  того, что прибор не занят обслуживанием заявок основного потока, см. формулу (5.2). Учитывая этот факт, а также результаты, известные из теории процессов восстановления [148], получаем

$$\tau_{res}(s) = (1-a) \frac{1 - e^{-sT_f}}{sT_f} + a \frac{1 - \tau_M(s)}{sT_m} \quad (5.17)$$

Подставив формулы (5.15) – (5.17) в формулу (5.14), можно получить явное выражение для  $\tau_L(s)$ , из которого выводятся формулы для начальных моментов ФР  $T_L(x)$ , а именно:

$$T_L^{(1)} = K + \gamma T_m + (1-\gamma)T_f + a \frac{T_M^{(2)}}{T_m} + (1-a)T_f; \quad (5.18)$$

$$\begin{aligned}
T_L^{(2)} = & K^2 + 2K(\gamma T_m + (1-\gamma)T_f) + \gamma T_M^{(2)} + (1-\gamma)T_f^2 + \\
& + 2(K + \gamma T_m + (1-\gamma)T_f) \left( a \frac{T_M^{(2)}}{T_m} + (1-a)T_f \right) + \\
& + \frac{1}{2} \left( a \frac{T_M^{(2)}}{T_m} + (1-a)T_f \right)^2 + \frac{2}{3} \left( a \frac{T_M^{(3)}}{T_m} + (1-a)T_f^2 \right); \quad (5.19)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
T_L^{(3)} = & K^3 + 3K^2(\gamma T_m + (1-\gamma)T_f) + \\
& + 3K(\gamma T_M^{(2)} + (1-\gamma)T_f^2) + \gamma T_M^{(3)} + (1-\gamma)T_f^3 + \\
& + 3(K^2 + 2K(\gamma T_m + (1-\gamma)T_f) + \gamma T_M^{(2)} + (1-\gamma)T_f^2) \times \\
& \quad \times \left( a \frac{T_M^{(2)}}{T_m} + (1-a)T_f \right) + \\
& + 3(K + \gamma T_m + (1-\gamma)T_f) \times \\
& \quad \times \left( \frac{1}{2} \left( a \frac{T_M^{(2)}}{T_m} + (1-a)T_f \right)^2 + \frac{2}{3} \left( a \frac{T_M^{(3)}}{T_m} + (1-a)T_f^2 \right) \right) + \\
& + \left( a \frac{T_M^{(2)}}{T_m} + (1-a)T_f \right) \left( a \frac{T_M^{(3)}}{T_m} + (1-a)T_f^2 \right) + \\
& \quad + \frac{1}{2} \left( a \frac{T_M^{(4)}}{T_m} + (1-a)T_f^3 \right). \quad (5.20)
\end{aligned}$$

Таким образом, ФР  $T_{vir}(x)$  построена и определяется формулами (5.10), (5.14) – (5.17), а ее первые три начальные момента  $T_{vir}^{(i)}$ ,  $i=1,2,3$  могут быть вычислены по формулам (5.11) – (5.13) и (5.18) – (5.20). Теперь анализ показателей качества функционирования ЗС можно проводить, используя результаты раздела 5.2.1, положив  $\beta(s) = \tau_{vir}(s)$  и  $\varphi(s) = e^{-sT_f}$ .

В следующем разделе получены характеристики задержек ЗнСЕ в ЗС в виде, применимом в инженерных расчетах в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т.

### 5.2.3. Характеристики задержек значащих сигнальных единиц

В рекомендациях МСЭ-Т [7,149] рассматриваются два основных типа задержек ЗнСЕ – задержка в очереди на передачу (queueing delay) и общая задержка в ЗС (outgoing link delay). Задержка ЗнСЕ в очереди на передачу представляет собой интервал времени, начиная с момента поступления ЗнСЕ в очередь и заканчивая моментом начала успешной (безошибочной) передачи. Обозначим  $T_d$  величину этого случайного интервала времени. Общая задержка ЗнСЕ (СВ  $T_{od}$ ) соответствует временному интервалу, начиная от момента поступления ЗнСЕ в очередь на передачу и заканчивая моментом окончания успешной передачи этой ЗнСЕ (см. также раздел 4.3.1). Поэтому эти две случайные величины связаны между собой соотношением

$$T_{od} = T_d + T_M. \quad (5.21)$$

В соответствии с рекомендацией Q.706 требуется найти математическое ожидание  $Q$  и дисперсию  $\sigma^2$  СВ  $T_d$  как в случае отсутствия ошибок в ЗС (величины  $Q_a$  и  $\sigma_a^2$ ), так и при их наличии (величины  $Q_t$  и  $\sigma_t^2$ ). Для СВ  $T_{od}$  должны быть найдены математическое ожидание  $T_{od}^{(1)}$  и квантиль  $T_{od}^{95\%}$  как в условиях наличия ошибок, так и при их отсутствии.

Для получения расчетных формул воспользуемся результатами, полученными в разделах 5.2.1 и 5.2.2, приняв, что в модели ЗС (СМО  $M, B|G, G|1$ )

$$B(x) = T_{vir}(x), \quad F(x) = U(x - T_f), \quad (5.22)$$

где  $U(x)$  – функция Хевисайда.

Обозначим  $a_{eff}$  величину сигнальной нагрузки при наличии ошибок ( $g > 0$ ) и заметим, что эта величина определяется по формуле

$$a_{eff} = \lambda T_{vir}^{(1)}. \quad (5.23)$$

В рекомендациях МСЭ-Т величина  $a_{eff}$  называется *эффективной нагрузкой* (effective load). Напомним (см. раздел 4.4.1), что величина

$$a = \lambda T_m$$

является величиной сигнальной нагрузки в отсутствие ошибок ( $g = 0$ ). Как правило, при вычислениях именно эта величина считается заданной, и тогда из формулы (5.23) при заданном значении величины  $T_m$  определяется величина  $\lambda$  интенсивности потока сигнального трафика.

Начнем с анализа задержек ЗнСЕ в очереди на передачу. При отсутствии ошибок в ЗС случайная величина  $T_d$  соответствует времени ожидания начала обслуживания в СМО  $M, B|G, G|1$ , т.е.

$$T_d(x) \Big|_{g=0} = W(x),$$

где  $T_d(x)$  является функцией распределения СВ  $T_d$ , а функция  $W(x)$  определена в теореме 5.3 раздела 5.2.1. Следовательно, искомые величины  $Q_a$  и  $\sigma_a^2$  определяются по формулам:

$$Q_a = \omega_1, \\ \sigma_a^2 = \omega_2 - \omega_1^2,$$

где  $\omega_1$  и  $\omega_2$  рассчитываются по формулам (5.4) и (5.5) с учетом (5.22).



При наличии ошибок в ЗС из (5.21) следует, что математическое ожидание  $Q_t$  и дисперсия  $\sigma_t^2$  СВ  $T_d$  имеют вид

$$Q_t = v_1 - T_m ,$$

$$\sigma_t^2 = v_2 - v_1^2 + (T_m)^2 - T_M^{(2)} ,$$

где  $v_1$  и  $v_2$  рассчитываются по формулам (5.6) и (5.7) с учетом (5.22).

Теперь путем несложных алгебраических выкладок, можно получить формулы, пригодные для вычислений:

$$Q_a = \frac{1}{2} \left( T_f + \frac{a}{1-a} \times \frac{T_M^{(2)}}{T_m} \right) ; \quad (5.24)$$

$$\sigma_a^2 = \frac{T_f^2}{12} + \frac{1}{4} \times \left( \frac{a}{1-a} \times \frac{T_M^{(2)}}{T_m} \right)^2 + \frac{1}{3} \times \frac{a}{1-a} \times \frac{T_M^{(3)}}{T_m} ; \quad (5.25)$$

$$Q_t = \frac{1}{2} \left( T_f + \frac{a_{eff}}{1-a_{eff}} \times \frac{T_{vir}^{(2)}}{T_{vir}^{(1)}} \right) + T_{vir}^{(1)} - T_m ; \quad (5.26)$$

$$\begin{aligned} \sigma_t^2 = & \frac{T_f^2}{12} + \frac{1}{4} \times \left( \frac{a_{eff}}{1-a_{eff}} \times \frac{T_{vir}^{(2)}}{T_{vir}^{(1)}} \right)^2 + \frac{1}{3} \times \frac{a_{eff}}{1-a_{eff}} \times \frac{T_{vir}^{(3)}}{T_{vir}^{(1)}} + \\ & + T_{vir}^{(2)} - (T_{vir}^{(1)})^2 + (T_m)^2 - T_M^{(2)}. \end{aligned} \quad (5.27)$$

Перейдем к анализу характеристик СВ  $T_{od}$  и ее ФР  $T_{od}(x)$ . Случайная величина  $T_{od}$  соответствует времени пребывания 1-заявок в СМО  $M, B|G, G|1$ , т.е.  $T_{od}(x) = V(x)$ , а функция  $V(x)$  определена в теореме 5.3 раздела 5.1.1. В соответствии с рекомендацией Q.706 требуется найти первый начальный момент и соответствующую квантиль СВ  $T_{od}$ , т.е.  $T_{od}^{95\%}$ .

При отсутствии ошибок в ЗС ( $g = 0$ ) математическое ожидание  $T_{od}^{(1)}$  СВ  $T_{od}$  рассчитывается по формуле

$$T_{od}^{(1)} \Big|_{g=0} = Q_a + T_m, \quad (5.28)$$

а при наличии ошибок ( $g > 0$ ) – по формуле

$$T_{od}^{(1)} \Big|_{g>0} = Q_t + T_m. \quad (5.29)$$

Нахождение квантили  $T_{od}^{95\%}$  является нетривиальной задачей и в общем случае не имеет явного аналитического решения. В рекомендации Q.706 предложена приближенная формула для оценки квантили, которая основана на том, что для некоторой СВ  $\xi$  с математическим ожиданием  $m_\xi$  и дисперсией  $\sigma_\xi^2$  ее функция распределения может быть определена по приближенной формуле

$$F_\xi(x) \approx 1 - \exp\left(-\frac{x - m_\xi + \sigma_\xi}{\sigma_\xi}\right). \quad (5.30)$$

Нетрудно убедиться, что, решая уравнение

$$F_\xi(k^{95\%}) = 0,95,$$

где  $F_\xi(x)$  определена правой частью приведенной выше формулы (5.30), имеем

$$k^{95\%} = m_\xi + 2\sigma_\xi. \quad (5.31)$$

Далее в методе МСЭ-Т предполагается, что СВ  $T_d$  имеет распределение вида (5.30), т.е.

$$T_d(x) \approx 1 - \exp\left(-\frac{x - Q_t + \sigma_t}{\sigma_t}\right),$$

что влечет за собой формулу для вычисления искомой квантили  $T_d^{95\%}$  в виде

$$T_d^{95\%} \approx Q_t + 2\sigma_t. \quad (5.32)$$

Если предположить, что и СВ  $T_M$  имеет распределение вида (5.30), то в силу (5.21) можно получить приближенную формулу для оценки квантили СВ  $T_{od}$  :

$$T_{od}^{95\%} \approx Q_i + T_m + \sqrt{\sigma_i^2 + DT_M}, \quad (5.33)$$

где  $DT_M$  является дисперсией СВ  $T_M$ .

В разделе, посвященном численному анализу, будет дана оценка погрешности этого приближенного метода для некоторых частных случаев.

### 5.3. Метод оценки среднего значения маршрутной задержки

Характеристики задержек сигнальных сообщений на маршрутах сети ОКС 7 относятся к интегральным показателям качества подсистемы МТР. Далее для краткости изложения будем также использовать термин *маршрутная задержка*, понимая под ним СВ  $T_o$ , определенную в разделе 4.3.1 книги (см. рис. 4.5). В настоящее время отсутствуют методы анализа маршрутных задержек, которые дают возможность получить их характеристики в аналитическом виде или, по крайней мере, рассчитать эти характеристики с помощью эффективных вычислительных алгоритмов. В отсутствие аналитических и численных методов может быть использован метод имитационного моделирования, который автор не стал бы рекомендовать для применения при планировании сети ОКС 7 ввиду больших временных затрат и размерности решаемой задачи. В данном разделе книги предлагается простой инженерный способ оценки среднего значения СВ  $T_o$ , с помощью которого проектировщик может осуществить анализ маршрутных задержек, не прибегая к сложным имитационным и аналитическим методам. Рассматриваемый ниже метод основан на результатах работ [102,109,119,], где решалась задача оценки среднего времени установления соединения в ЦСИС и в ИСС. В [109] полученные результаты чис-

ленного анализа сравнивались с результатами работы [81], где та же характеристика была получена с помощью специально разработанных методов и средств имитационного моделирования. Сравнение двух методов дало положительный в целом результат, и поэтому метод был рекомендован для применения в упрощенных инженерных расчетах. В данном разделе метод оценки маршрутных задержек уточняется, приводится к принятым в рекомендациях МСЭ-Т обозначениям и позволяет с единых позиций использовать результаты предыдущих разделов данной главы.

Рассмотрим СВ  $T_o$  времени задержек сигнальных сообщений на маршруте, функциональная схема которого изображена на рис. 4.5. Очевидно, что данная СВ связана со случайными величинами  $T_{ms}$ ,  $T_{mr}$ ,  $T_{cs}(i)$  и  $T_p(i)$  следующей формулой:

$$T_o = T_{ms} + \sum_{i=1}^n T_{cs}(i) + \sum_{i=1}^{n+1} T_p(i) + T_{mr} . \quad (5.34)$$

Поскольку СВ  $T_{cs}$  представима (см. рис. 4.7) в виде

$$T_{cs} = T_{ph} + T_{od} ,$$

то формула (5.34) преобразуется к виду

$$T_o = T_{ms} + \sum_{i=1}^n T_{ph}(i) + \sum_{i=1}^n T_{od}(i) + \sum_{i=1}^{n+1} T_p(i) + T_{mr} . \quad (5.35)$$

В предположении о независимости в совокупности всех случайных составляющих СВ  $T_o$  из (5.35) получаем формулу для расчета среднего значения маршрутной задержки

$$T_o^{(1)} = T_{ms}^{(1)} + \sum_{i=1}^n T_{ph}^{(1)}(i) + \sum_{i=1}^n T_{od}^{(1)}(i) + \sum_{i=1}^{n+1} T_p^{(1)}(i) + T_{mr}^{(1)} . \quad (5.36)$$

В разделе 4.3.3 показано (см. рис. 4.9), что СВ  $T_{cu}$  времени обработки сигнальных сообщений в пункте сигнализа-

ции транзитной станции связана со случайными величинами  $T_{ms}$  и  $T_{mr}$  формулой

$$T_{cu} = T_{mr} + T_{hu} + T_{ms} ,$$

а из последнего соотношения очевидным образом следует оценка:

$$T_{mr}^{(1)} + T_{ms}^{(1)} < T_{cu}^{(1)} . \quad (5.37)$$

Из (5.36) и (5.37) получаем искомую оценку для среднего значения маршрутной задержки:

$$T_o^{(1)} < T_{cu}^{(1)} + \sum_{i=1}^n T_{ph}^{(1)}(i) + \sum_{i=1}^n T_{od}^{(1)}(i) + \sum_{i=1}^{n+1} T_p^{(1)}(i) . \quad (5.38)$$

Заметим, что в формуле (5.38) величина  $T_{od}^{(1)}(i)$  может быть рассчитана для  $i$ -го ЗС рассматриваемого маршрута с помощью алгоритма предыдущего раздела. Значение величины  $T_p^{(1)}(i)$  определяется в зависимости от типа физической среды, расстояния передачи и других характеристик уровня МТР1 в соответствии с методом раздела 3.3 рекомендации Q.706. Остается определить способ для оценки значений величин  $T_{cu}^{(1)}$  и  $T_{ph}^{(1)}$ . Для этого можно воспользоваться данными таблиц 4.8 и 4.18 из предыдущей главы. Отметим, что этими данными можно пользоваться в случае, если сеть ОКС 7 построена в соответствии с требованиями рекомендаций МСЭ-Т.

При вычислении оценки среднего значения маршрутной задержки по формуле (5.38) некоторые сложности могут возникнуть только при расчетах характеристик СВ  $T_{od}$ . Поэтому в следующем разделе приведены исчерпывающие примеры численного анализа этой характеристики, а примеры расчетов характеристик маршрутных задержек оставляем заинтересованному читателю.

## 5.4. Примеры расчетов

### 5.4.1. Модели сигнального трафика

В современных условиях ЗС обслуживает сигнальный трафик, который представляет собой случайный поток ЗнСЕ различной длины от 10 до 279 байт. Поэтому длина  $L$  (байт) ЗнСЕ, поступающей на передачу в канал, является случайной величиной, распределение которой зависит от многих факторов и фактически не поддается точному аналитическому описанию. Если распределение дискретной СВ  $L$  известно (см. раздел 4.4.1), то для расчетов применимы точные методы, полученные в [45,46,91,92]. В противном случае (распределение СВ  $L$  не известно) МСЭ-Т рекомендует рассматривать три основные модели сигнального трафика, для которых достаточно знать лишь среднее значение  $L^{(1)}$  данной случайной величины.

Модель 1. Поток ЗнСЕ, время передачи которых имеет детерминированное распределение.

Модель 2. Поток ЗнСЕ, время передачи которых имеет экспоненциальное распределение.

Модель 3. Суперпозиция потока ЗнСЕ с детерминированным временем передачи и потока ЗнСЕ с экспоненциальным временем передачи.

Модель 1 применяется при расчете задержек, когда средняя длина ЗнСЕ близка к максимально допустимой ( $L^{(1)} \approx 279$  байт). Модель 2 применяется, когда средняя длина ЗнСЕ относительно невелика ( $L^{(1)} \leq 50$  байт). Модель 3 используется, когда сигнальный трафик включает как «длинные», так и «короткие» ЗнСЕ ( $L^{(1)} \approx 140$  байт).

Модель сигнального трафика однозначно определяет распределение СВ  $T_M$  времени передачи ЗнСЕ в силу соотношения

$$T_M = \frac{L}{8000} \text{ (с)},$$

которое справедливо для скорости передачи 64 Кбит/с, определенной для каналов ОКС 7 рекомендациями МСЭ-Т. Как отмечалось выше, время передачи ЗСЕ детерминировано и поэтому

$$T_f = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ (с)}.$$

Распределение СВ  $T_M$ , в свою очередь, влияет на распределение СВ  $T_L$  и, следовательно, на распределение СВ  $T_{vir}$ . Ниже приведен общий вид ПЛС  $\tau_{vir}(s)$  для каждой модели сигнального трафика.

Модель 1. Так как ПЛС СВ  $T_M$  имеет вид  $\tau_M(s) = e^{-sT_m}$ , то из формул (5.10), (5.14), (5.15) и (5.17) следует, что

$$\tau_{vir}(s) = (1-g) \sum_{n \geq 0} g^n e^{-(n+1)sT_m} e^{-nsK} \left( \gamma e^{-nsT_m} + \bar{\gamma} e^{-nsT_f} \right) \times \\ \times \left( (1-a) \frac{1-e^{-nsT_f}}{nsT_f} + a \frac{1-e^{-nsT_m}}{nsT_m} \right)^2.$$

Модель 2. Так как ПЛС СВ  $T_M$  имеет вид

$$\tau_M(s) = \frac{1}{1+sT_m},$$

то

$$\tau_{vir}(s) = (1-g) \sum_{n \geq 0} \frac{g^n}{(1+(n+1)sT_m)} e^{-nsK} \left( \frac{\gamma}{(1+nsT_m)} + \bar{\gamma} e^{-nsT_f} \right) \times \\ \times \left( (1-a) \frac{1-e^{-nsT_f}}{nsT_f} + a \frac{1}{1+nsT_m} \right)^2.$$

Модель 3. При комбинации моделей 1 и 2 с весами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно имеем, что

$$\tau_M(s) = \alpha_1 \times e^{-sT_m} + \alpha_2 \times \frac{1}{1+sT_m}$$

и

$$\begin{aligned}
\tau_{vir}(s) = & (1-g) \left( \alpha_1 \times \frac{1}{1+sT_m} + \alpha_2 \times e^{-sT_m} \right) + \\
& + (1-g) \sum_{n \geq 1} g^n \left( \alpha_1 \times \frac{1}{1+(n+1)sT_m} + \alpha_2 \times e^{-(n+1)sT_m} \right) e^{-nsK} \times \\
& \times \left( \gamma \left( \alpha_1 \times \frac{1}{1+nsT_m} + \alpha_2 \times e^{-nsT_m} \right) + \bar{\gamma} e^{-nsT_f} \right) \times \\
& \times \left( (1-a) \frac{1-e^{-nsT_f}}{nsT_f} + a \frac{1 - \left( \alpha_1 \times \frac{1}{1+nsT_m} + \alpha_2 \times e^{-nsT_m} \right)}{nsT_m} \right)^2.
\end{aligned}$$

Рассмотрим один важный частный случай. предположив в модели 1, что распределение СВ  $T_L$  является детерминированным со значением параметра

$$T_l = K + \gamma T_m + (1-\gamma)T_f + aT_m + (1-a)T_f,$$

т.е.  $T_l = T_L^{(1)}$ . Для этого случая в работах [92,95] показано, что ПЛС ФР  $T_{vir}(x)$  будет иметь вид

$$\tau_{vir}(s) = \frac{(1-g)e^{-sT_m}}{1-ge^{-s(T_m+T_l)}}, \quad (5.39)$$

а график ФР  $T_{vir}(x)$  – «ступенчатый» вид, показанный на рис. 5.5.



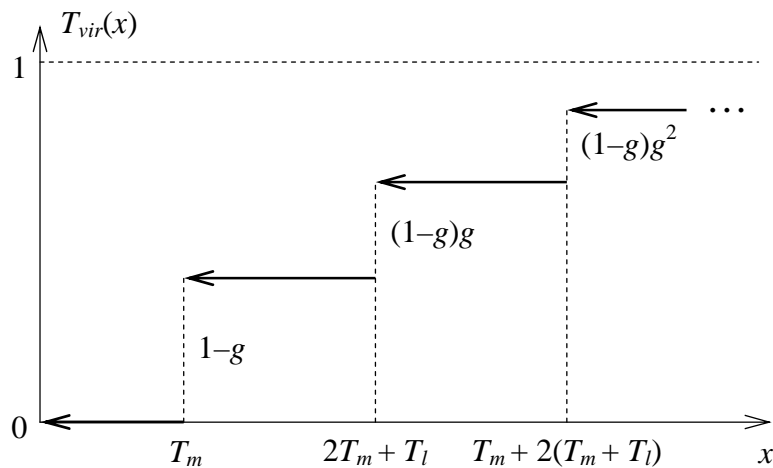


Рис. 5.5. Вид функции  $T_{vir}(x)$  для модели 1  
сигнального трафика

В рассматриваемом случае, важном с точки зрения приложений, анализ качественных характеристик функционирования ЗС значительно упрощается. В том числе оказывается возможным проводить анализ квантили  $T_{od}^{95\%}$ , не прибегая к сложным численным методам [95].

В заключение заметим, что модель сигнального трафика влияет лишь на сложность вычислений квантилей общей задержки ЗнСЕ, а другие характеристики качества функционирования ЗС рассчитываются с помощью алгоритма, приведенного в следующем разделе.

#### 5.4.2. Характеристики задержек в очереди на передачу

В этом и следующем подразделах показано применение методов, изложенных в разделах 5.1 и 5.2. Расчеты проведены для параметров функционирования ЗС, определенных в рекомендациях МСЭ-Т, а результаты представлены в форме, соответствующей требованиям этих рекомендаций [7].

Согласно требованиям необходимо найти математическое ожидание  $Q$  и дисперсию  $\sigma^2$  случайной величины задержки ЗнСЕ в очереди на передачу (СВ  $T_d$ ) как в случае отсутствия ошибок в ЗС (величины  $Q_a$  и  $\sigma_a^2$ ), так и при их наличии (величины  $Q_t$  и  $\sigma_t^2$ ). Для СВ  $T_{od}$  общей задержки ЗнСЕ в ЗС должны быть найдены математическое ожидание и 95% квантиль при отсутствии ( $g=0$ ) и при наличии ( $g>0$ ) ошибок в ЗС. Согласно [7,149] расчеты должны быть выполнены в соответствии с моделью 1 сигнального трафика для ЗнСЕ длиной 279 байт, в соответствии с моделью 2 для ЗнСЕ, длина которых равна 15, 23 или 50 байт, и в соответствии с моделью 3 для ЗнСЕ длиной 140 байт. Расчет вероятностных характеристик СВ  $T_d$  проводится для наземных ЗС (время распространения сигнала в петле связи  $K=30$  мс), а расчет характеристик СВ  $T_{od}$  – как для наземных, так и для спутниковых ( $K=600$  мс) звеньев сигнализации.

Расчетные формулы для величин  $Q$  и  $\sigma^2$  сведены в таблицу 5.1, форма и обозначения в которой даны в таком же виде, как и в Таблице 2/Q.706 [7].

При расчетах по формулам таблицы 5.1 необходимо выбрать модель сигнального трафика с целью вычисления начальных моментов СВ  $T_M$ . Для моделей 1 и 2 формулы для вычислений имеют следующий вид.

Модель 1.

$$T_M^{(i)} = T_m^i, \quad i = \overline{1,4}. \quad (5.40)$$

Модель 2.

$$T_M^{(1)} = T_m, \quad T_M^{(2)} = 2T_m^2, \quad T_M^{(3)} = 6T_m^3, \quad T_M^{(4)} = 24T_m^4. \quad (5.41)$$

Таблица 5.1

Ошибки при передаче	Характеристики задержек ЗнСЕ в очереди на передачу	
	Среднее значение $Q$	Дисперсия $\sigma^2$
Отсутствие	$Q_a = \frac{1}{2} \left( T_f + \frac{a}{1-a} \times k_1 T_m \right)$	$\sigma_a^2 = \frac{T_f^2}{12} + \frac{1}{4} \times \left( \frac{a}{1-a} \times k_1 T_m \right)^2 + \frac{1}{3} \times \frac{a}{1-a} \times k_2 T_m^2$
Наличие	$Q_t = \frac{1}{2} \left( T_f + \frac{a_{eff}}{1-a_{eff}} \times \frac{T_{vir}^{(2)}}{T_{vir}^{(1)}} \right) + T_{vir}^{(1)} - T_m$	$\sigma_t^2 = \frac{T_f^2}{12} + \frac{1}{4} \times \left( \frac{a_{eff}}{1-a_{eff}} \times \frac{T_{vir}^{(2)}}{T_{vir}^{(1)}} \right)^2 + \frac{1}{3} \times \frac{a_{eff}}{1-a_{eff}} \times \frac{T_{vir}^{(3)}}{T_{vir}^{(1)}} + T_{vir}^{(2)} - \left( T_{vir}^{(1)} \right)^2 + T_m^2 (1-k_1)$

Для упрощенного инженерного расчета величин  $Q$  и  $\sigma^2$  в случае модели 3 на основании рекомендаций МСЭ-Т могут быть использованы следующие формулы:

$$Q(\text{модель 3}) = \frac{1}{3}Q(\text{модель 1}) + \frac{2}{3}Q(\text{модель 2}) ; \quad (5.42)$$

$$\sigma^2(\text{модель 3}) = \frac{1}{9}\sigma^2(\text{модель 1}) + \frac{4}{9}\sigma^2(\text{модель 2}) . \quad (5.43)$$

Расчет величин  $Q$  и  $\sigma^2$  для моделей 1 и 2 осуществляется в соответствии с приведенным ниже алгоритмом [113].

*Алгоритм расчета характеристик задержек ЗнСЕ в очереди на передачу*

Шаг 1.

Исходные данные:

- $a$  – сигнальная нагрузка в отсутствие ошибок (Эрл);
- $K$  – время распространения сигнала в петле связи (с);
- $T_f$  – время передачи в канал ЗСЭ (с),  $T_f = 7,5 \times 10^{-4}$ ;
- $L^{(1)}$  – средняя длина ЗнСЕ (байт);
- $v$  – быстродействие канала (байт/с),  $v = 8000$ ;
- $P_u$  – вероятность передачи ЗнСЕ с ошибкой.

Шаг 2.

2.1. Расчет среднего времени передачи в канал ЗнСЕ по формуле

$$T_m = L^{(1)} / v .$$

2.2. Выбор модели сигнального трафика.

2.3. Расчет начальных моментов времени передачи в канал ЗнСЕ  $T_M^{(1)}$ ,  $T_M^{(2)}$ ,  $T_M^{(3)}$  по формулам (5.40) для модели 1 или (5.41) для модели 2.

Шаг 3.

3.1. Расчет величин  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  по формуле

$$k_i = \frac{T_M^{(i+1)}}{T_m^{i+1}}, \quad i = \overline{1, 3}.$$

3.2. Если ошибки в канале отсутствуют ( $P_u = 0$ ), то перейти к шагу 6 алгоритма.

Шаг 4.

4.1. Расчет интенсивности  $\lambda$  сигнального трафика по формуле

$$a = \lambda T_m.$$

4.2. Расчет относительной частоты  $\gamma$  передачи ЗнСЕ в канал по формуле (5.16).

4.3. Расчет величин  $T_L^{(1)}$ ,  $T_L^{(2)}$ ,  $T_L^{(3)}$  по формулам (5.18) – (5.20).

Шаг 5.

5.1. Расчет величин  $T_{vir}^{(1)}$ ,  $T_{vir}^{(2)}$ ,  $T_{vir}^{(3)}$  по формулам (5.11) – (5.13).

5.2. Расчет сигнальной нагрузки при наличии ошибок  $a_{eff}$  по формуле

$$a_{eff} = \lambda T_{vir}^{(1)} = a \frac{1 + P_u \frac{T_L^{(1)}}{T_m}}{1 - P_u}.$$

Шаг 6.

6.1. Расчет среднего значения  $Q$  и дисперсии  $\sigma^2$  задержки ЗнСЕ в очереди на передачу по формулам таблицы 5.1 для моделей 1 и 2.

6.2. Расчет среднего значения  $Q$  и дисперсии  $\sigma^2$  задержки ЗнСЕ в очереди на передачу по формулам таблицы 5.1 и формулам (5.42) и (5.43) для модели 3.

Приведем примеры расчетов задержек ЗнСЕ в очереди на передачу в соответствии с изложенным выше методом. На рис. 5.6 и 5.7 приведены графики математического ожидания

$Q_a$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_a$  значения задержки ЗнСЕ при отсутствии ошибок в ЗС ( $g=0$ ). На рис. 5.8 и 5.9 – аналогичные графики ( $Q_t$  и  $\sigma_t$ ) для случая наличия ошибок ( $g=0,001$ ).

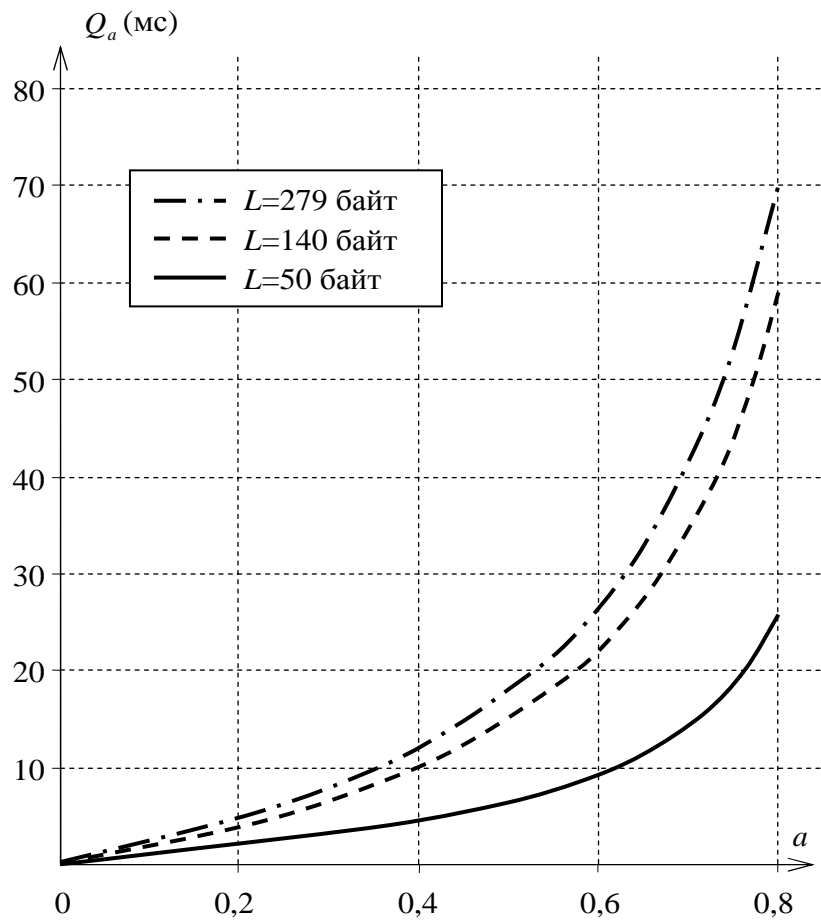


Рис. 5.6. Математическое ожидание задержки в очереди на передачу при отсутствии ошибок ( $g=0$ )

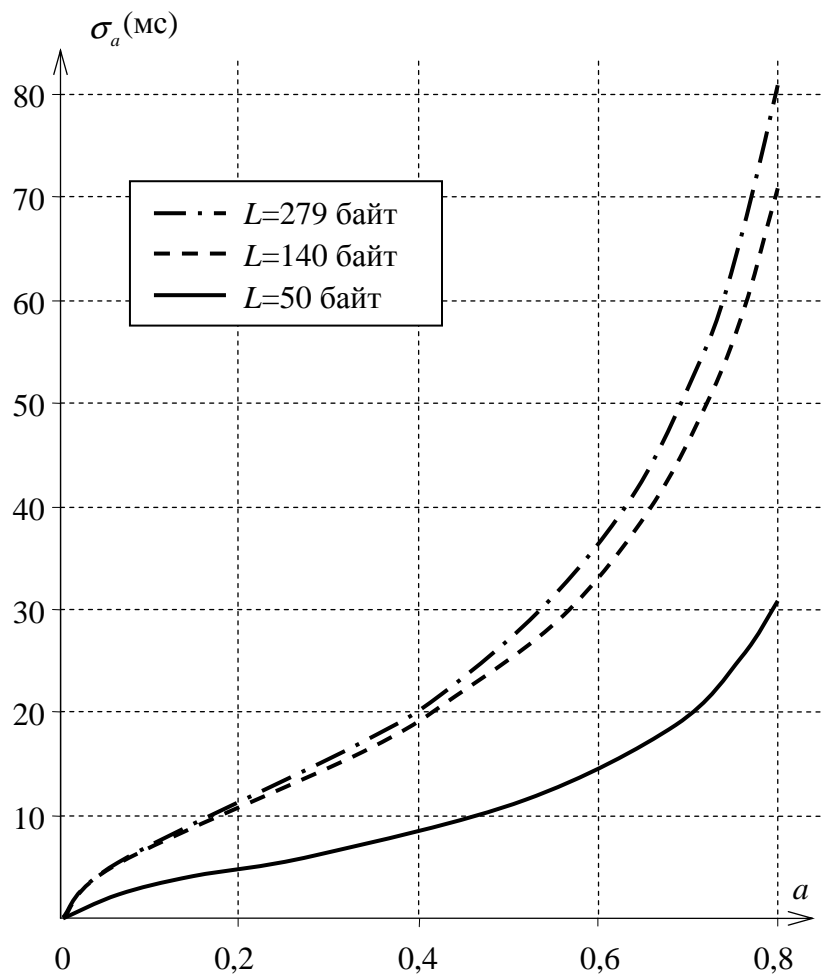


Рис. 5.7. Среднеквадратическое отклонение задержки в очереди на передачу при отсутствии ошибок ( $g = 0$ )

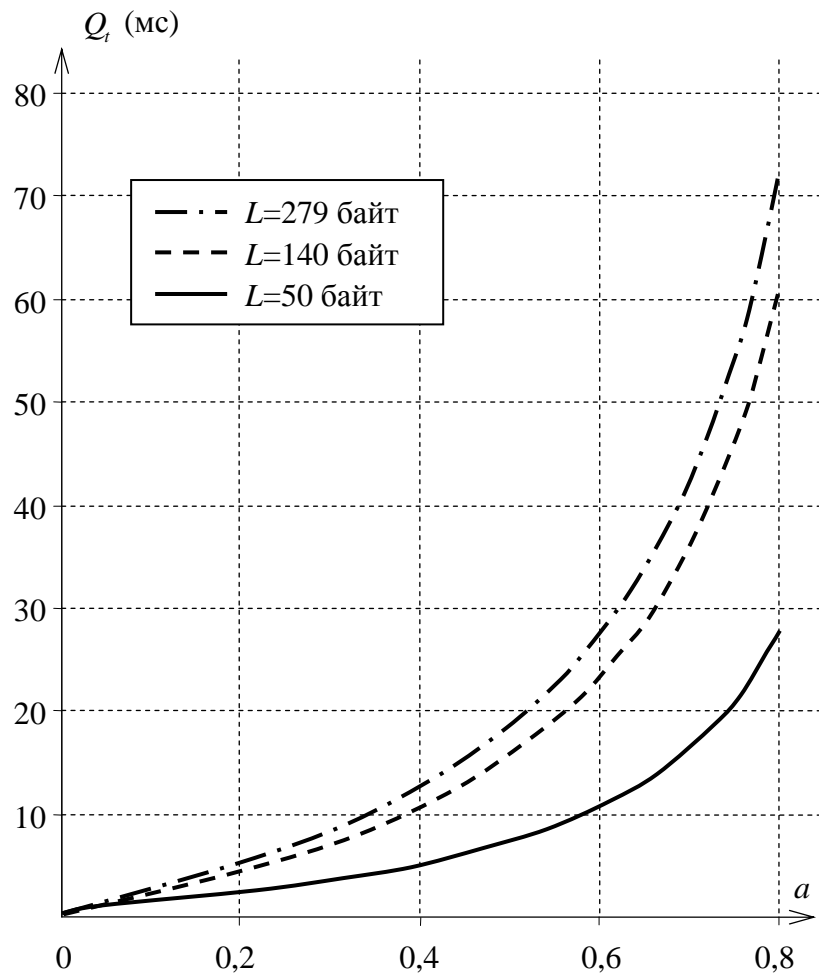


Рис. 5.8. Математическое ожидание задержки в очереди на передачу при наличии ошибок ( $g = 0,001$ )



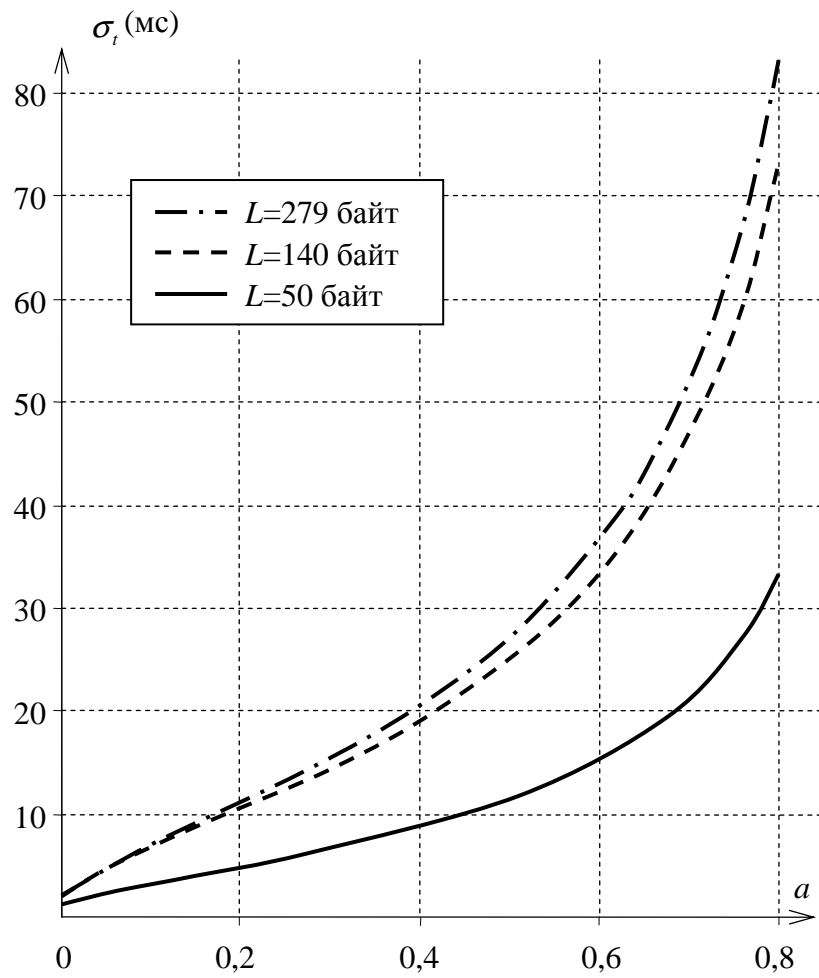


Рис. 5.9. Среднеквадратическое отклонение задержки в очереди на передачу при наличии ошибок ( $g = 0,001$ )

### 5.4.3. Характеристики общих задержек в звене сигнализации

В таблице 5.2 приведены результаты расчетов среднего значения  $T_{od}^{(1)}$  и квантили  $T_{od}^{95\%}$  случайной величины общей задержки значащей СЕ в ЗС для различных значений величины сигнальной нагрузки, времени распространения сигнала в петле связи и средней длины ЗнСЕ как в отсутствие, так и при наличии ошибок. Расчет значений величины  $T_{od}^{(1)}$  проведен по формулам (5.28) и (5.29), а значений величины  $T_{od}^{95\%}$  – по формуле (5.33). При наличии ошибок значение величины  $P_b$  побитовой ошибки было выбрано равным  $10^{-5}$  в соответствии с рекомендацией Q.706 [7]. Заметим, что вероятность ошибочной передачи ЗнСЕ длины  $L$  байт может быть вычислена по формуле

$$g = 1 - (1 - P_b)^{8L} \approx 1 - 8 \cdot L \cdot P_b .$$

Таблица 5.2

$a$ (Эрл)	$K$ (мс)	Ошибки при передаче	Харак- терис- тика СВ $T_{od}$	Длина ЗнСЕ (байт)				
				15	23	50	140	279
0,2	30	Нет	$T_{od}^{(1)}$	2,7	4,0	8,2	21,5	39,6
			$T_{od}^{95\%}$	9,3	14,1	30,1	66,0	61,6
		Есть	$T_{od}^{(1)}$	2,9	4,2	8,5	22,6	42,2
			$T_{od}^{95\%}$	11,6	16,4	33,2	74,1	78,9
	600	Нет	$T_{od}^{(1)}$	2,7	4,0	8,2	21,5	39,6
			$T_{od}^{95\%}$	9,3	14,1	30,1	66,0	61,6
		Есть	$T_{od}^{(1)}$	36,1	38,1	44,9	67,0	98,5
			$T_{od}^{95\%}$	283,1	291,3	318,7	396,5	465,0

Таблица 5.2 (продолжение)

0,4	30	Нет	$T_{od}^{(1)}$	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			$T_{od}^{95\%}$	12,3	18,6	40,0	88,8	87,1
		Есть	$T_{od}^{(1)}$	3,9	5,6	11,6	30,1	52,0
			$T_{od}^{95\%}$	15,7	22,1	44,8	101,5	112,5
	600	Нет	$T_{od}^{(1)}$	3,5	5,2	10,8	27,6	46,9
			$T_{od}^{95\%}$	12,3	18,6	40,0	88,8	87,1
		Есть	$T_{od}^{(1)}$	110,9	114,6	127,0	163,7	215,1
			$T_{od}^{95\%}$	584,9	597,4	639,9	764,1	882,1

Заметим, что метод оценки квантили  $T_{od}^{95\%}$  является весьма приближенным. Для точных расчетов необходимо применять достаточно сложные вычислительные методы. В некоторых случаях (см., например [92,95]) для решения задачи можно воспользоваться результатом, сформулированным в теореме 5.4 (см. раздел 5.4.1). Рассмотрим два случая в рамках модели 1 и модели 2 сигнального трафика и в обоих случаях оценим погрешность приближенного метода.

В условиях модели 1 рассмотрим случай, когда ФР  $T_{vir}(x)$  будет иметь вид, показанный на рис. 5.5. Для того, чтобы воспользоваться теоремой 5.4, необходимо найти корни уравнения

$$s - \lambda + \lambda\beta(s) = 0. \quad (5.44)$$

Можно показать, что в рассматриваемом случае уравнение (5.44) имеет единственный отрицательный корень  $s_1$ , причем

$$\frac{\ln(g)}{(T_m + T_L)} < s_1 < 0.$$

Ясно, что данный корень можно вычислить путем применения известных численных методов [40,70].

В условиях модели 2 рассмотрим случай  $g = 0$ . В этом случае (см. раздел 5.2.1)

$$\tau_{vir}(s) = \frac{1}{1 + sT_m}, \quad (5.45)$$

и тогда уравнение (5.40) имеет единственный отрицательный корень

$$s_1 = \frac{\lambda T_m - 1}{T_m}.$$

Сравним результаты расчетов, получаемые при использовании точного метода теоремы 5.4 и приближенного метода. В таблице 5.3 приведены результаты расчетов в условиях модели 1 для длины ЗнСЕ, равной 279 байт.

Таблица 5.3

$a$ (Эрл)	$K$ (мс)	Ошибки при передаче	Значение $T_{od}^{95\%}$		Абсолютная погрешность	Относительная погрешность (%)
			точ- ное	прибли- женное		
0,2	30	$P_b=0$	63,5	61,6	1,9	3,0
		$P_b=10^{-5}$	83,3	78,9	4,4	5,3
	600	$P_b=0$	63,5	61,6	1,9	3,0
		$P_b=10^{-5}$	536,7	465,0	71,7	13,4
0,4	30	$P_b=0$	88,4	87,1	1,3	1,5
		$P_b=10^{-5}$	116,2	112,5	3,7	3,2
	600	$P_b=0$	88,4	87,1	1,3	1,5
		$P_b=10^{-5}$	1034,6	882,1	152,5	14,7

В таблице 5.4 вычисления выполнены для модели 2 и средней длины ЗнСЕ, равной 15 и 50 байт. Так как вычисления для этой таблицы проведены для случая  $g = 0$ , то отсутствует зависимость от величины  $K$  распространения сигнала в петле связи.

Таблица 5.4

$a$ (Эрл)	Средняя длина ЗнСЕ (байт)							
	15				50			
	Точное значение	Приближенное значение	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность (%)	Точное значение	Приближенное значение	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность (%)
0,2	7,4	9,3	1,9	25,7	23,8	30,1	6,3	26,5
0,4	9,7	12,3	2,6	26,8	31,6	40,0	8,4	26,6

Из таблиц видно, что в рассматриваемых случаях значение относительной погрешности метода МСЭ-Т может достигать 25%, а абсолютная погрешность является значительной (от 70 до 150 мс) лишь в случае  $K=600$  мс, т.е. для линий связи большой протяженности или ЗС, организованных через спутник. В остальных случаях абсолютная погрешность метода составляет несколько миллисекунд, что, несомненно, является приемлемым для инженерных расчетов.

#### 5.4.4. Замечания к расчету задержек в условиях экстремальных ошибок передачи

В рекомендациях МСЭ-Т под экстремальными условиями функционирования ЗС понимается случай, когда в ЗС монитор интенсивности ошибок SUERM фиксирует их уровень, соответствующий значению 0,004 вероятности  $P_{SU}$  ошибочной передачи СЕ любого типа [142], т.е.

$$P_{SU} = 0,004. \quad (5.46)$$

Обозначим  $P_f$  вероятность ошибочной передачи ЗСЕ. Тогда с учетом введенных ранее обозначений вероятность ошибочной передачи СЕ определяется по формуле

$$P_{SU} = \gamma g + \bar{\gamma} P_f. \quad (5.47)$$

Для расчета задержек ЗнСЕ в экстремальных условиях ошибок, значения которых определены формулой (5.46), необходимо при заданном значении  $P_{SU}$  найти значение вероятности  $g$  из формулы (5.47). Пусть  $L$  – длина ЗнСЕ (байт) и  $P_b$  – интенсивность ошибок, тогда можно принять, что

$$g = 8 \cdot L \cdot P_b, \quad P_f = 48 \cdot P_b. \quad (5.48)$$

Из (3.2) и (3.3) следует, что

$$g = \frac{L}{L\gamma + 6\bar{\gamma}} P_{SU}. \quad (5.49)$$

По формулам (5.46) и (5.49) осуществляется расчет вероятности ошибочной передачи ЗнСЕ в экстремальных условиях функционирования ЗС, т.е. в случае  $P_{SU} = 0,004$  имеем

$$g = \frac{L}{L\gamma + 6\bar{\gamma}} \cdot 0,004.$$

Напомним, что величина  $\gamma$  зависит от величины сигнальной нагрузки  $a$  (см. формулу (5.16)). На рисунке 5.10 показаны графики зависимости вероятности  $g$  от значения сигнальной нагрузки  $a$  при значениях длины ЗнСЕ 50, 140 и 279 байт. На рисунках 5.11 и 5.12 приведены примеры расчетов математического ожидания и среднеквадратического отклонения задержки ЗнСЕ при экстремальных значениях ошибок в ЗС.

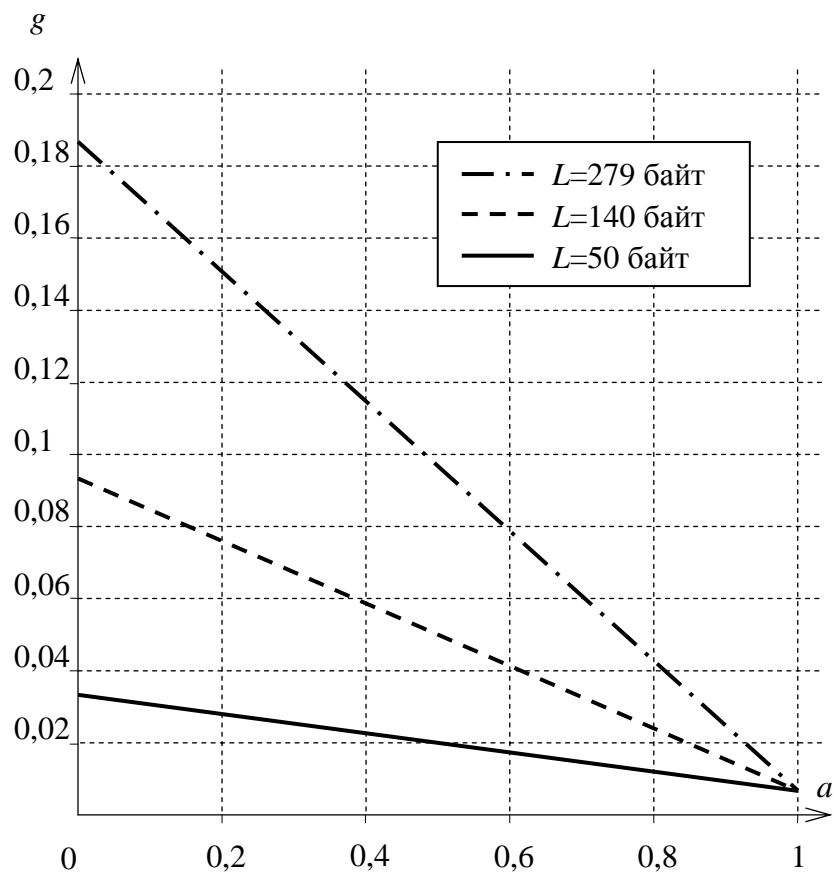


Рис. 5.10. Вероятность  $g$  ошибочной передачи значащей СЕ в экстремальных условиях функционирования ЗС

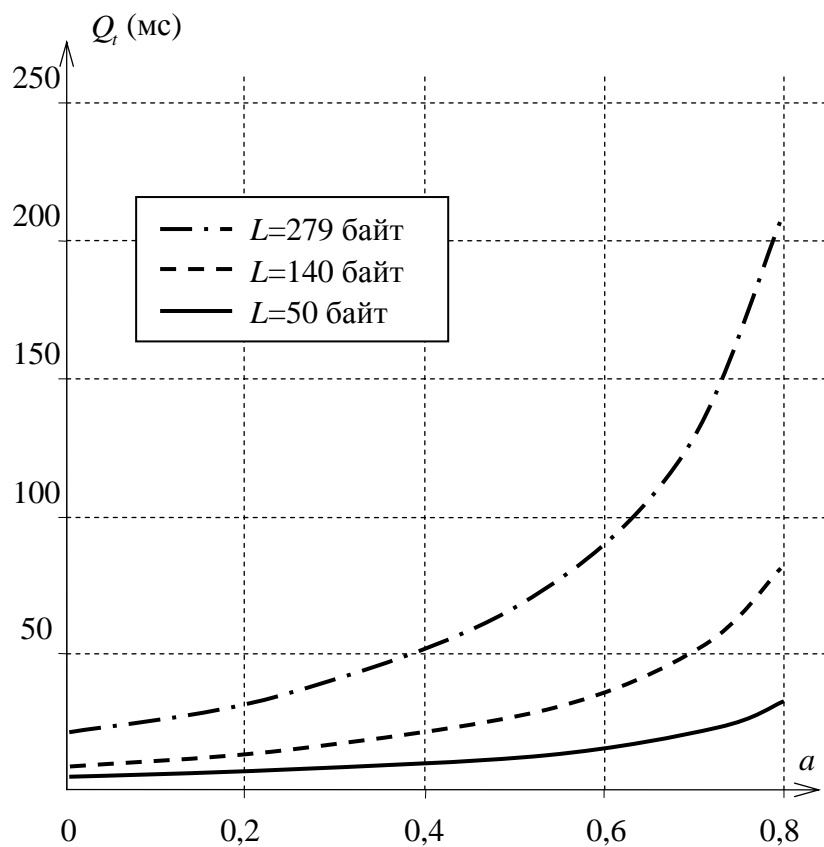


Рис. 5.11. Математическое ожидание задержки в очереди на передачу при экстремальных значениях ошибок в ЗС



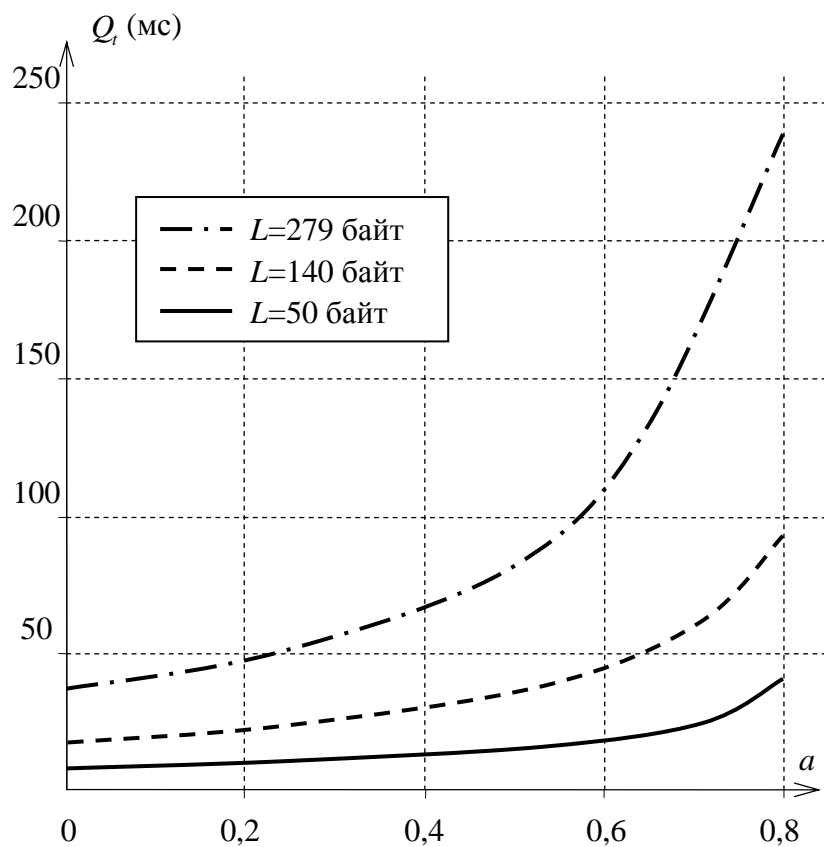


Рис. 5.12. Среднеквадратическое отклонение задержки в очереди на передачу при экстремальных значениях ошибок в ЗС

## ГЛАВА 6

### МЕТОД РАСЧЕТА ПЛАНА МАРШРУТИЗАЦИИ СИГНАЛЬНЫХ СООБЩЕНИЙ

#### 6.1. Постановка задачи

Диаграмма типового процесса планирования сети ОКС 7 показана на рис. 6.1 в нотации языка UML [136]. Аналогичный процесс применялся при разработке схемы междугородной сети ОКС 7 России на 2005 год [86], а также был опубликован в учебном пособии для инженерно-технического персонала ОАО Ростелеком [89].

На первом этапе процесса определяются исходные данные, включая сведения о первичной и вторичной базовой сети связи, структуре сети сигнализации, плане нумерации пунктов сигнализации, а также данные для расчета сигнальной нагрузки. Перед началом расчетов исходные данные подлежат верификации и при необходимости корректируются.

Ключевым элементом процесса является расчет плана маршрутизации (ПМ) сигнальных сообщений, который представляется в виде совокупности пучков сигнальных маршрутов (основных и альтернативных), определенных для всех сигнальных отношений пунктов сигнализации сети ОКС 7. После расчета ПМ осуществляется расчет сигнальной нагрузки, емкости пучков ЗС и принимается решение о разделении сигнальной нагрузки между пучками звеньев сигнализации и звеньями внутри каждого пучка.

На следующем этапе проводится расчет и анализ показателей качества функционирования сети: надежность пучков сигнальных маршрутов, количество транзитных пунктов сигнализации на маршрутах, функционирующих в квазисвязанном режиме, наличие циклов и петель в маршрутах передачи сигнальных сообщений, задержки сигнальной информации, объемы сигнального оборудования.

Анализ качественных характеристик может показать, что на предыдущих этапах расчета были допущены действия, противоречащие международным и/или национальным стандартам. Например, в ПМ могут быть обнаружены маршруты с циклами или петлями, что недопустимо, поскольку протоколы ОКС 7 не поддерживают процедуры выявления циклов и сброса зацикленных сигнальных сообщений. В этом случае необходима коррекция ПМ, заключающаяся в устранении или модификации маршрутов, являющихся причиной возникновения циклов или петель. В ряде случаев это может быть достигнуто и за счет коррекции структуры сети ОКС 7, что также должно быть предусмотрено в процессе планирования.

Если анализ ПМ и показателей качества функционирования сети удовлетворяет выбранным принципам расчета, то итерации процесса прекращаются и осуществляется расчет маршрутных таблиц. Основными результатами расчета являются маршрутные таблицы, сигнальные маршруты, нагрузки на звенья и пункты сигнализации, показатели качества функционирования сети ОКС 7.

Процесс планирования сети ОКС 7 может быть автоматизирован частично или полностью. Для автоматизации этого процесса рекомендуется использовать специализированные программные средства [88,150]. Расчет сети ОКС 7 без применения специализированных программных средств («ручной» расчет или расчет с применением общецелевых программных средств, например, типа Microsoft Excel) может быть осуществлен для сетей малой размерности, например до 10 пунктов сигнализации.

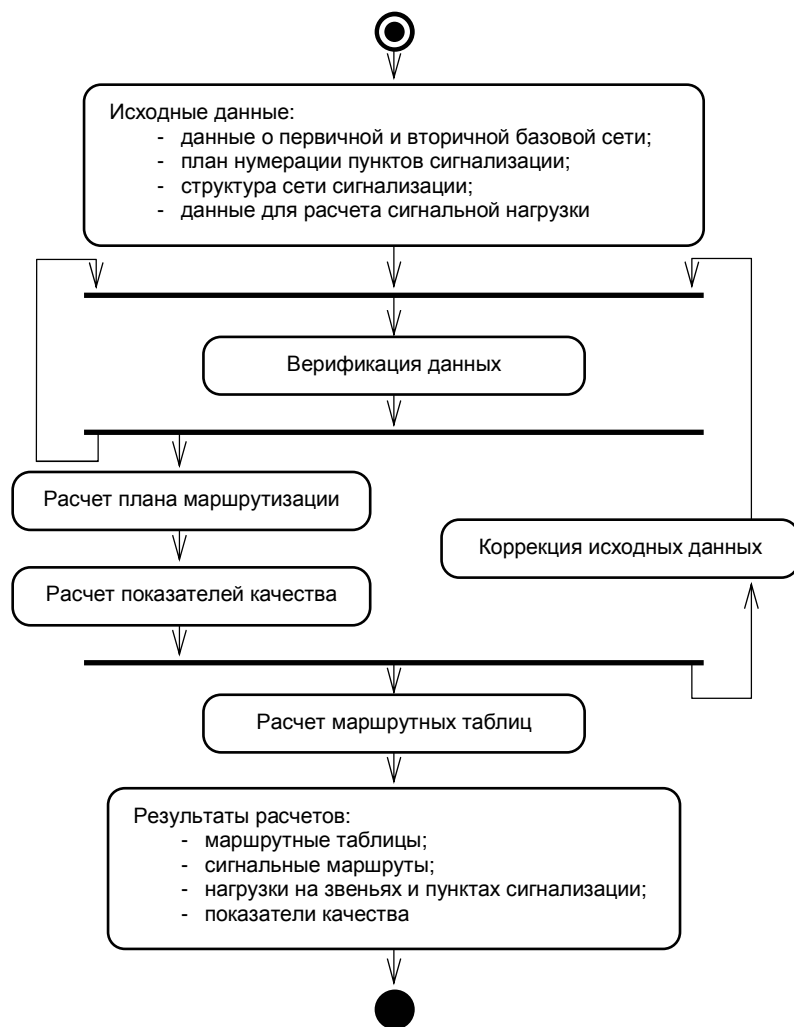


Рис. 6.1. Диаграмма процесса планирования сети ОКС 7

Следует обратить особое внимание, что на эффективность планирования сети ОКС 7 большой размерности существенное влияние оказывают методы расчета ПМ, которые

имеются в распоряжении проектировщика. Если выбранные им методы основаны на строгих математических моделях, построенных с высокой степенью адекватности решаемой задаче, то отпадает необходимость большого числа итераций в процессе планирования сети ОКС 7 в целом.

В данной главе излагается новый метод, основанный на теории графов [67,151-153] и предназначенный для расчета ПМ сигнальных сообщений в сети ОКС 7 с произвольно заданной структурой. Преимуществом данного метода является то, что построенный на его основе процесс расчета ПМ имеет линейную структуру (рис. 6.2). Это преимущество достигнуто благодаря тому, что каждый этап процесса расчета обеспечен строгими математическими методами и вычислительными алгоритмами.

Основной целью расчета ПМ сигнальных сообщений является получение данных, которые требуются для создания маршрутных таблиц пунктов сигнализации сети ОКС 7. Для этого необходимо совершить целый ряд действий над исходными данными о сети ОКС 7, которые включают в себя данные о структуре сети, значения нагрузок на сигнальные отношения и требования к ПМ сигнальных сообщений. Основные действия (этапы расчета) показаны на диаграмме, изображенной на рис. 6.2.

Во-первых, должны быть рассчитаны так называемые планы маршрутизации по кодам пунктов назначения (ПМКПН). Формулировка этой задачи в терминах теории графов и метод ее решения был предложен в [116,117] и излагается в разделе 6.2 данной главы. Во-вторых, рассчитываются приоритеты выбора направлений передачи сигнальных сообщений и емкости всех пучков ЗС сети ОКС 7. Метод решения этой задачи предложен в разделе 6.3. Последним этапом расчета являются разделение сигнальной нагрузки и расчет значений кодов SLS, используемых в этикетке маршрутизации. Соответствующий этому этапу метод расчета, как и все

предыдущие методы, основан на графовом подходе [118] и изложен в разделе 6.4 данной главы.



Рис. 6.2. Диаграмма процесса расчета плана маршрутизации сигнальных сообщений

Для постановки задачи на основании принципов маршрутизации, изложенных в главе 4, сформулируем основные правила, в соответствии с которыми осуществляется маршрутизация сигнальных сообщений в сети ОКС 7:

- сообщение маршрутизируется по кратчайшему маршруту в направлении пункта назначения через транзитные пункты

сигнализации, причем длина маршрута определяется по числу транзитных узлов;

- маршрут может не содержать транзитные пункты, если пункт назначения является смежным по отношению к узлу, где осуществляется маршрутизация сигнального сообщения;
- количество транзитных пунктов на любом маршруте от источника к адресату не должно превышать наперед заданного числа;
- маршрут не должен содержать циклов и петель;
- если кратчайших маршрутов несколько, то выбирается любой из доступных маршрутов;
- если маршрут по каким-либо причинам недоступен (отказы, перегрузки и пр.), то маршрутизация осуществляется по любому из доступных маршрутов, длина которого не меньше длины недоступного маршрута;
- выбор маршрута осуществляется на основании приоритетов направлений передачи;
- маршруты, имеющие первый (высший) приоритет (основные маршруты), используются в нормальных условиях функционирования сети;
- маршруты низших приоритетов (альтернативные маршруты) используются в случаях, когда маршруты более высоких приоритетов недоступны;
- в каждом пункте сигнализации выбор направления передачи осуществляется исходя из правила равномерного распределения нагрузки между соответствующими пучками ЗС;
- выбор ЗС для передачи сигнального сообщения осуществляется исходя из правил равномерного распределения нагрузки между звеньями соответствующего пучка ЗС.

Заметим также, что для передачи сигнальных сообщений между двумя пунктами сигнализации, находящимися в сигнальном отношении, должно быть организовано не менее

одного маршрута как в прямом, так и в обратном направлении.

Таким образом, задача состоит в том, что в сети с заданной структурой для каждой пары пунктов сигнализации, находящихся в сигнальном отношении, необходимо построить два пучка маршрутов в прямом и обратном направлениях в соответствии с изложенными выше правилами. Маршруты не должны содержать циклов и петель, количество транзитных узлов на любом маршруте не должно превышать наперед заданного числа  $T \geq 0$ , а количество приоритетов выбора направлений в каждом узле сети – заданного числа  $P \geq 1$ . Автору не известны публикации, где задача в такой постановке решена полностью, ее решение строго обосновано математически, а математические методы доведены до вычислительных алгоритмов. Интерес могут представить лишь работы немецких специалистов, результаты которых позволяют решить задачу в некоторых частных случаях, например, для случая иерархической структуры сети сигнализации [82,154,155].

Поставленная выше задача формулируется и решается в терминах теории графов в разделах 6.2-6.4 данной главы. Заранее оговоримся, что в тех случаях, когда это не влияет на степень общности и полноты излагаемых методов, будут сделаны некоторые упрощающие предположения о правилах маршрутизации сигнальных сообщений. Отметим также, что система обозначений, принятая в этой и следующей главах, используется независимо от обозначений предыдущих глав книги.

## **6.2. Метод построения плана маршрутизации по коду пункта назначения**

Будем считать, что в качестве исходных данных для расчета ПМ имеем структуру сети ОКС 7 и значения нагрузок на сигнальные отношения. Структура сети ОКС 7 включает в себя пункты сигнализации (SP), транзитные пункты сигнали-



зации (STP) и пучки ЗС, которые связывают между собой узлы сети в соответствии с заданной топологией. Пример структуры сети ОКС 7, который будет использоваться в данной главе, приведен на рис. 6.3. В этой и следующей главах будем рассматривать общую нагрузку на сигнальное отношение между двумя SP. То есть для каждой пары  $SP_i$  и  $SP_j$  будем считать заданной сигнальную нагрузку подсистем ISUP и SCCP, подлежащую передаче по сети ОКС 7 как в прямом (от  $SP_i$  в  $SP_j$ ), так и в обратном (от  $SP_j$  в  $SP_i$ ) направлении (см. раздел 4.3).

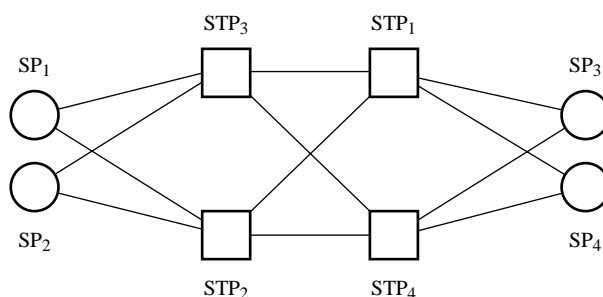


Рис. 6.3. Пример структуры сети ОКС 7

Обозначим  $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  неориентированный граф сети ОКС 7, множество  $\mathcal{V}$  вершин которого соответствует множеству пунктов сигнализации всех типов, а множество  $\mathcal{E}$  его дуг – множеству пучков звеньев сигнализации сети ОКС 7. Напомним, что рассматривается сеть ОКС 7 с двумя типами пунктов сигнализации – окончных пунктов сигнализации (SP-источники и SP-адресаты) и транзитных пунктов сигнализации (STP). Тогда множество  $\mathcal{V}$  представимо в виде  $\mathcal{V} = \mathcal{V}_1 \cup \mathcal{V}_2$ , где  $\mathcal{V}_1$  – множество вершин, соответствующих узлам типа SP, а  $\mathcal{V}_2$  – множество вершин, соответствующих узлам типа STP.

Для рассматриваемой в примере этой главы сети ОКС 7 (см. рис. 6.4) неориентированный граф  $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  имеет вид, показанный на рис. 6.3. В этом случае  $\mathcal{V}_1 = \{v_1, v_2, v_3, v_4\}$  и  $\mathcal{V}_2 = \{v_5, v_6, v_7, v_8\}$ .

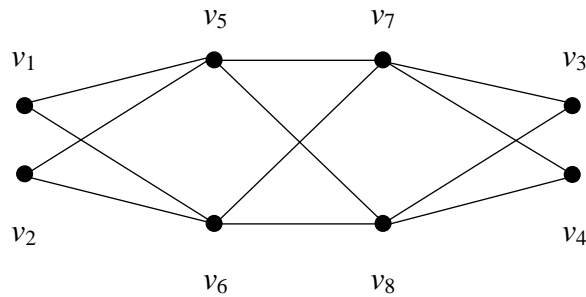


Рис. 6.4. Пример графа сети ОКС 7

Маршрутизация в сети ОКС7 осуществляется только между узлами, находящимися в сигнальном отношении, причем это отношение является обязательно двусторонним и может иметь место только для конечных пунктов сигнализации (SP). Это означает, что для любой пары SP (например,  $SP_1$  и  $SP_4$ , показанных на рис. 6.3) в сети ОКС 7 должны быть созданы два пучка сигнальных маршрутов – в прямом (от  $SP_1$  к  $SP_4$ ) и обратном (от  $SP_4$  к  $SP_1$ ) направлениях.

Введем множество  $\mathcal{R}$  сигнальных отношений сети ОКС 7 такое, что  $\mathcal{R} \subset \mathcal{V}_1 \times \mathcal{V}_1$ , а в рассматриваемом примере будем считать, что  $\mathcal{R} = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in \mathcal{V}_1, i \neq j\}$ . В силу того, что любые сигнальные отношения являются двусторонними, из  $(u, v) \in \mathcal{R}$  следует, что  $(v, u) \in \mathcal{R}$ .

Обозначим  $l(u, v) = (u, x_1, \dots, x_t, v)$  маршрут из вершины  $u$  в вершину  $v$  и  $L(u, v) = t$  число промежуточных вершин

маршрута. Введем  $\mathcal{L}(u, v)$  множество всех маршрутов (пучок маршрутов), которые начинаются в вершине  $u$  и заканчиваются в вершине  $v$  графа  $G$ . Заметим, что для любой пары вершин  $(u, v) \in \mathcal{R}$  граф  $G$  должен содержать два пучка маршрутов  $\mathcal{L}(u, v)$  и  $\mathcal{L}(v, u)$ . Определим множество

$$\mathcal{L} = \bigcup_{(u,v) \in \mathcal{R}} \mathcal{L}(u, v), \quad (6.1)$$

соответствующее множеству всех маршрутов в рассматриваемой сети, которые требуется построить, исходя из правил маршрутизации, сформулированных в разделе 6.1. Из этих правил вытекают ограничения на построение маршрутов на графе  $G$ , и исходя из этих ограничений, строятся ориентированные графы, содержащие пучки маршрутов между парами вершин из множества  $\mathcal{R}$ .

*Для каждой пары вершин  $(u, v) \in \mathcal{R}$  на графе  $G$  должны быть построены маршруты, такие, что:*

- (i) *число промежуточных вершин любого маршрута ограничено, причем  $0 \leq L(u, v) \leq T$ ;*
- (ii) *любой маршрут является простой цепью графа  $G$ , причем его промежуточные вершины, если такие найдутся, лежат в множестве  $\mathcal{V}_2$ .*

Заметим, что требования стандартов [5] допускают наличие циклов единичной длины в плане маршрутизации сети ОКС 7. Поэтому ограничение (ii) может быть ослаблено.

Введем множества

$$\mathcal{V}_1^i = \{u \in \mathcal{V}_1 : (u, v_i) \in \mathcal{R}, u \neq v_i\} \quad (6.2)$$

и

$$\mathcal{L}(v_i) = \bigcup_{u \in \mathcal{V}_1^i} \mathcal{L}(u, v_i). \quad (6.3)$$

Множество  $\mathcal{V}_1^i$  содержит вершины графа  $G$ , соответствующие тем узлам сети, которые находятся в сигнальном отношении с узлом, соответствующим вершине  $v_i$ . Тогда  $\mathcal{L}(v_i)$  является множеством всех маршрутов графа  $G$  с окончанием в вершине  $v_i$ , и поскольку множество  $\mathcal{L}$  представимо в виде

$$\mathcal{L} = \bigcup_{v_i \in \mathcal{V}_1} \mathcal{L}(v_i), \quad (6.4)$$

то справедливо следующее утверждение.

*Если все маршруты множеств  $\mathcal{L}(v_i)$  удовлетворяют ограничениям (i) и (ii) для всех  $v_i \in \mathcal{V}_1$ , тогда все маршруты множества  $\mathcal{L}$  удовлетворяют ограничениям (i) и (ii).*

Из последнего утверждения и формулы (6.4) вытекает важное следствие.

*Для построения маршрутов из множества  $\mathcal{L}$  в соответствии с ограничениями (i) и (ii) достаточно для каждой из вершин  $v_i \in \mathcal{V}_1$  построить множество маршрутов  $\mathcal{L}(v_i)$ , удовлетворяющих этим ограничениям.*

Поэтому, с точки зрения теории графов, задача может быть решена методом декомпозиции. В терминологии ОКС 7 это означает, что для построения корректного плана маршрутизации сети сигнализации достаточно найти все ПМКПН, удовлетворяющие принятым требованиям к маршрутизации сигнальных сообщений.

Таким образом постановка задачи построения ПМКПН в терминах теории графов завершена и далее в данном разделе предлагается ее решение с использованием алгоритма фронта волны. Не ограничивая общности излагаемого метода, будем считать, что  $T = 2$ , т.е. число STP на любом маршруте должно быть не более двух, и поэтому вместо (i) будем использовать ограничение

(i\*) *число промежуточных вершин любого маршрута графа  $G$  должно быть не более двух, т.е.  $0 \leq L(u, v) \leq 2$ .*

Введем оргграф  $G_{v_i} = (\mathcal{V}^i, \mathcal{A}_{v_i})$ , содержащий все маршруты графа  $G$  в вершину  $v_i$ , т.е. все маршруты из множества  $\mathcal{L}(v_i)$ . Поскольку  $\mathcal{V} = \mathcal{V}_1 \cup \mathcal{V}_2$ , то имеем

$$\mathcal{V}^i = \mathcal{V}_1^i \cup \mathcal{V}_2^i \cup \{v_i\}, \quad (6.5)$$

где  $\mathcal{V}_1^i$  определяется по формуле (6.2), а множество  $\mathcal{V}_2^i$  имеет вид

$$\mathcal{V}_2^i = \{x \in \mathcal{V}_2 : l(u, \dots, x, \dots, v_i) \in \mathcal{L}(v_i), (u, v_i) \in \mathcal{R}\}. \quad (6.6)$$

Граф  $G_{v_i}$  необходимо построить таким образом, чтобы все маршруты в вершину  $v_i$  удовлетворяли ограничениям (i\*) и (ii). Тогда получим множество маршрутов  $\mathcal{L}(v_i)$ , удовлетворяющее этим же ограничениям, и, следовательно, можем построить соответствующий ПМКПН сети ОКС 7. Построение графа  $G_{v_i}$  проведем с помощью алгоритма, полученного путем модификации известного из теории графов [151] алгоритма фронта волны. Каждый шаг приведенного ниже алгоритма иллюстрируется на примере вершины  $v_1$  графа сети ОКС 7, изображенного на рис. 6.4, т.е. в примере строится оргграф  $G_{v_1}$ .

Для краткости изложения и не теряя его общности, будем предполагать, что для каждой вершины  $v_i \in \mathcal{V}_1$  найдутся две вершины  $v'_i, v''_i \in \mathcal{V}_2$  такие, что  $(v_i, v'_i) \in \mathcal{E}$  и  $(v_i, v''_i) \in \mathcal{E}$ . Эти вершины будем называть опорными вершинами по отношению к вершине  $v_i$ . В сети ОКС 7 эти вершины соответствуют опорным STP (см. раздел 3.5). Будем также использовать общепринятое обозначение  $FW(v)$  фронта волны 1-го порядка вершины  $v$ , а само понятие фронта волны будет ясно из формулировки алгоритма и сопровождающих его иллюстраций.

*Алгоритм построения графа  $G_{v_i}$ .*

**Шаг 1.** Построение фронта волны 1-го порядка вершины  $v_i$  (см. пример на рис. 6.5).

- 1.1. Выбрать вершину  $v_i \in \mathcal{V}_1$ .
- 1.2. Выбрать вершины  $v'_i$  и  $v''_i$  из множества  $\mathcal{V}_2$  такие, что  $(v_i, v'_i) \in \mathcal{E}$  и  $(v_i, v''_i) \in \mathcal{E}$ .
- 1.3. Построить множества  $\mathcal{V}_1^i, \mathcal{V}_2^i$  и  $\mathcal{V}^i = \mathcal{V}_1^i \cup \mathcal{V}_2^i$ .
- 1.4. Построить фронт волны  $FW(v_i) = \{v_j : (v_i, v_j) \in \mathcal{E}\}$ .
- 1.5. Построить множество  $\mathcal{A}_{v_i}^{(1)} = \{(v_i, v_j) : v_j \in FW(v_i)\}$ .

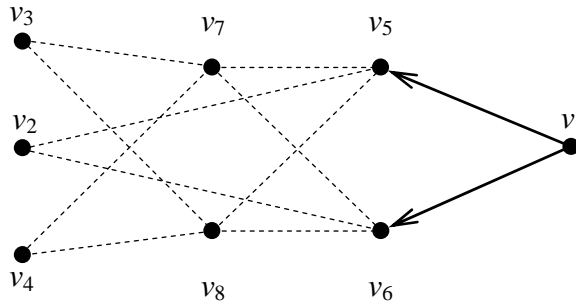


Рис. 6.5. Пример построения множества  $\mathcal{A}_{v_1}^{(1)}$

Шаг 2. Построение фронта волны 1-го порядка вершин  $v_i'$  и  $v_i''$  (см. пример на рис. 6.6).

- 2.1. Построить фронт волны  $FW(v_i') = \{v_j : (v_i'; v_j) \in \mathcal{E}, v_j \in \mathcal{V}^i\}$ .
- 2.2. Построить фронт волны  $FW(v_i'') = \{v_j : (v_i''; v_j) \in \mathcal{E}, v_j \in \mathcal{V}^i\}$ .

2.3. Построить множество

$$\mathcal{A}_{v_i}^{(2)} = \{(v_i'; v_j) : v_j \in FW(v_i')\} \cup \{(v_i''; v_j) : v_j \in FW(v_i'')\}.$$

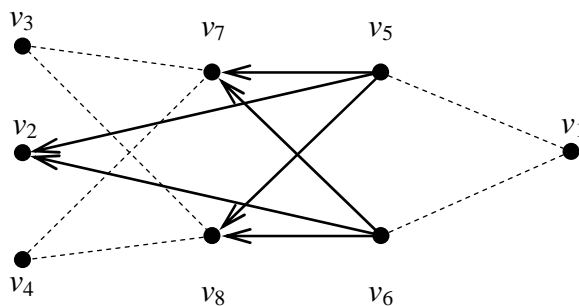


Рис. 6.6. Пример построения множества  $\mathcal{A}_{v_1}^{(2)}$

Шаг 3. Построение фронта волны 1-го порядка вершин  $v_j \in \mathcal{V}_2^i \setminus \{v_i', v_i''\}$  (см. пример на рис. 6.7).

3.1. Построить фронт волны

$$FW(v_j) = \{v_k : (v_j; v_k) \in \mathcal{E}, v_k \in \mathcal{V}_1^i\}, v_j \in \mathcal{V}_2^i.$$

3.2. Построить множество

$$\mathcal{A}_{v_i}^{(3)} = \bigcup_{v_j \in \mathcal{V}_2^i} \{(v_j; v_k) : v_k \in FW(v_j)\}.$$

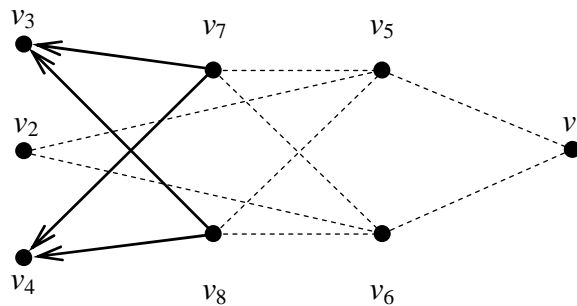


Рис. 6.7. Пример построения множества  $\mathcal{A}_{v_1}^{(3)}$

Шаг 4. Построение орграфа  $G_{v_i}$  (см. пример на рис. 6.8).

4.1. Обратить дуги, построенные на шагах 1 – 3 алгоритма:

$$\widehat{\mathcal{A}}_{v_i}^{(1)} = \{(v_j; v_i) : (v_i; v_j) \in \mathcal{A}_{v_i}^{(1)}\};$$

$$\widehat{\mathcal{A}}_{v_i}^{(2)} = \{(v_j; v_x) : (v_x; v_j) \in \mathcal{A}_{v_i}^{(2)}\};$$

$$\widehat{\mathcal{A}}_{v_i}^{(3)} = \{(v_k; v_j) : (v_j; v_k) \in \mathcal{A}_{v_i}^{(3)}\}.$$

4.2. Построить множество

$$\mathcal{A}_{v_i} = \widehat{\mathcal{A}}_{v_i}^{(1)} \cup \widehat{\mathcal{A}}_{v_i}^{(2)} \cup \widehat{\mathcal{A}}_{v_i}^{(3)}.$$

4.3. Построить орграф  $G_{v_i} = (\mathcal{V}^i, \mathcal{A}_{v_i})$ .



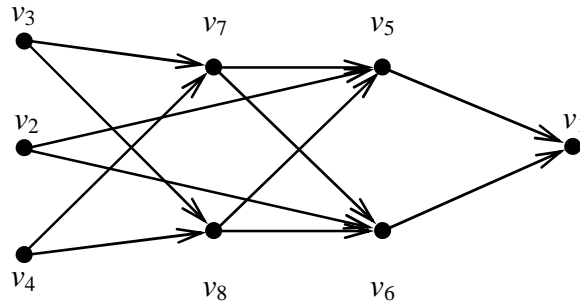


Рис. 6.8. Пример орграфа  $G_{v_1} = (\mathcal{V}^1, \mathcal{A}_{v_1})$

Заметим, что рассматриваемый нами пример является симметричным, т.е. рис. 6.5 – 6.8 иллюстрируют построение графа ПМКПН для любого из четырех SP на рис. 6.3.

Очевидно, что граф  $G_{v_i}$ , построенный в соответствии с полученным алгоритмом, не содержит циклов и петель, а любой маршрут в вершину  $v_i$  содержит не более двух вершин из множества  $\mathcal{V}_2$ . Поэтому для построения множества  $\mathcal{L}(v_i)$ , удовлетворяющего условиям (i\*) и (ii), достаточно применить алгоритм восстановления простой цепи [152,153] в орграфе  $G_{v_i}$ , что будет проиллюстрировано в примерах главы 7.

### 6.3. Метод расчета емкости пучков звеньев сигнализации

На этом этапе решения задачи необходимо рассчитать емкости пучков ЗС, т.е. число звеньев сигнализации в каждом пучке ЗС сети ОКС 7.

Для этого, во-первых, необходимо определить, какие пучки ЗС будут использоваться для обслуживания сигнального трафика в нормальных условиях функционирования сети сигнализации. Во-вторых, для таких пучков требуется рассчитать величину предложенной сигнальной нагрузки, что, в

свою очередь, позволит определить емкость этих пучков исходя из ограничений на значение величины  $C$  пропускной способности одного звена сигнализации. Как указывалось в главе 4, величина пропускной способности измеряется в эрлангах и равна величине сигнальной нагрузки, которая может быть обслужена одним ЗС в условиях максимальной загрузки. Напомним, что величина  $C$  может принимать значение 0,2 Эрл или, в крайнем случае – 0,4 Эрл.

Перейдем к постановке и решению задачи данного раздела. Построим взвешенный орграф  $G_{v_i}[\mathcal{P}] = (\mathcal{V}^i, \mathcal{A}_{v_i}, \mathcal{P})$ , где  $\mathcal{P} = \{1, \dots, P\}$  соответствует множеству значений приоритетов выбора направлений передачи в рассматриваемой сети ОКС 7. С этой целью на множестве ребер орграфа  $G_{v_i}$  введем весовую функцию  $p(\cdot, \cdot)$ , принимающую значения из множества  $\mathcal{P}$ , и сформулируем ограничения для вычисления этой функции. Первое из них следует из правил маршрутизации в нормальных условиях функционирования сети, при которых используются только направления первого (высшего) приоритета:

(iii) для любой вершины  $u \in \mathcal{V}^i \setminus \{v_i\}$  должна найтись, по крайней мере, одна вершина  $y \in D^i(u)$  такая, что  $p(u, y) = 1$ .

В (iii) множество  $D^i(u)$  является образом вершины  $u$  на графе  $G_{v_i}$ .

Заметим, что, как в нормальных условиях, так и в случаях каких-либо отказов сетевых элементов, маршрутизация сигнальных сообщений осуществляется по кратчайшему пути. Например, если в результате отказа некоторых элементов сети

в каком-либо пункте сигнализации оказались недоступными все направления передачи с 1-го по  $p$ -ый ( $p < P$ ), то маршрутизация сообщений в пункт назначения должна осуществляться по кратчайшему пути в направлении с приоритетом  $p+1$ . Из изложенного следует еще одно ограничение для вычисления весовой функции графа  $G_{v_i}$ , а именно:

- (iv) для любых вершин  $u \in \mathcal{V}^i \setminus \{v_i\}$  и  $y_1 \in D^i(u)$  таких, что  $1 < p(u, y_1) \leq P$ , должна найтись, по крайней мере, одна вершина  $y_2 \in D^i(u)$  такая, что  $p(u, y_1) = p(u, y_2) + 1$ .

Таким образом, задача построения взвешенного орграфа  $G_{v_i}[\mathcal{P}]$  сведена к вычислению весовой функции  $p(\cdot, \cdot)$  при ограничениях (iii) и (iv).

Обозначим  $D_p^i(u)$  множество, содержащее все вершины графа  $G_{v_i}$ , смежные вершине  $u$ , и через которые проходят кратчайшие маршруты из вершины  $u$  в вершину  $v_i$ , соответствующие направлениям  $p$ -го приоритета. Данное множество имеет вид

$$D_p^i(u) = \{y : p(u, y) = p; y \in D^i(u)\}, \quad p \in \mathcal{P}, \quad u \in \mathcal{V}_1^i \cup \mathcal{V}_2^i,$$

причем  $D_{p_1}^i(u) \cap D_{p_2}^i(u) = \emptyset$ , если  $p_1 \neq p_2$ . Введем множество

$$F_p^i(u) = \{y : p(u, y) > p; y \in D^i(u)\} \quad (6.7)$$

и заметим, что имеет место соотношение

$$F_p^i(u) = D^i(u) \setminus \bigcup_{q=1}^p D_q^i(u) = F_{p-1}^i(u) \setminus D_p^i(u), \quad (6.8)$$

где  $F_0^i(u) = D^i(u)$ .

Используя введенные обозначения, которые иллюстрированы на рис. 6.9, сформулируем алгоритм присвоения весов ребрам орграфа  $G_{v_i}$ , исходящим из вершины  $u \in \mathcal{V}_1^i \cup \mathcal{V}_2^i$ . Данный алгоритм позволяет вычислять приоритеты передачи сигнальных сообщений в любом пункте сигнализации сети ОКС 7 в направлении заданного пункта назначения.

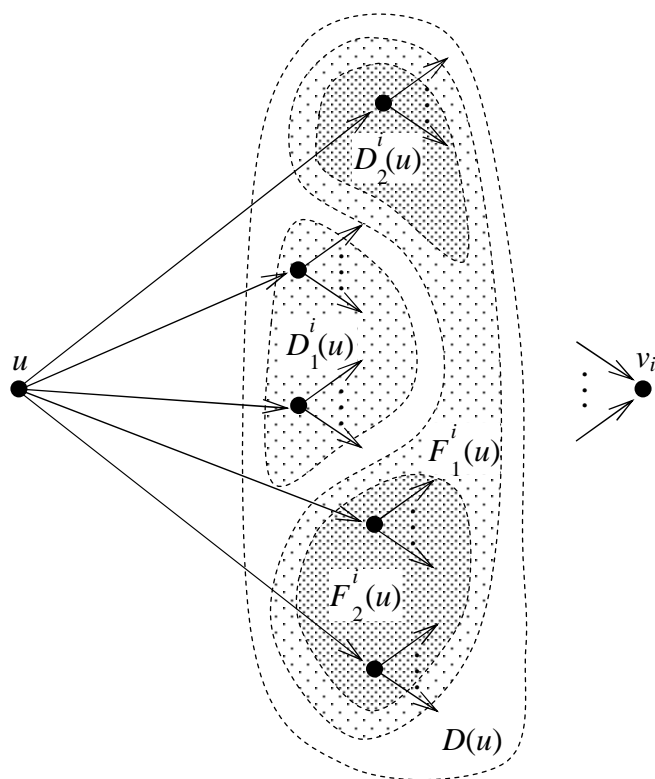


Рис. 6.9. Пример используемых обозначений

*Алгоритм расчета приоритетов направлений передачи сигнальных сообщений.*

Шаг 1.

1.1.  $p := 1; F_0^i(u) := D^i(u).$

Шаг 2.

2.1. Найти кратчайшие маршруты из вершины  $u$  в вершину  $v_i$ , проходящие через вершины множества  $F_{p-1}^i(u).$

2.2. Построить множество  $D_p^i(u).$

2.3.  $p(u, y) := p$ , если  $y \in D_p^i(u).$

Шаг 3.

3.1. Построить множество  $F_p^i(u).$

3.2. Если  $F_p^i(u) = \emptyset$ , то завершить работу алгоритма.

3.3.  $p := p + 1$  и, если  $p \leq P$ , то перейти к шагу 2.1, иначе завершить работу алгоритма.

Применим полученный алгоритм для взвешивания ребер орграфа  $G_{v_i}$ , изображенного на рис. 6.8. Заметим, что в рассматриваемом примере невозможно найти другое решение для построения орграфа  $G_{v_i}[\mathcal{P}]$  (рис. 6.10) в случае  $T = 2$ , каким бы ни было значение величины  $P \geq 1$ .

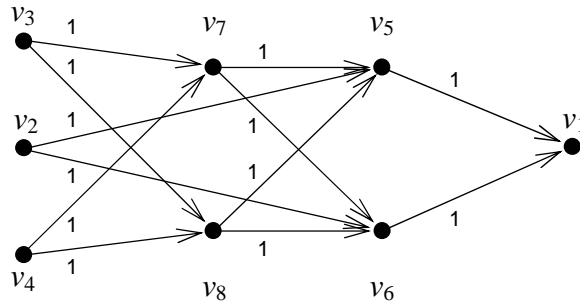


Рис. 6.10. Пример взвешенного графа

$$G_{v_1}[\{1\}] = (\mathcal{V}^1, \mathcal{A}_{v_1}, \{1\})$$

Таким образом, нами получены метод и алгоритм для расчета взвешенных орграфов  $G_{v_i}[\mathcal{P}]$ , позволяющие строить ПМКПН сети ОКС 7 с учетом приоритетов направлений передачи и в соответствии с правилами маршрутизации сигнальных сообщений. Теперь все готово для постановки и решения основной задачи данного раздела – расчета емкости пучков ЗС сети сигнализации.

Введем оргграф  $H_{v_i} = (\mathcal{U}_i, \mathcal{B}_{v_i})$ , который порождается графом  $G_{v_i}[\mathcal{P}]$  таким образом, что множество вершин орграфа  $H_{v_i}$  имеет вид

$$\mathcal{U}^i = \mathcal{U}_1^i \cup \mathcal{U}_2^i \cup \{v_i\}, \quad (6.9)$$

где

$$\mathcal{U}_1^i = \mathcal{V}_1^i, \quad \mathcal{U}_2^i = \bigcup_{x \in \mathcal{V}_1^i \cup \mathcal{V}_2^i} D^i(x).$$

Множество ребер графа  $H_{v_i}$  будем определять по формуле

$$\mathcal{B}_{v_i} = \{(x, y) : p(x, y) = 1; (x, y) \in \mathcal{A}_{v_i}\}. \quad (6.10)$$

Нетрудно убедиться, что в рассматриваемом нами примере, в силу сделанного выше замечания, для любой вершины  $v_i \in \mathcal{V}_1^i$  оргграф  $H_{v_i}$  совпадает с графом  $G_{v_i}$ . В главе 7 рассматривается случай, когда эти графы не совпадают и число приоритетов выбора направлений передачи отлично от единицы, т.е.  $P > 1$ .

На множестве ребер графа  $H_{v_i}$  введем весовую функцию  $q_i^1(\cdot, \cdot)$ , принимающую значения на отрезке  $[0, 1]$ , и определим эту функцию по формуле

$$q_i^1(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{|D_1^i(x)|}, & y \in D_1^i(x), \\ 0, & y \notin D_1^i(x). \end{cases} \quad (6.11)$$

Заметим, что значение данной функции на ребре  $(x, y)$  оргграфа  $H_{v_i}$  определяет долю сигнальной нагрузки, которую надо пропустить по соответствующему пучку ЗС сети ОКС 7. На оргграфе  $H_{v_i}$  введем множество весов

$$\mathcal{Q}_i^1 = \{q_i^1(x, y) : (x, y) \in \mathcal{B}_{v_i}\} \quad (6.12)$$

и получим взвешенный граф  $H_{v_i}[\mathcal{Q}_i^1] = (\mathcal{U}^i, \mathcal{B}_{v_i}, \mathcal{Q}_i^1)$ .

Пример оргграфа  $H_{v_i}[\mathcal{Q}_i^1]$ , порожденного графом  $G_{v_i}$  (см. рис. 6.8) и взвешенного с использованием формулы (6.11), показан на рис. 6.11. Данный пример можно рассчитать самостоятельно, убедившись, что

$$q_1^1(v_5, v_1) = q_1^1(v_6, v_1) = 1, \\ q_1^1(v_2, v_5) = \dots = q_1^1(v_8, v_6) = \frac{1}{2}.$$

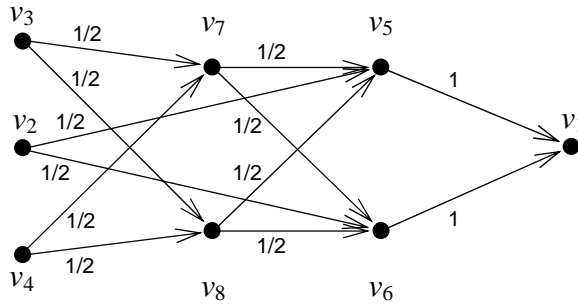


Рис. 6.11. Пример взвешенного графа  $H_{v_1} [Q_1^i]$

Будем считать, что для каждого сигнального отношения сети ОКС 7 известно значение сигнальной нагрузки в прямом и обратном направлениях. С точки зрения теории графов это означает, что для каждой пары вершин  $(u, v) \in \mathcal{R}$  известна величина  $f(u, v)$  потока из вершины  $u$  в вершину  $v$  графа  $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  сети ОКС 7. Задача состоит в определении суммарного потока  $\Phi(u, v)$  по дуге  $(u, v) \in \mathcal{E}$  этого графа. Заметим, что в соответствии с требованием к пропускной способности одного ЗС сети ОКС 7 величина потока  $\Phi(u, v)$  должна удовлетворять ограничению

$$0 \leq \Phi(u, v) \leq C \cdot 2^H, \quad (6.13)$$

где величина  $H$  соответствует числу бит в поле SLS этикетки маршрутизации, используемых для разделения сигнальной нагрузки.

Как и ранее, воспользуемся методом декомпозиции для решения сформулированной нами для графа  $G$  потоковой задачи и найдем величину  $\varphi_i(u, x)$  потока по ребру  $(u, x)$  орграфа  $H_{v_1}$ . Обозначим  $f_i(u)$  поток, проходящий через вершину  $u \in \mathcal{U}_1^i$ , и заметим, что



$$f_i(u) = \begin{cases} f(u, v_i), & \text{если } u \in \mathcal{V}_1^i, \\ \sum_{x \in \mathcal{V}_1^i} f(x, v_i), & \text{если } u = v_i. \end{cases} \quad (6.14)$$

Теперь можем составить уравнения для нахождения потоков  $f_i(\cdot)$  аналогично тому, как это делается в теории открытых экспоненциальных сетей массового обслуживания [37,41]. Нетрудно убедиться, что искомые уравнения имеют вид

$$f_i(u) = I_u(\mathcal{Q}_1^i) f(u, v_i) + I_u(\mathcal{Q}_2^i) \sum_{v \in \mathcal{Q}_1^i \cup \mathcal{Q}_2^i} f_i(v) q_i^1(v, u), \quad u \in \mathcal{Q}_1^i \cup \mathcal{Q}_2^i, \quad (6.16)$$

где  $I_u(\cdot)$  индикаторная функция, т.е.

$$I_u(\mathcal{Q}_1^i) = \begin{cases} 1, & u \in \mathcal{Q}_1^i, \\ 0, & u \notin \mathcal{Q}_1^i. \end{cases}$$

Заметим, что, как и для открытых сетей массового обслуживания, система (6.16) является системой линейных алгебраических уравнений, которая имеет единственное решение. Несмотря на достаточно сложную запись уравнений (6.16), на практике они составляются весьма просто. Например, для графа на рис. 6.11 эти уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} f_1(v_1) &= f_1(v_5) + f_1(v_6); \\ f_1(v_2) &= f_1(v_2, v_1); \\ f_1(v_3) &= f_1(v_3, v_1); \\ f_1(v_4) &= f_1(v_4, v_1); \\ f_1(v_5) &= \frac{1}{2} f_1(v_2) + \frac{1}{2} f_1(v_7) + \frac{1}{2} f_1(v_8); \\ f_1(v_6) &= \frac{1}{2} f_1(v_2) + \frac{1}{2} f_1(v_7) + \frac{1}{2} f_1(v_8); \end{aligned}$$

$$f_1(v_7) = \frac{1}{2} f_1(v_3) + \frac{1}{2} f_1(v_4);$$

$$f_1(v_8) = \frac{1}{2} f_1(v_3) + \frac{1}{2} f_1(v_4).$$

В рассматриваемом примере будем считать, что нагрузка на все сигнальные отношения одинакова и равна  $a$ . Тогда имеем, что  $f_1(u, v_i) = a$ , если  $u = v_2, v_3, v_4$ . Поэтому решение полученной выше системы уравнений имеет вид

$$f_1(v_1) = 3a,$$

$$f_1(v_2) = f_1(v_3) = f_1(v_4) = f_1(v_7) = f_1(v_8) = a,$$

$$f_1(v_5) = f_1(v_6) = \frac{3a}{2}.$$

Остается найти величину потока  $\Phi(u, v)$  по ребру  $(u, v)$  графа  $G$ . Для этого заметим, что величина потока  $\varphi_i(u, x)$  по ребру  $(u, x)$  графа  $H_{v_i}$  определяется формулой

$$\varphi_i(u, x) = f_i(u) q_i^1(u, x), \quad (u, x) \in \mathcal{R}_{v_i}, \quad (6.17)$$

где  $q_i^1(u, x)$  вычисляется по формуле (6.11). Следует отметить, что формула (6.17) вытекает из правил разделения сигнальной нагрузки между пучками ЗС при маршрутизации сигнальных сообщений SP сети ОКС 7, который соответствует вершине  $v_i$  графа  $G$ .

В рассматриваемом примере, используя формулу (6.17), имеем (см. также рис. 6.12)

$$\varphi(v_3, v_1) = \varphi(v_6, v_1) = \frac{3a}{2},$$

$$\varphi(v_2, v_5) = \dots = \varphi(v_8, v_6) = \frac{a}{2}.$$

Величина потока  $\Phi(u, v)$  по ребру  $(u, v)$  графа  $G$  вычисляется путем суммирования потоков  $\varphi_i(u, v)$  по соответст-

вующим ребрам графов  $G_{v_i}$ ,  $v_i \in \mathcal{V}_1$ , т.е. имеет место формула

$$\Phi(u, v) = \sum_{v_i \in \mathcal{V}_1} \sum_{(x, y) \in \mathcal{A}_{v_i}} (\varphi_i(x, y) + \varphi_i(y, x)), (u, v) \in \mathcal{E}. \quad (6.18)$$

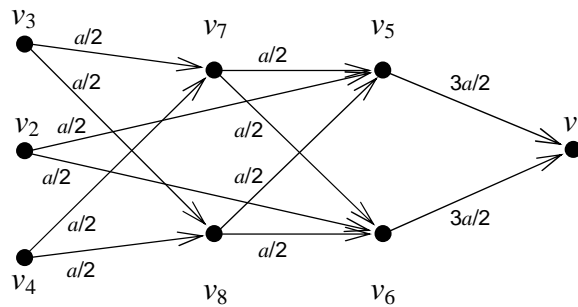


Рис. 6.12. Пример расчета потоков на ребрах графа  $G_{v_1}$

Опуская для краткости простейшие арифметические действия, для рассматриваемого в примере графа  $G$  сети ОКС 7 (см. рис. 6.4), получаем, что

$$\Phi(u, v) = \begin{cases} 3a, & \text{если } (u, v) \in \{(x, y) \in \mathcal{E} : x, y \in \mathcal{V}_2\}, \\ 4a, & \text{если } (u, v) \in \{(x, y) \in \mathcal{E} : x \in \mathcal{V}_1, y \in \mathcal{V}_2\}. \end{cases}$$

Имея значения потоков на ребрах графа  $G$ , можно рассчитать емкости ЗС сети ОКС 7. Для этого для каждого ребра  $(u, v)$  графа  $G$  достаточно найти величину  $N(u, v)$ , которая вычисляется по формуле

$$N(u, v) = \left\lceil \frac{\Phi(u, v)}{C} \right\rceil, \quad (6.19)$$

где

$$\lceil x \rceil = \begin{cases} x, & x \in Z^+, \\ \lfloor x \rfloor + 1, & x \notin Z^+. \end{cases}$$

Напомним, что величина  $N(u, v)$  определяет емкость пучка ЗС, соответствующего дуге  $(u, v)$  графа  $G$  сети ОКС 7.

Заканчивая примеры данного раздела, положим  $C = 0, 2$  и  $a = 0, 1$ . В этом случае по формуле (6.19) получаем, что  $N(u, v) = 2$  для всех  $(u, v) \in \mathcal{E}$ . Тогда рассматриваемая сеть ОКС 7 будет иметь вид, показанный на рис. 6.13, где, в отличие от рис. 6.3, сплошными линиями изображены звенья, а не пучки звеньев сигнализации.

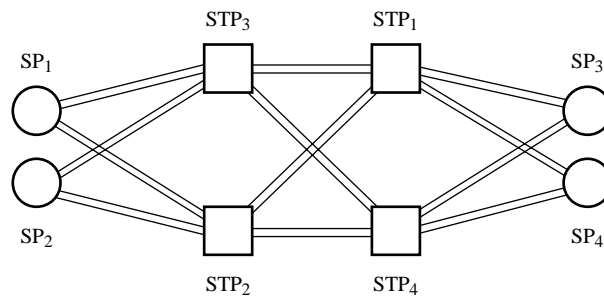


Рис. 6.13. Пример сети ОКС 7 с рассчитанными емкостями пучков ЗС

#### 6.4. Метод расчета значений кодов селекции звена сигнализации

Напомним, что сигнальные сообщения в сети ОКС 7 маршрутизируются на основе этикетки маршрутизации и данных, хранящихся в маршрутных таблицах узлов сети ОКС 7. Этикетка маршрутизации является обязательной частью любого сигнального сообщения и имеет формат, показанный на рис. 3.17. Будем считать, что поле SLS этикетки маршрутизации имеет длину  $H$  бит, и заметим, что в между-

народных стандартах  $H = 4$ , а в стандартах Американского национального института стандартизации принято, что  $H = 6$ . Результаты данного раздела получены для произвольного значения величины  $H$  при некоторых упрощающих предположениях, что не влияет на суть излагаемого ниже метода.

Итак, примем, что формат поля SLS этикетки маршрутизации имеет вид, как на рис. 6.14, и поэтому, в любом исходящем пункте сигнализации для каждого пункта назначения генерируется  $2^H$  значений кодов SLS.

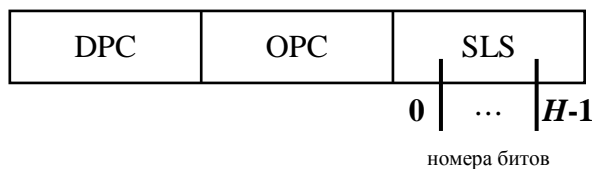


Рис. 6.14. Формат поля SLS этикетки маршрутизации

В каждом узле сети ОКС 7 по значению поля DPC этикетки маршрутизации определяется, в какой пункт сигнализации должно быть направлено сигнальное сообщение. Поле OPC не участвует в маршрутизации сигнальных сообщений и используется в служебных целях, например, для защиты сети ОКС 7 от несанкционированных воздействий. Для сигнальных сообщений с одинаковым значением поля DPC должен быть построен план маршрутизации по коду пункта назначения (ПМКПН). Эта задача решена в разделе 6.2. В соответствии с планом маршрутизации в каждом узле ОКС 7 существует, по крайней мере, одно направление передачи сигнальных сообщений в пункт назначения. Если их несколько, то для выбора направления используется значение поля SLS (код SLS) метки маршрутизации. Выбор направления заключается в определении ЗС, по которому сигнальное сообщение будет

передано в узел сети ОКС 7, смежный узлу, в котором осуществляется его маршрутизация.

Поясним изложенное на примере сети ОКС 7, изображенной на рис. 6.13, где каждый пучок содержит по два ЗС. Рассмотрим маршрутизацию сигнальных сообщений в исходящем пункте  $SP_3$  в направлении пункта назначения  $SP_1$ . Из рисунка видно, что имеется всего четыре направления передачи из  $SP_3$  в  $SP_1$ , т.е. два ЗС в пучке  $SP_3 \rightarrow STP_1$  и два ЗС в пучке  $SP_3 \rightarrow STP_4$ . Между этими четырьмя ЗС необходимо равномерно распределить значения  $2^H$  кодов SLS (принцип равномерного разделения нагрузки в сети ОКС 7). Очевидно, что это достигается распределением кодов SLS между двумя пучками (по  $2^{H-1}$  значений кодов на каждый пучок), а затем между ЗС каждого пучка (по  $2^{H-2}$  значений кодов на каждое ЗС).

Аналогично приведенному выше примеру, коды SLS распределяются в каждом пункте сети ОКС 7 (SP и STP) для направлений передачи всех имеющихся приоритетов. То есть в каждом пункте все  $2^H$  кодов SLS должны быть равномерно распределены по всем направлениям передачи в каждый пункт назначения.

В данном разделе предлагается математический метод решения задачи выбора направления передачи сигнальных сообщений в сети ОКС7 по значениям кодов SLS, т.е. задачи разделения сигнальной нагрузки между пучками ЗС и звеньями сигнализации каждого пучка. Для простоты изложения метода будем считать:

- (а) в каждом узле сети ОКС7 имеется  $2^\alpha$  пучков ЗС, по которым передаются сигнальные сообщения, где  $0 \leq \alpha \leq H$  ;
- (б) число ЗС в каждом пучке равно  $2^\beta$ , где  $0 \leq \beta \leq H$  ;
- (в) передача всех сигнальных сообщений осуществляется с одинаковым приоритетом ( $P = 1$ ).

Сформулированная задача решается путем раскраски ребер мультиграфа, построенного на графе маршрутизации сигнальных сообщений по коду пункта назначения. Сразу оговорим, что один цвет в математической постановке задачи будет взаимнооднозначно соответствовать одному значению кода SLS.

В силу сделанного выше предположения (в), рассмотрим взвешенный граф  $G_{v_1}[\{1\}]$ , пример которого изображен на рис. 6.10. Напомним, что такой граф определяет план маршрутизации сигнальных сообщений по коду SP, соответствующего вершине  $v_1$  графа  $G$  сети ОКС 7. Отметим также, что все без исключения направления передачи в этом плане маршрутизации имеют высший приоритет, т.е.  $P=1$ .

Рассмотрим ориентированный мультиграф  $\tilde{G}_{v_1} = (\mathcal{V}^i, \tilde{\mathcal{A}}_{v_1})$ , который строится на базе графа  $G_{v_1}[\mathcal{P}]$  и результатов расчета емкости пучков ЗС сети ОКС 7.

Способ построения мультиграфа  $\tilde{G}_{v_1}$  проще всего объяснить на конкретном примере. На рис. 6.15 изображен мультиграф  $\tilde{G}_{v_1}$ , который построен с помощью взвешенного орграфа  $G_{v_1}[\{1\}]$ , изображенного на рис. 6.10.

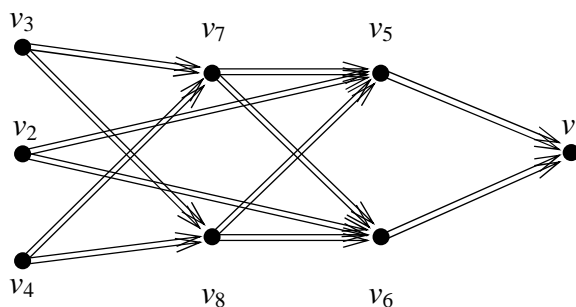


Рис. 6.15. Пример мультиграфа  $\tilde{G}_{v_1} = (\mathcal{V}^1, \tilde{\mathcal{A}}_{v_1})$

Число ребер каждого мультиребра графа  $\tilde{G}_{v_i}$  рассчитано в примере предыдущего раздела данной главы (см. рис. 6.13).

Введем обозначения, необходимые для формулировки метода раскраски ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_i}$ . Пример, поясняющий часть обозначений, приведен на рис. 6.16, где  $D(u)$  – образ вершины  $u$ , а  $B(u, x)$  – множество ребер мультиребра с началом в вершине  $u$  и окончанием в вершине  $x$  (далее мультиребро  $(u, x)$ ).

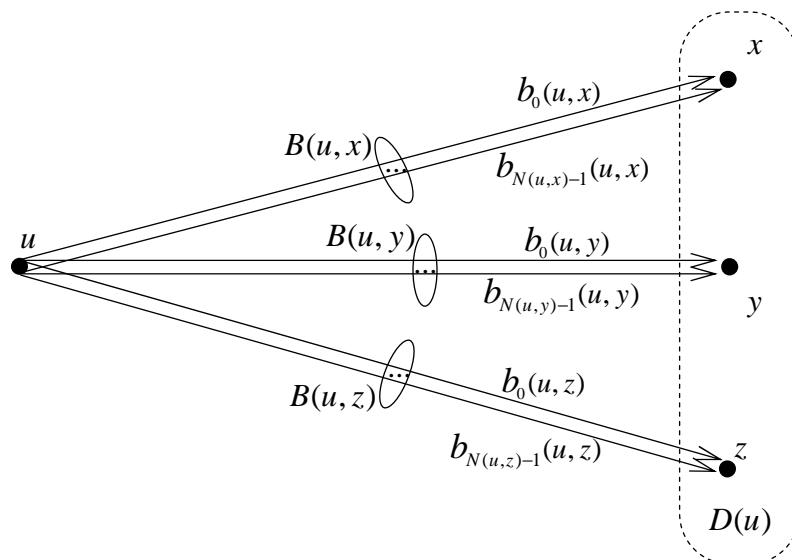


Рис. 6.16. Пример используемых обозначений

Пронумеруем все ребра мультиребра  $(u, x)$ , начиная с 0 по номер  $N(u, x) - 1$ , где  $N(u, x) = |B(u, x)|$ , и представим множество  $B(u, x)$  в виде

$$B(u, x) = \{b_0(u, x), b_1(u, x), \dots, b_{N(u,x)-1}(u, x)\}, \quad (6.20)$$



где запись  $b_l(u, x)$  обозначает ребро с номером  $l$  мультиребра  $(u, x)$ ,  $l \in \mathcal{N}(u, x) = \{0, \dots, N(u, x) - 1\}$ . Перенумеруем также все мультиребра, исходящие из вершины  $u$ , и обозначим  $a(u, x)$  номер мультиребра  $(u, x)$ , т.е.  $a(u, x) \in \{0, \dots, d(u) - 1\}$ , где  $d(u) = |D(u)|$ . Заметим, что из предположений (а) и (б) следует, что величины  $d(u)$  и  $N(u, x)$  представимы в виде  $d(u) = 2^{k(u)}$  и  $N(u, x) = 2^{k(u, x)}$ , где  $k(u), k(u, x) \in \{0, \dots, H\}$ . Таким образом, величина  $k(u)$  однозначно определяет количество мультиребер, исходящих из вершины  $u$ , а величина  $k(u, x)$  – число ребер мультиребра  $(u, x)$ .

Для раскраски ребер графа  $\tilde{G}_{v_i}$  введем множество  $\mathcal{C}$  пронумерованных цветов, начиная с номера 0, и заметим, что, в соответствии с постановкой задачи, данное множество имеет вид

$$\mathcal{C} = \{0, 1, \dots, 2^H - 1\}. \quad (6.21)$$

Обозначим  $\mathcal{C}(u, x) \subseteq \mathcal{C}$  множество цветов для раскраски мультиребра  $(u, x)$  и заметим, что для любой вершины  $u$  должны выполняться соотношения:

$$\mathcal{C}(u, x) \cap \mathcal{C}(u, y) = \emptyset, \quad x \neq y, \quad x, y \in D(u), \quad (6.22)$$

$$\mathcal{C} = \bigcup_{x \in D(u)} \mathcal{C}(u, x). \quad (6.23)$$

Для раскраски ребра  $b_l(u, x)$  введем множество цветов  $\mathcal{C}_l(u, x) \subseteq \mathcal{C}(u, x)$ . Поскольку цвета, используемые для раскраски ребер с разными номерами, совпадать не должны, то имеют место следующие соотношения:

$$\mathcal{C}_l(u, x) \cap \mathcal{C}_m(u, x) = \emptyset, \quad l \neq m, \quad l, m \in \mathcal{N}(u, x), \quad (6.24)$$

$$\mathcal{C}(u, x) = \bigcup_{l \in \mathcal{N}(u, x)} \mathcal{C}_l(u, x). \quad (6.25)$$

Используя введенные выше обозначения и формулы (6.22) – (6.25), сформулируем ограничения, при которых осуществляется раскраска ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_i}$  в соответствии с принципами разделения сигнальной нагрузки в сети ОКС 7. Нумерация данных ограничений продолжает нумерацию ограничений, используемых в предыдущих разделах данной главы.

- (v)  $\bigcup_{x \in D(u)} \bigcup_{l \in \mathcal{N}(u,x)} \mathcal{C}_l(u,x) = \mathcal{C}$ , т.е. все цвета множества  $\mathcal{C}$  должны быть использованы для раскраски всех ребер, началом которых является вершина  $u$ .
- (vi)  $|\mathcal{C}(u,x)| = |\mathcal{C}(u,y)|$ ,  $x \neq y$ ,  $x, y \in D(u)$ , т.е. количество цветов, используемых для раскраски мультиребер, исходящих из вершины  $u$ , должно быть одинаково.
- (vii)  $|\mathcal{C}_l(u,x)| = |\mathcal{C}_m(u,x)|$ ,  $l \neq m$ ,  $l, m \in \mathcal{N}(u,x)$ ,  $x \in D(u)$ , т.е. количество цветов, используемых для раскраски ребер мультиребра  $(u,x)$ , должно быть одинаково.

С точки зрения маршрутизации сигнальных сообщений ограничение (v) означает, что при разделении сигнальной нагрузки в любом пункте сигнализации могут быть сгенерированы все из  $2^h$  возможных кодов SLS. Ограничение (vi) соответствует равномерному разделению нагрузки между пучками ЗС, а ограничение (vii) – между звеньями каждого пучка ЗС.

Для раскраски ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_i}$ , в соответствии с критериями (v) – (vii), введем множества

$$c_h(L) = \{L, L+1, \dots, L+2^h - 1\} \quad (6.26)$$

и

$$c_h(L,m) = \{L, L+2^m, \dots, L+2^m(2^h - 1)\}, \quad (6.27)$$

где  $L \in \mathcal{C}$ ,  $h = \overline{0, H}$  и  $m = \overline{0, H-1}$ . Заметим, что  $c_h(L)$  и  $c_h(L, m)$  являются подмножествами множества всех цветов  $\mathcal{C}$ . Множества  $c_h(L)$  будем использовать для раскраски мультиребер, а множества  $c_h(L, m)$  – для раскраски ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_i}$ . Сформулируем теперь основной результат данного раздела.

*Раскраска любого мультиребра  $(u, x)$ , удовлетворяющая ограничениям (v) и (vi), определяется по формуле*

$$\mathcal{C}(u, x) = c_{H-k(u)}(a(u, x)2^{H-k(u)}). \quad (6.28)$$

*Раскраска ребра с номером  $b_l(u, x)$ , удовлетворяющая ограничению (vii), определяется по формуле*

$$\mathcal{C}_l(u, x) = c_{H-k(u)-k(u,x)}(a(u, x)2^{H-k(u)} + l, k(u, x)). \quad (6.29)$$

Напомним, что в формулах (6.28) и (6.29) величина  $a(u, x)$  является номером мультиребра  $(u, x)$ , величина  $k(u)$  – числом мультиребер, исходящих из вершины  $u$ , а величина  $k(u, x)$  – числом ребер мультиребра  $(u, x)$ . Для краткости изложения доказательство формул (6.28) и (6.29) не приводится, а ниже подробно рассматривается пример применения изложенного выше метода.

В рассматриваемом примере этикетка маршрутизации имеет вид, показанный на рис. 6.17, а маршрутизация сигнальных сообщений осуществляется по плану маршрутизации, граф которого приведен на рис. 6.10. В этом случае маршрутизация сигнальных сообщений осуществляется из  $SP_i$  (вершины  $v_i$ ,  $i = 2, 3, 4$ ) в  $SP_1$  (вершина  $v_1$ ).

DPC=SP <sub>1</sub>	OPC=SP <sub>i</sub>	X	X
		0	1
		номера битов	

Рис. 6.17. Пример этикетки маршрутизации  
( $H = 2$ ,  $X \in \{0,1\}$ )

В примере положим, что число битов поля SLS равно 2, т.е.  $H = 2$  (см. рис. 6.17). Тогда из формулы (6.21) следует, что ребра мультиграфа раскрашиваются в 4 цвета, т.е.  $\mathcal{C} = \{0,1,2,3\}$ . Покажем применение метода к раскраске мультиребер  $(v_3, v_7)$  и  $(v_5, v_1)$  графа  $\tilde{G}_{v_1}$ . Нетрудно убедиться, что параметры, необходимые для раскраски этих мультиребер, имеют значения, представленные в таблице 6.2.

Таблица 6.2

Параметр	Мультиребро графа $\tilde{G}_{v_1}$	
	$(v_3, v_7)$	$(v_5, v_1)$
$D(u)$	$D(v_3) = \{v_7, v_8\}$	$D(v_5) = \{v_1\}$
$d(u)$	$d(v_3) = 2$	$d(v_5) = 1$
$k(u)$	$k(v_3) = 1$	$k(v_5) = 0$
$N(u, x)$	$N(v_3, v_7) = 2$	$N(v_5, v_1) = 2$
$k(u, x)$	$k(v_3, v_7) = 1$	$k(v_5, v_1) = 1$
$a(u, x)$	$a(v_3, v_7) = 0$	$a(v_5, v_1) = 0$

Подставляя значения параметров из таблицы 6.2 в формулы (6.28) и (6.29), получаем раскраску мультиребер  $(v_3, v_7)$  и  $(v_5, v_1)$ , а также ребер этих мультиребер (таблица 6.3).

Таблица 6.3

Мультиребро	Раскраска мультиребра	Раскраска ребер мультиребра
$(v_3, v_7)$	$\mathcal{C}(v_3, v_7) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_7) = c_0(0, 1) = \{0\}$
		$\mathcal{C}_1(v_3, v_7) = c_0(1, 1) = \{1\}$
$(v_5, v_1)$	$\mathcal{C}(v_5, v_1) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_1) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_5, v_1) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$

Результат раскраски всех ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_1}$  показан на рис. 6.18, где номера цветов, в которые раскрашены ребра, обозначены цифрами в фигурных скобках.

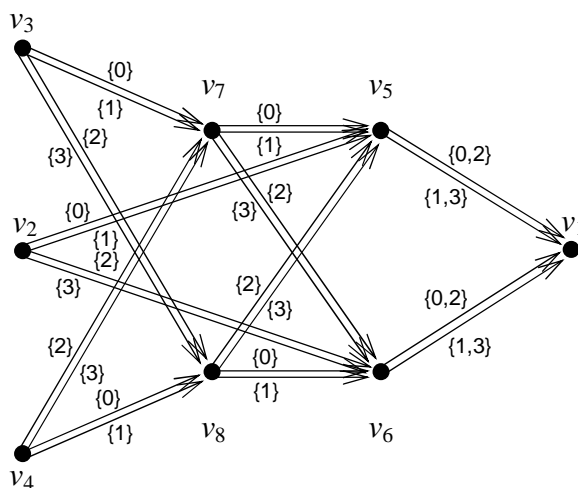


Рис. 6.18. Пример раскрашенного мультиграфа  $\tilde{G}_{v_1}$

Раскрашенному мультиграфу на рис. 6.18 соответствует план маршрутизации сигнальных сообщений на рис. 6.19, где коды SLS показаны в двоичном виде. Отметим, что на рис. 6.19 ребра  $b_0(v_5, v_1)$  и  $b_1(v_5, v_1)$ ,  $b_0(v_6, v_1)$  и  $b_1(v_6, v_1)$  раскрашены каждое в два цвета. Поэтому по соответствующим ЗС на рис. 6.21 могут передаваться сигнальные сообщения с двумя кодами SLS. Эти коды обозначены X0 и X1, где  $X \in \{0,1\}$ .

В заключение к данному разделу рассмотрим пример маршрута передачи сигнального сообщения с этикеткой

DPC=SP <sub>1</sub>	OPC=SP <sub>3</sub>	1	0
		0	1
номера битов			

в соответствии с планом маршрутизации, показанным на рис. 6.19. Нетрудно убедиться, что данный маршрут имеет вид  $SP_3 \rightarrow STP_4 \rightarrow STP_1 \rightarrow SP_1$ , т.е. он начинается в исходящем

пункте  $SP_3$ , проходит через транзитные пункты  $STP_4$  и  $STP_1$  и заканчивается в пункте назначения  $SP_1$ . Аналогично строятся маршруты для всех остальных исходящих пунктов и для любого кода SLS этикетки маршрутизации.

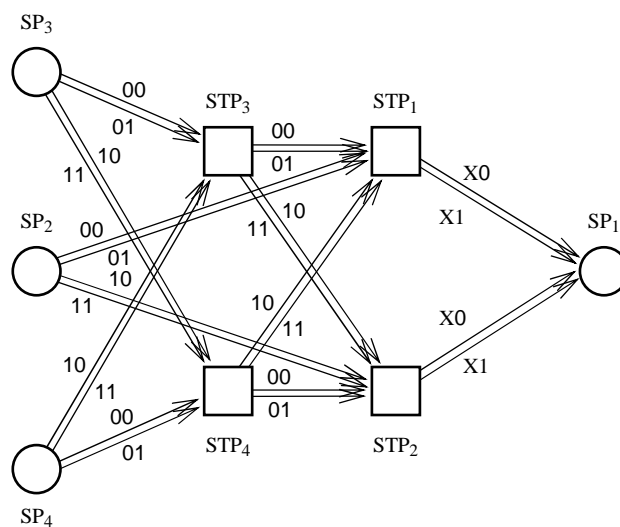


Рис. 6.19. Пример распределения кодов SLS

Метод, предложенный в данном разделе, основан на результатах, полученных в [118], и позволяет в терминах теории графов решить задачу построения плана маршрутизации сети ОКС 7 с учетом равномерного распределения нагрузки.

## ГЛАВА 7

### ПРИМЕР РАСЧЕТА СЕТИ ОКС 7

#### 7.1. Структура сети и исходные данные

Рассмотрим сеть ОКС 7 со структурой, показанной на рис. 7.1. Сеть с такой структурой типична для ряда сетей ОКС 7 регионального уровня иерархии ВСС РФ, построенных для базовой сети связи с узлообразованием. Например, аналогичную структуру имеет сеть ОКС 7 Московского региона (индикатор сети  $NI=11_{bin}$ ) [90]. Заметим, что эта сеть является сетью большой размерности, так как насчитывает около 200 пунктов сигнализации различных типов.

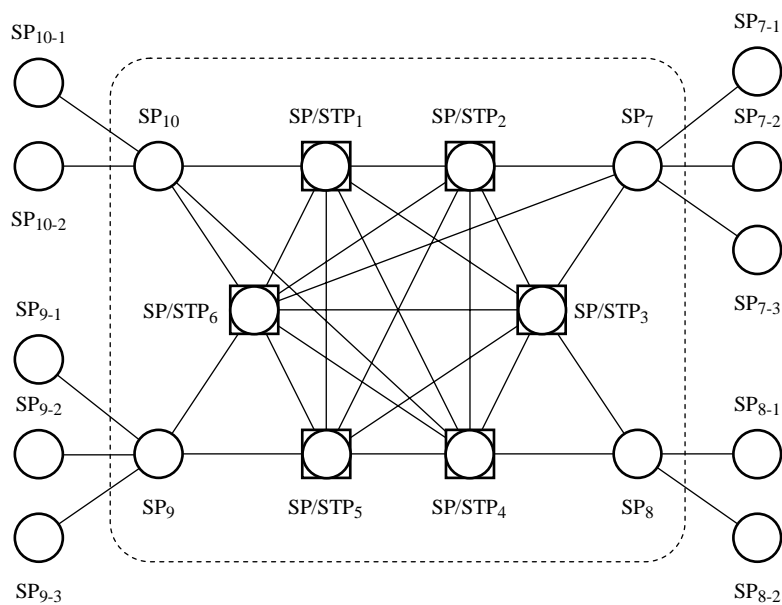


Рис. 7.1. Типовая структура сети ОКС 7 регионального уровня иерархии



В данной главе рассматривается пример расчета плана маршрутизации для сети ОКС 7 на рис. 7.1. С целью краткости изложения сделаем несколько упрощающих предположений о структуре сети, которые не влияют на полноту демонстрации методов, полученных в главе 6 (рис. 7.2). Во-первых, будем рассматривать только ту часть сети ОКС 7, в которой используется квазисвязанный режим сигнализации, поскольку расчет в случае связанного режима тривиален. Этот фрагмент структуры сети на рис. 7.1 выделен пунктирной линией. Во-вторых, будем считать, что в сети отсутствуют комбинированные пункты сигнализации типа SP/STP, т.е. в примере на рис. 7.2 пункты с номерами с 1-го по 6-й обладают только функциями транзита сигнальных сообщений. Заметим, что последнее предположение сделано исключительно с целью сокращения объема излагаемых материалов.

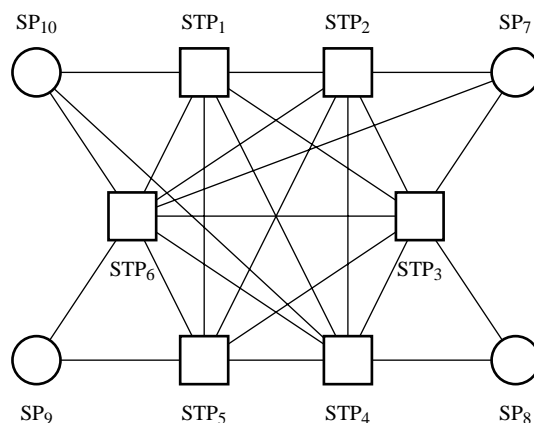


Рис. 7.2. Пример структуры сети ОКС 7

В примере примем, что  $H = 2$ , т.е. разделение сигнальной нагрузки между пучками ЗС и звеньями одного пучка осуществляется по двум битам поля СЗС, и пусть  $P = 2$  (число приоритетов выбора направлений передачи в узлах сети) и  $T = 2$  (максимальное число переключений в STP на сигнальных

маршрутах). Предположим, что все SP рассматриваемой сети находятся в сигнальных отношениях. Будем считать, что для каждого сигнального отношения величины сигнальных нагрузок в прямом и обратном направлениях совпадают. Поэтому матрица нагрузок на сигнальные отношения является симметричной (таблица 7.1).

Таблица 7.1

	SP <sub>7</sub>	SP <sub>8</sub>	SP <sub>9</sub>	SP <sub>10</sub>
SP <sub>7</sub>	–	$a_1$	$a_2$	$a_3$
SP <sub>8</sub>	$a_1$	–	$a_4$	$a_5$
SP <sub>9</sub>	$a_2$	$a_4$	–	$a_6$
SP <sub>10</sub>	$a_3$	$a_5$	$a_6$	–

Итак, имеем структуру сети ОКС 7, которая состоит из шести STP и четырех SP, причем SP<sub>8</sub> и SP<sub>9</sub> опираются пучками ЗС на два STP, а SP<sub>7</sub> и SP<sub>10</sub> – на три STP. Сеть STP является полносвязной и содержит 15 пучков ЗС.

Для формирования исходных данных остается перенумеровать все пучки ЗС, что рекомендуется делать для каждого узла сети ОКС 7 в десятичном виде, начиная с номера 0, как это показано в таблице 7.2.

Таблица 7.2

Номер пучка ЗС	STP <sub>1</sub>	STP <sub>2</sub>	STP <sub>3</sub>	STP <sub>4</sub>	STP <sub>5</sub>	STP <sub>6</sub>	SP <sub>7</sub>	SP <sub>8</sub>	SP <sub>9</sub>	SP <sub>10</sub>
STP <sub>1</sub>	–	0	1	2	3	4	–	–	–	5
STP <sub>2</sub>	0	–	1	2	3	4	5	–	–	–
STP <sub>3</sub>	0	1	–	2	3	4	5	6	–	–
STP <sub>4</sub>	0	1	2	–	3	4	–	5	–	6
STP <sub>5</sub>	0	1	2	3	–	4	–	–	5	–
STP <sub>6</sub>	0	1	2	3	4	–	5	–	6	7

Таблица 7.2 (продолжение)

SP <sub>7</sub>	–	0	1	–	–	2	–	–	–	–
SP <sub>8</sub>	–	–	0	1	–	–	–	–	–	–
SP <sub>9</sub>	–	–	–	–	0	1	–	–	–	–
SP <sub>10</sub>	0	–	–	1	–	2	–	–	–	–

**7.2. Расчет планов маршрутизации по кодам пунктов назначения**

Следуя методу, полученному в разделе 6.2, построим план маршрутизации сигнальных сообщений для сети ОКС 7 на рис. 7.2. Неориентированный граф  $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  этой сети показан на рис. 7.3, причем  $\mathcal{V} = \mathcal{V}_1 \cup \mathcal{V}_2$ , где  $\mathcal{V}_1 = \{v_7, v_8, v_9, v_{10}\}$ ,  $\mathcal{V}_2 = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ , а множество  $\mathcal{R}$  сигнальных отношений имеет вид

$$\mathcal{R} = \{(v_7, v_8), (v_7, v_9), (v_7, v_{10}), (v_8, v_7), (v_8, v_9), (v_8, v_{10}), (v_9, v_7), (v_9, v_8), (v_9, v_{10}), (v_{10}, v_7), (v_{10}, v_8), (v_{10}, v_9)\}.$$

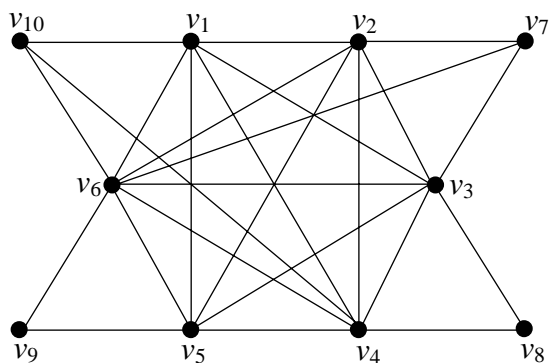


Рис. 7.3. Неориентированный граф  $G = (\mathcal{V}, \mathcal{E})$  сети ОКС 7

В соответствии с методом раздела 6.2 необходимо рассчитать все ПМКПН сети ОКС 7, т.е. построить орграфы  $G_{v_i} = (\mathcal{V}^i, \mathcal{A}_{v_i})$ ,  $i = \overline{7,10}$  с маршрутами, которые удовлетворяют ограничениям (i\*) и (ii). На рис. 7.4 показаны результаты расчетов в соответствии с алгоритмом раздела 6.2.

Поясним, например, построение орграфа  $G_{v_7}$ , который соответствует плану маршрутизации по коду пункта назначения  $SP_7$ . Поскольку в сигнальных отношениях с  $SP_7$  находятся  $SP_8$ ,  $SP_9$  и  $SP_{10}$  (см. таблицу 7.1), то множество  $\mathcal{V}_1^7$  имеет вид  $\mathcal{V}_1^7 = \{v_8, v_9, v_{10}\}$ . Выберем  $STP_3$  и  $STP_6$  в качестве опорных  $STP$ , т.е.  $v_7' = v_3$ ,  $v_7'' = v_6$ , и построим множество  $\mathcal{V}_2^7 = \{v_1, v_3, v_4, v_5, v_6\}$ . Поскольку вершина  $v_7$  графа  $G$  (см. рис. 7.2) смежна только вершинам  $v_2, v_3, v_6 \in \mathcal{V}$ , то фронт волны первого порядка вершины  $v_7$  имеет вид

$$FW(v_7) = \{v_2, v_3, v_6\}.$$

В завершение шага 1 алгоритма нам осталось построить множество  $\mathcal{A}_{v_7}^{(1)}$  в виде

$$\mathcal{A}_{v_7}^{(1)} = \{(v_7, v_2), (v_7, v_3), (v_7, v_6)\}.$$

Выполнение оставшихся шагов алгоритма для построения орграфа  $G_{v_7}$  оставляем читателю. Нетрудно также убедиться, что орграфы  $G_{v_8}$ ,  $G_{v_9}$  и  $G_{v_{10}}$  имеют вид, показанный на рис. 7.4,б – 7.4,г.

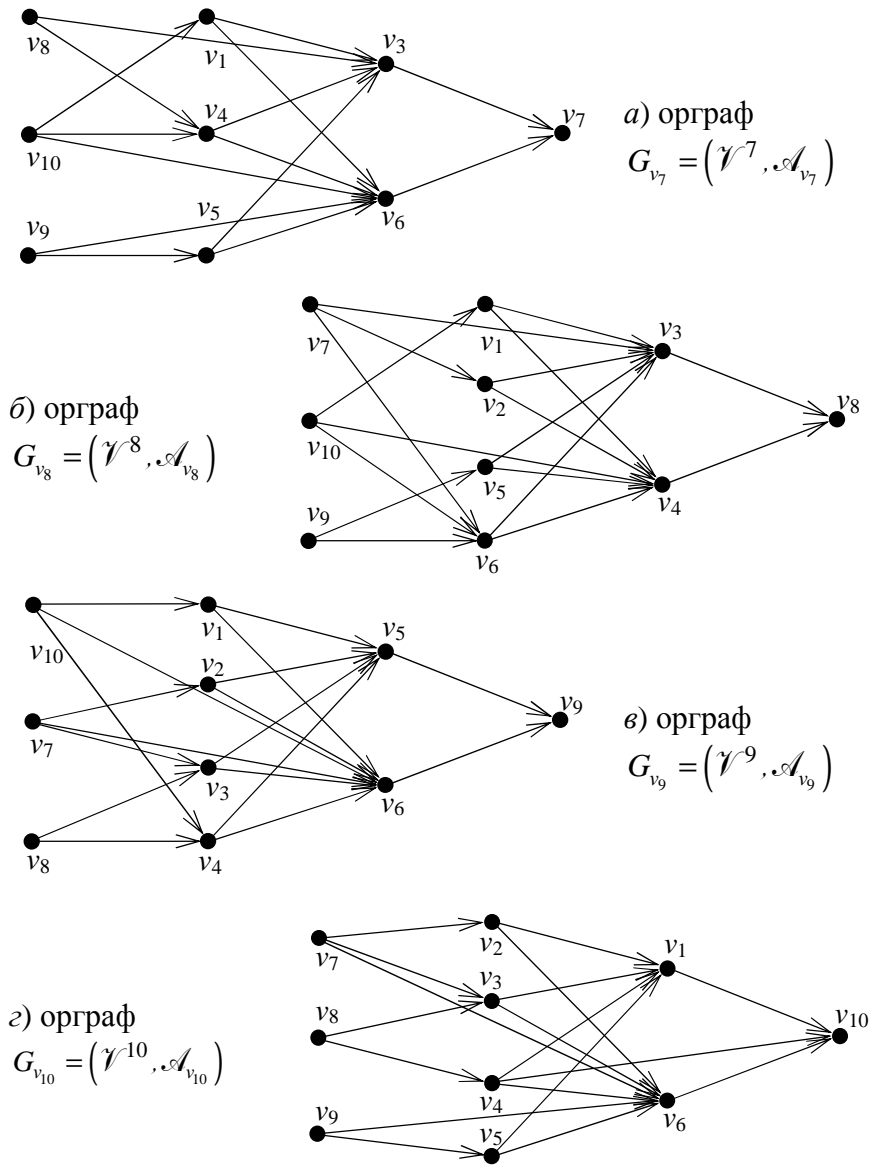


Рис. 7.4. Орграфы планов маршрутизации по коду пункта назначения.

### 7.3. Расчет емкости пучков звеньев сигнализации

Расчет емкости пучков ЗС осуществляется в два этапа. На первом этапе рассчитываются приоритеты выбора направлений передачи сигнальных сообщений, а на втором – потоки на дугах графа  $G$  сети ОКС 7.

Расчет приоритетов направлений передачи покажем на примере ПМКПН  $SP_7$ , т.е. для орграфа  $G_{v_7}$  на рис. 7.4,а. Напомним, что в расчетах весовая функция  $p(\cdot, \cdot)$  должна удовлетворять (iii) и (iv) раздела 6.3. Применение алгоритма назначения приоритетов прокомментируем на примере вершины  $v_{10}$  орграфа  $G_{v_7}$ . В процессе выполнения алгоритма и ввиду того, что  $P = 2$ , необходимо построить множества  $D^7(v_{10})$ ,  $D_1^7(v_{10})$ ,  $F_1^7(v_{10})$ ,  $D_2^7(v_{10})$ ,  $F_2^7(v_{10})$ . Нетрудно убедиться, что эти множества имеют вид:

$$\begin{aligned} D^7(v_{10}) &= \{v_1, v_4, v_6\}, \\ D_1^7(v_{10}) &= \{v_6\}, \\ F_1^7(v_{10}) &= D^7(v_{10}) \setminus D_1^7(v_{10}) = \{v_1, v_4\}, \\ D_2^7(v_{10}) &= \{v_1, v_4\}, \\ F_2^7(v_{10}) &= D^7(v_{10}) \setminus \left\{ \bigcup_{q=1}^2 D_q^7(v_{10}) \right\} = \emptyset. \end{aligned}$$

Построим кратчайшие маршруты из вершины  $v_{10}$  в вершину  $v_7$  графа  $G_{v_7}$ , проходящие через вершины множества  $D_1^7(v_{10})$  и  $D_2^7(v_{10})$ . Очевидно, что через вершины множества  $D_1^7(v_{10})$  проходит единственный кратчайший маршрут  $(v_{10}, v_6, v_7)$ , а через вершины множества  $D_2^7(v_{10})$  – четыре маршрута одинаковой длины  $(v_{10}, v_1, v_3, v_7)$ ,  $(v_{10}, v_1, v_6, v_7)$ ,  $(v_{10}, v_4, v_3, v_7)$  и

$(v_{10}, v_4, v_6, v_7)$ . Остается присвоить веса ребрам, исходящим из вершины  $v_{10}$  орграфа  $G_{v_7}$ . В соответствии с шагом 2.3 алгоритма получаем, что  $p(v_{10}, v_6) = 1$ ,  $p(v_{10}, v_1) = p(v_{10}, v_4) = 2$  (см. также рис. 7.5,а).

Аналогично осуществляется расчет приоритетов выбора направлений передачи для всех ПМКПН рассматриваемой сети ОКС 7. Результаты вычислений показаны для орграфов  $G_{v_i} [\{1, 2\}]$ ,  $i = \overline{8, 10}$  на рис. 7.5,б – 7.5,г.

Перейдем к расчету потоков на дугах графа  $G$  сети ОКС 7 в соответствии с методом раздела 6.3. Исходными данными для этих расчетов являются величины из таблицы 7.1 нагрузок на сигнальные отношения. В терминах теории графов это означает, что потоки  $f(u, v)$ ,  $(u, v) \in \mathcal{R}$  на рассматриваемом графе определяются симметричной матрицей.

$f(u, v)$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$
$v_7$	0	$a_1$	$a_2$	$a_3$
$v_8$	$a_1$	0	$a_4$	$a_5$
$v_9$	$a_2$	$a_4$	0	$a_6$
$v_{10}$	$a_3$	$a_5$	$a_6$	0

Построим оргграф  $H_{v_i} [Q_i^1] = (\mathcal{U}^i, \mathcal{B}_{v_i}, Q_i^1)$ , порожденный взвешенным графом  $G_{v_7} [\{1, 2\}]$  (рис. 7.5,а). Для этого необходимо вычислить значения весовой функции  $q_7^1(\cdot, \cdot) \in [0, 1]$  по формуле (6.11) раздела 6.3. Заметим, что пример построения множеств  $D_1^i(\cdot)$ , используемых в формуле (6.11), приведен выше в данном разделе. Опуская выкладки, аналогично соответствующему примеру раздела 6.3, получаем взвешен-

ный орграф  $H_{v_7}[\{\frac{1}{2}, 1\}]$  в виде, показанном на рис. 7.6, где также изображены орграфы  $H_{v_i}[\{\frac{1}{2}, 1\}]$ ,  $i = \overline{8, 10}$ .

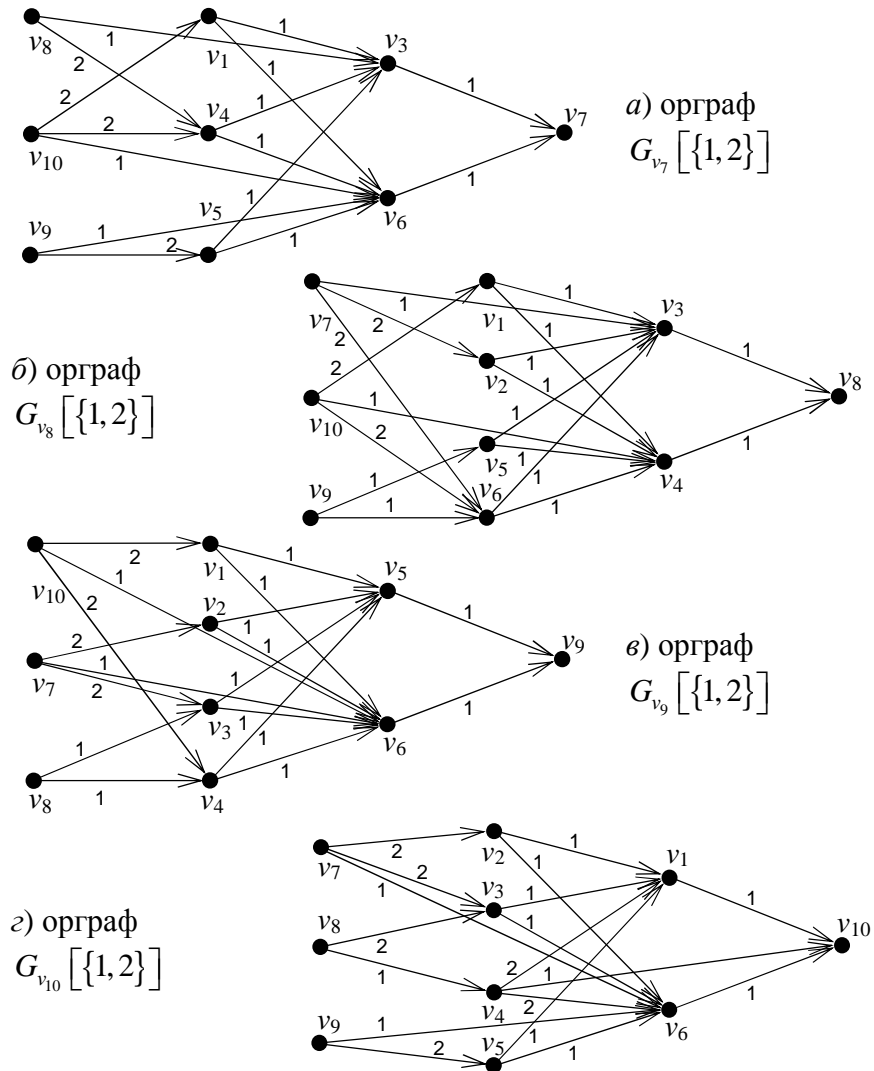


Рис. 7.5. Приоритеты направлений передачи сигнальных сообщений



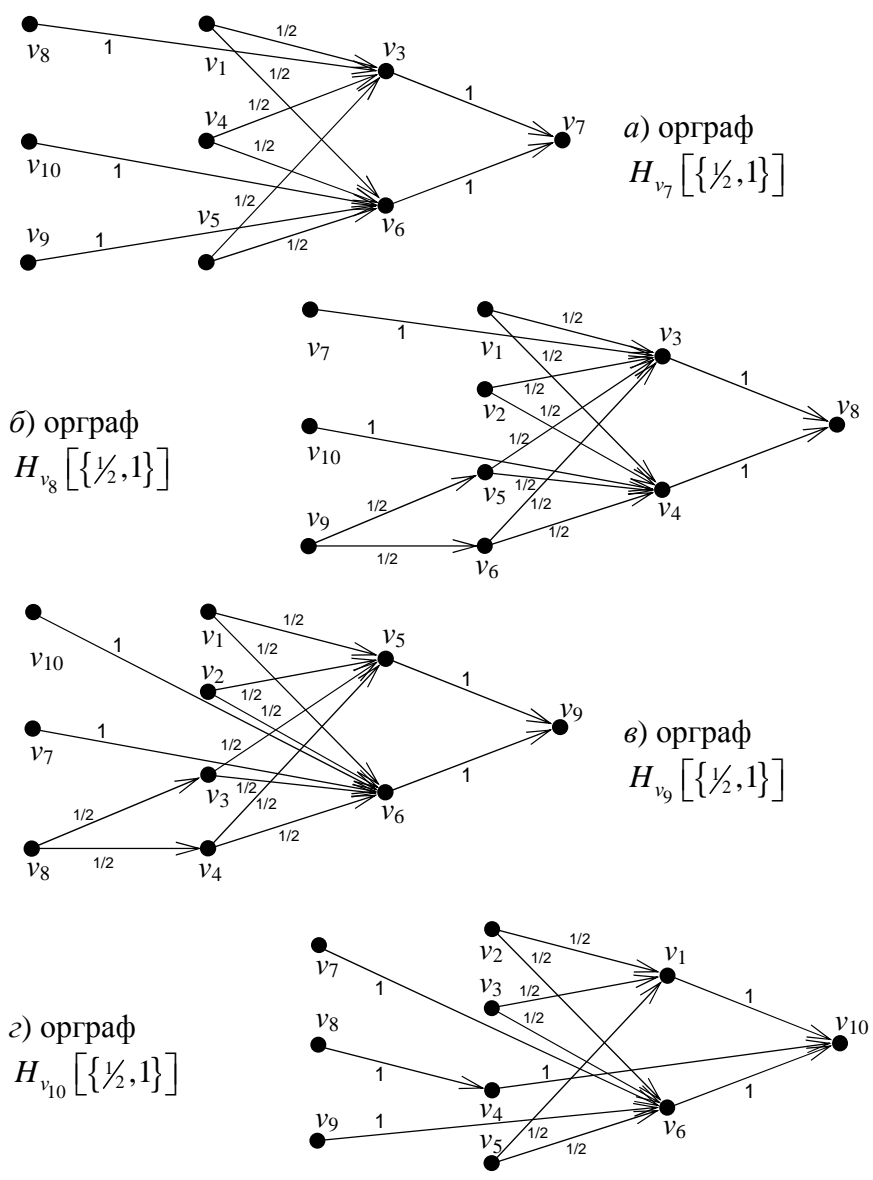


Рис. 7.6. Взвешенные орграфы  $H_{v_i} [\{\frac{1}{2}, 1\}]$ ,  $i = \overline{7,10}$

Применение метода расчета потоков  $f_i(\cdot)$  на ребрах графов  $H_{v_i} [\{\frac{1}{2}, 1\}]$  покажем на примере графа  $H_{v_7} [\{\frac{1}{2}, 1\}]$ . Для этого составим соответствующую систему линейных уравнений по формуле (6.16):

$$f_7(v_1) = f_7(v_4) = f_7(v_5) = 0,$$

$$f_7(v_3) = f_7(v_8),$$

$$f_7(v_6) = f_7(v_9) + f_7(v_{10}),$$

$$f_7(v_7) = f_7(v_3) + f_7(v_6),$$

$$f_7(v_8) = a_1,$$

$$f_7(v_9) = a_2,$$

$$f_7(v_{10}) = a_3.$$

Решая полученную систему уравнений, имеем, что  $f_7(v_3) = a_1$ ,  $f_7(v_6) = a_2 + a_3$ ,  $f_7(v_7) = a_1 + a_2 + a_3$ . Теперь нетрудно убедиться (см. также пример раздела 6.3), что потоки на ребрах графов  $G_{v_i}$ ,  $i = \overline{7, 10}$ , рассчитанные по формуле (6.17), имеют значения, показанные на рис. 7.7.

Для расчета емкости пучков ЗС рассматриваемой сети ОКС 7 предположим, что значения нагрузок на сигнальные отношения определяются формулой

$$a_n = 0,02 \cdot n \text{ (Эрл)}, n = \overline{1, 6}.$$

Тогда, используя формулу (6.18) из раздела 6.3, получаем значения потоков  $\Phi(\cdot, \cdot)$  на дугах графа  $G$  сети ОКС 7 (таблица 7.3(а)).

Используя значения потоков из полученной выше матрицы и применяя формулу (6.19), рассчитаем емкости всех пучков ЗС сети ОКС 7. Результаты расчетов для случая  $C = 0,2$  (Эрл) сведены в таблицу 7.3(б).

Таблица 7.3(а)

$\Phi(u, v)$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$	$v_8$	$v_9$	$v_{10}$
$v_1$	–	0	0	0	0	0	–	–	–	0
$v_2$	0	–	0	0	0	0	0	–	–	–
$v_3$	0	0	–	0	0,04	0,04	0,04	0,12	–	–
$v_4$	0	0	0	–	0,04	0,04	–	0,28	–	0,20
$v_5$	0	0	0,04	0,04	–	0	–	–	0,08	–
$v_6$	0	0	0,04	0,04	0	–	0,14	–	0,40	0,36
$v_7$	–	0	0,04	–	–	0,14	–	–	–	–
$v_8$	–	–	0,12	0,28	–	–	–	–	–	–
$v_9$	–	–	–	–	0,08	0,40	–	–	–	–
$v_{10}$	0	–	–	0,20	–	0,36	–	–	–	–

Таблица 7.3(б)

Кол-во ЗС в пучках ЗС	СТР <sub>1</sub>	СТР <sub>2</sub>	СТР <sub>3</sub>	СТР <sub>4</sub>	СТР <sub>5</sub>	СТР <sub>6</sub>	СП <sub>7</sub>	СП <sub>8</sub>	СП <sub>9</sub>	СП <sub>10</sub>
СТР <sub>1</sub>	–	1	1	1	1	1	–	–	–	–
СТР <sub>2</sub>	1	–	1	1	1	1	1	–	–	–
СТР <sub>3</sub>	1	1	–	1	1	1	1	1	–	–
СТР <sub>4</sub>	1	1	1	–	1	1	–	2	–	1
СТР <sub>5</sub>	1	1	1	1	–	1	–	–	1	–
СТР <sub>6</sub>	1	1	1	1	1	–	1	–	2	2
СП <sub>7</sub>	–	1	1	–	–	1	–	–	–	–
СП <sub>8</sub>	–	–	1	2	–	–	–	–	–	–
СП <sub>9</sub>	–	–	–	–	1	2	–	–	–	–
СП <sub>10</sub>	1	–	–	1	–	2	–	–	–	–

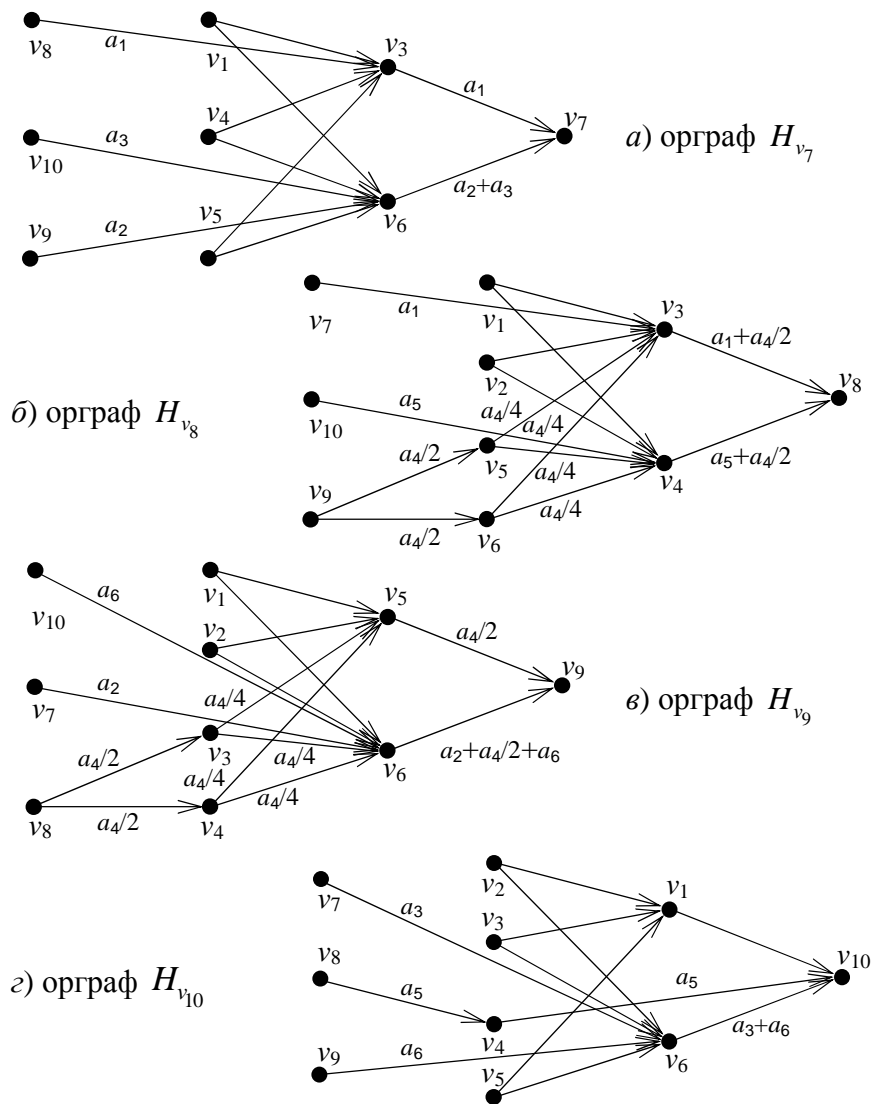


Рис. 7.7. Потoki на ребрах орграфов  $H_{v_i}$ , соответствующих пучкам ЗС основных маршрутов

#### 7.4. Разделение сигнальной нагрузки

Расчет кодов SLS в сети ОКС 7 на рис. 7.2 выполним в соответствии с методом раздела 6.4. Для краткости изложения все выкладки проведем на примере раскраски мультиграфа  $\tilde{G}_{v_7}$ , показанного на рис. 7.8, который строится аналогично примеру мультиграфа на рис. 6.15.

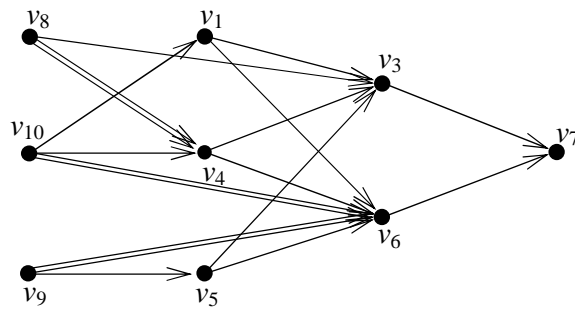


Рис. 7.8. Мультиграф  $\tilde{G}_{v_7} = (\mathcal{V}^{v_7}, \tilde{\mathcal{A}}_{v_7})$

В соответствии с методом раздела 6.4 необходимо осуществить раскраску ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_7}$ . Напомним, что в разделе 7.1 было принято  $H = 2$ , и поэтому множество цветов  $\mathcal{C}$  имеет вид  $\mathcal{C} = \{0, 1, 2, 3\}$  (см. формулу (6.21)). Так как  $P = 2$ , то, в отличие от примера раздела 6.4, вычисления проводятся по формулам (6.28) – (6.29) для ребер графа  $\tilde{G}_{v_7}$  каждого из приоритетов в отдельности, т.е. сначала для  $p = 1$  и затем для  $p = 2$ . При вычислениях необходимо учесть, что нумерация ребер (величины  $b_l(\cdot, \cdot)$ ) осуществляется в соответствии с таблицей 7.2 нумерации пучков ЗС сети ОКС 7. Напомним, что для расчетов потребуется найти образы  $D^l(\cdot)$  вершин графа  $\tilde{G}_{v_7}$  и значения параметров  $d(\cdot)$ ,  $k(\cdot)$ ,  $N(\cdot, \cdot)$ ,

$k(\cdot, \cdot)$  и  $a(\cdot, \cdot)$ , которые определены в разделе 6.4. Результаты расчетов значений этих параметров сведены в таблицы 7.4 и 7.5 для значений  $p = 1$  и  $p = 2$  соответственно.

Таблица 7.4

$(u, x)$	$D^7(u)$	$d(u)$	$k(u)$	$N(u, x)$	$k(u, x)$	$a(u, x)$
$(v_1, v_3)$	$D^7(v_1) = \{v_3, v_6\}$	2	1	1	0	0
$(v_1, v_6)$	$D^7(v_1) = \{v_3, v_6\}$	2	1	1	0	1
$(v_3, v_7)$	$D^7(v_3) = \{v_7\}$	1	0	1	0	0
$(v_4, v_3)$	$D^7(v_4) = \{v_3, v_6\}$	2	1	1	0	0
$(v_4, v_6)$	$D^7(v_4) = \{v_3, v_6\}$	2	1	1	0	1
$(v_5, v_3)$	$D^7(v_5) = \{v_3, v_6\}$	2	1	1	0	0
$(v_5, v_6)$	$D^7(v_5) = \{v_3, v_6\}$	2	1	1	0	1
$(v_6, v_7)$	$D^7(v_6) = \{v_7\}$	1	0	1	0	0
$(v_8, v_3)$	$D^7(v_8) = \{v_3\}$	1	0	1	0	0
$(v_9, v_6)$	$D^7(v_9) = \{v_6\}$	1	0	2	1	0
$(v_{10}, v_6)$	$D^7(v_{10}) = \{v_6\}$	1	0	2	1	0

Таблица 7.5

$(u, x)$	$D^7(u)$	$d(u)$	$k(u)$	$N(u, x)$	$k(u, x)$	$a(u, x)$
$(v_8, v_4)$	$D^7(v_8) = \{v_4\}$	1	0	2	1	0
$(v_9, v_5)$	$D^7(v_9) = \{v_5\}$	1	0	1	0	0
$(v_{10}, v_1)$	$D^7(v_{10}) = \{v_1, v_4\}$	2	1	1	0	0
$(v_{10}, v_4)$	$D^7(v_{10}) = \{v_1, v_4\}$	2	1	1	0	1

Таким образом получены все необходимые исходные данные для применения формул (6.28) и (6.29). Результаты вычислений и частично промежуточные выкладки приведены

в таблице 7.6. На рис. 7.9 каждому мультиребру графа  $\tilde{G}_{v_7}$  приписаны соответствующие им множества цветов, причем на рис. 7.9,а множества приписаны ребрам первого приоритета, а на рис. 7.9,б – ребрам второго приоритета. Аналогично осуществляются раскраски ребер мультиграфов  $\tilde{G}_{v_7}$ ,  $\tilde{G}_{v_7}$  и  $\tilde{G}_{v_7}$ . Результаты вычислений приведены в таблицах 7.7 – 7.9 и показаны на рис. 7.10 – 7.12 соответственно.

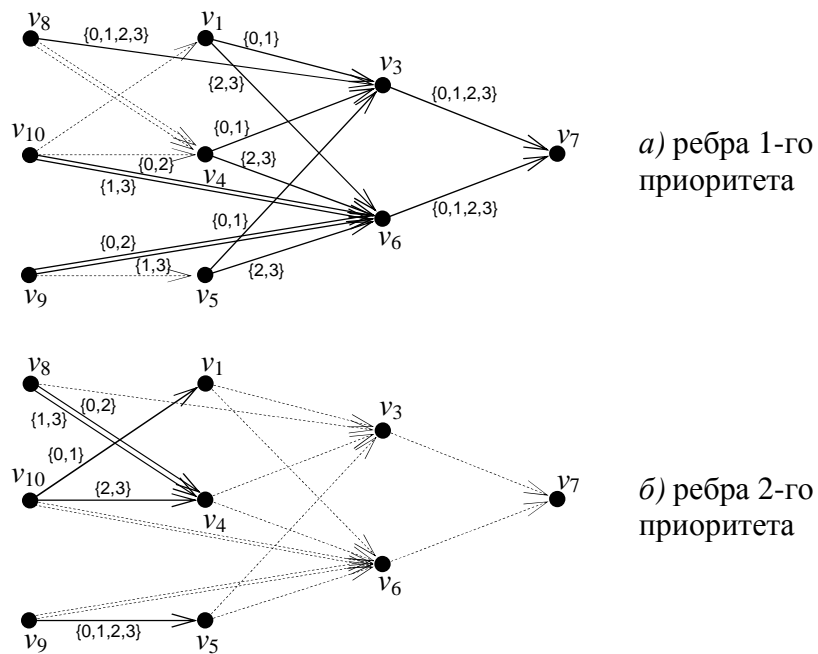


Рис. 7.9. Раскраска ребер мультиграфа  $G_{v_7}$

Таблица 7.6

Мультиребро	Раскраска мультиребер	Раскраска ребер
$(v_1, v_3)$	$\mathcal{C}(v_1, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_1, v_6)$	$\mathcal{C}(v_1, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_3, v_7)$	$\mathcal{C}(v_3, v_7) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_7) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_4, v_3)$	$\mathcal{C}(v_4, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_4, v_6)$	$\mathcal{C}(v_4, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_5, v_3)$	$\mathcal{C}(v_5, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_5, v_6)$	$\mathcal{C}(v_5, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_6, v_7)$	$\mathcal{C}(v_6, v_7) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_6, v_7) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_8, v_3)$	$\mathcal{C}(v_8, v_3) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_8, v_3) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_8, v_4)$	$\mathcal{C}(v_8, v_4) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_8, v_4) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_8, v_4) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$



Таблица 7.6 (продолжение)

$(v_9, v_5)$	$\mathcal{C}(v_9, v_5) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_9, v_5) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_9, v_6)$	$\mathcal{C}(v_9, v_6) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_9, v_6) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_9, v_6) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$
$(v_{10}, v_1)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_{10}, v_4)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_4) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_{10}, v_6)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_6) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_6) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_{10}, v_6) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$

Таблица 7.7

Мультиребро	Раскраска мультиребер	Раскраска ребер
$(v_1, v_3)$	$\mathcal{C}(v_1, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_1, v_4)$	$\mathcal{C}(v_1, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_4) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_2, v_3)$	$\mathcal{C}(v_2, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_2, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_2, v_4)$	$\mathcal{C}(v_2, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_2, v_4) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_3, v_8)$	$\mathcal{C}(v_3, v_8) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_8) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_4, v_8)$	$\mathcal{C}(v_4, v_8) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_8) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_4, v_8) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$
$(v_5, v_3)$	$\mathcal{C}(v_5, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_5, v_4)$	$\mathcal{C}(v_5, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_4) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_6, v_3)$	$\mathcal{C}(v_6, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_6, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_6, v_4)$	$\mathcal{C}(v_6, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_6, v_4) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$

Таблица 7.7 (продолжение)

$(v_7, v_2)$	$\mathcal{C}(v_7, v_2) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_2) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_7, v_3)$	$\mathcal{C}(v_7, v_3) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_3) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_7, v_6)$	$\mathcal{C}(v_7, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_9, v_5)$	$\mathcal{C}(v_9, v_5) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_9, v_5) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_9, v_6)$	$\mathcal{C}(v_9, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_9, v_6) = c_0(2, 1) = \{2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_9, v_6) = c_0(3, 1) = \{3\}$
$(v_{10}, v_1)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_{10}, v_4)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_4) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_4) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_{10}, v_6)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_6) = c_0(2, 1) = \{2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_{10}, v_6) = c_0(3, 1) = \{3\}$

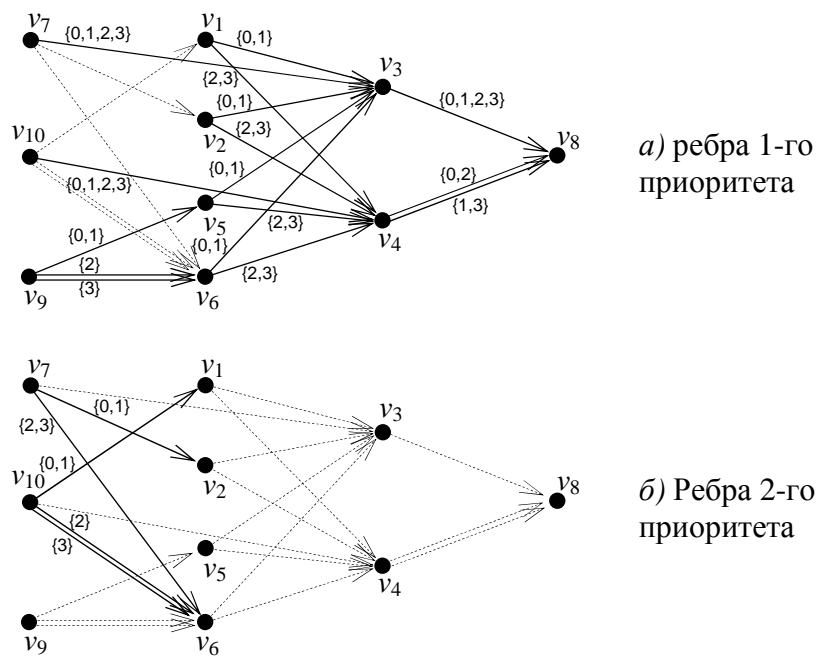


Рис. 7.10. Раскраска ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_8}$ .

Таблица 7.8

Мультиребро	Раскраска мультиребер	Раскраска ребер
$(v_1, v_5)$	$\mathcal{C}(v_1, v_5) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_5) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_1, v_6)$	$\mathcal{C}(v_1, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_2, v_5)$	$\mathcal{C}(v_2, v_5) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_2, v_5) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_2, v_6)$	$\mathcal{C}(v_2, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_2, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_3, v_5)$	$\mathcal{C}(v_3, v_5) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_5) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_3, v_6)$	$\mathcal{C}(v_3, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_4, v_5)$	$\mathcal{C}(v_4, v_5) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_5) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_4, v_6)$	$\mathcal{C}(v_4, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_5, v_9)$	$\mathcal{C}(v_5, v_9) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_9) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_6, v_9)$	$\mathcal{C}(v_6, v_9) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_6, v_9) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_6, v_9) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$

Таблица 7.8 (продолжение)

$(v_7, v_2)$	$\mathcal{C}(v_7, v_2) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_2) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_7, v_3)$	$\mathcal{C}(v_7, v_3) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_3) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_7, v_6)$	$\mathcal{C}(v_7, v_6) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_6) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_8, v_3)$	$\mathcal{C}(v_8, v_3) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_8, v_3) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_8, v_4)$	$\mathcal{C}(v_8, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_8, v_4) = c_0(2, 1) = \{2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_8, v_4) = c_0(3, 1) = \{3\}$
$(v_{10}, v_1)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_{10}, v_4)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_4) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_4) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_{10}, v_6)$	$\mathcal{C}(v_{10}, v_6) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_{10}, v_6) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_{10}, v_6) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$

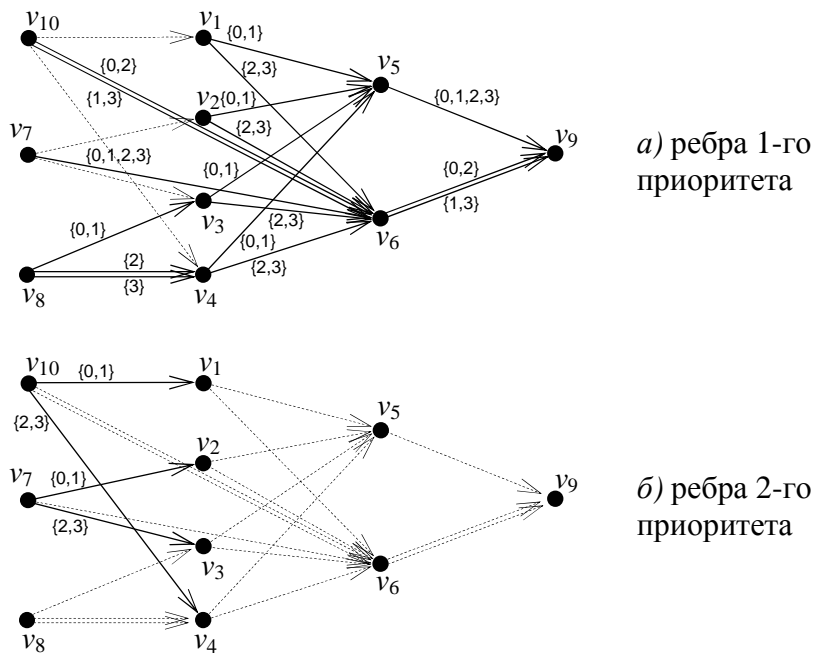


Рис. 7.11. Раскраска ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_9}$ .

Таблица 7.9

Мультиребро	Раскраска мультиребер	Раскраска ребер
$(v_1, v_{10})$	$\mathcal{C}(v_1, v_{10}) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_1, v_{10}) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_2, v_1)$	$\mathcal{C}(v_2, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_2, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_2, v_6)$	$\mathcal{C}(v_2, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_2, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_3, v_1)$	$\mathcal{C}(v_3, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_3, v_6)$	$\mathcal{C}(v_3, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_3, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_4, v_1)$	$\mathcal{C}(v_4, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_4, v_6)$	$\mathcal{C}(v_4, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_4, v_{10})$	$\mathcal{C}(v_4, v_{10}) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_4, v_{10}) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_5, v_1)$	$\mathcal{C}(v_5, v_1) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_1) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_5, v_6)$	$\mathcal{C}(v_5, v_6) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_5, v_6) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$



Таблица 7.9 (продолжение)

$(v_6, v_{10})$	$\mathcal{C}(v_6, v_{10}) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_6, v_{10}) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_6, v_{10}) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$
$(v_7, v_2)$	$\mathcal{C}(v_7, v_2) = c_1(0) = \{0, 1\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_2) = c_1(0, 0) = \{0, 1\}$
$(v_7, v_3)$	$\mathcal{C}(v_7, v_3) = c_1(2) = \{2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_3) = c_1(2, 0) = \{2, 3\}$
$(v_7, v_6)$	$\mathcal{C}(v_7, v_6) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_7, v_6) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_8, v_3)$	$\mathcal{C}(v_8, v_3) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_8, v_3) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_8, v_4)$	$\mathcal{C}(v_8, v_4) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_8, v_4) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_8, v_4) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$
$(v_9, v_5)$	$\mathcal{C}(v_9, v_5) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_9, v_5) = c_2(0, 0) = \{0, 1, 2, 3\}$
$(v_9, v_6)$	$\mathcal{C}(v_9, v_6) = c_2(0) = \{0, 1, 2, 3\}$	$\mathcal{C}_0(v_9, v_6) = c_1(0, 1) = \{0, 2\}$
		$\mathcal{C}_1(v_9, v_6) = c_1(1, 1) = \{1, 3\}$

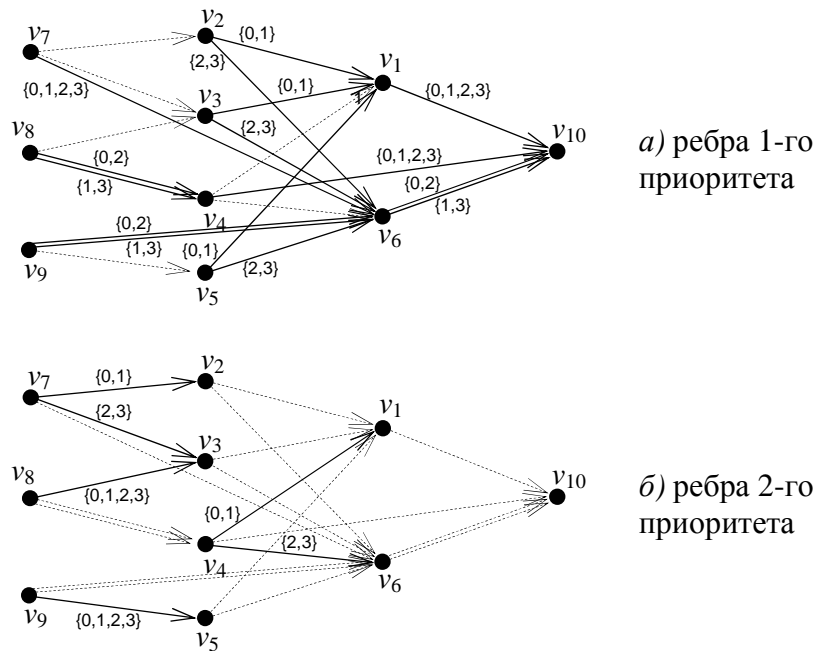


Рис. 7.12. Раскраска ребер мультиграфа  $\tilde{G}_{v_{10}}$

Полученных результатов вычислений достаточно для расчета всех маршрутных таблиц сети ОКС 7 на рис. 7.2. Рассмотрим, как формируются записи (строки) маршрутной таблицы  $SP_9$  в направлении  $SP_7$ . В этом направлении  $SP_9$  имеет два пучка ЗС. Обозначим эти пучки  $b_0$  и  $b_1$ , где  $b_0$  связывает  $SP_9$  с  $STP_5$ , а  $b_1$  –  $SP_9$  с  $STP_6$  (см. таблицу 7.2). Пучок  $b_0$  имеет приоритет 2, а пучок  $b_1$  – приоритет 1 (см. рис. 7.5,а). Первый из указанных пучков состоит из одного ЗС, а второй пучок – из двух ЗС (см. таблицу 7.4). Значения кодов SLS определяются по таблице 7.6 (см. также рис. 7.9) причем, раскраска  $\{0,2\}$  соответствует коду  $SLS = X0$ , а раскраска  $\{1,3\}$  – коду  $SLS = X1$ , так как в двоичной записи эти раскраски могут

быть представлены в виде {00,10} и {01,11} соответственно. В результате получаем данные для маршрутной таблицы SP<sub>9</sub> (таблица 7.10).

Таблица 7.10

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
SP <sub>9</sub>	1	0	1	x0	SP <sub>7</sub>
SP <sub>9</sub>	1	1	1	x1	SP <sub>7</sub>
SP <sub>9</sub>	0	0	2	xx	SP <sub>7</sub>

Аналогично рассчитываются записи в маршрутных таблицах STP<sub>3</sub>, STP<sub>5</sub> и STP<sub>6</sub> (таблицы 7.11 – 7.13 соответственно). В итоге имеем все необходимые записи в маршрутных таблицах узлов сети ОКС 7, которые обеспечивают маршрутизацию сигнальных сообщений из SP<sub>9</sub> в SP<sub>7</sub>.

Таблица 7.11

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>3</sub>	5	0	1	xx	SP <sub>7</sub>

Таблица 7.12

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>5</sub>	2	0	1	0x	SP <sub>7</sub>
STP <sub>5</sub>	4	0	1	1x	SP <sub>7</sub>

Таблица 7.13

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>6</sub>	5	0	1	xx	SP <sub>7</sub>

Ниже приведены результаты вычислений маршрутных таблиц, которые обеспечивают маршрутизацию сигнальных сообщений во всех узлах рассматриваемой в примере сети ОКС 7. Подчеркнем еще раз, что полученный план маршрути-

зации не требует верификации (является корректным) в силу применения адекватных математических моделей и вычислительных алгоритмов (см. главу 6).

Маршрутная таблица STP<sub>1</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>1</sub>	1	0	1	0х	SP <sub>7</sub>
STP <sub>1</sub>	4	0	1	1х	SP <sub>7</sub>
STP <sub>1</sub>	1	0	1	0х	SP <sub>8</sub>
STP <sub>1</sub>	2	0	1	1х	SP <sub>8</sub>
STP <sub>1</sub>	3	0	1	0х	SP <sub>9</sub>
STP <sub>1</sub>	4	0	1	1х	SP <sub>9</sub>
STP <sub>1</sub>	5	0	1	хх	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица STP<sub>2</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>2</sub>	1	0	1	0х	SP <sub>8</sub>
STP <sub>2</sub>	2	0	1	1х	SP <sub>8</sub>
STP <sub>2</sub>	3	0	1	0х	SP <sub>9</sub>
STP <sub>2</sub>	4	0	1	1х	SP <sub>9</sub>
STP <sub>2</sub>	0	0	1	0х	SP <sub>10</sub>
STP <sub>2</sub>	4	0	1	1х	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица STP<sub>3</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>3</sub>	5	0	1	хх	SP <sub>7</sub>
STP <sub>3</sub>	6	0	1	хх	SP <sub>8</sub>
STP <sub>3</sub>	3	0	1	0х	SP <sub>9</sub>
STP <sub>3</sub>	4	0	1	1х	SP <sub>9</sub>
STP <sub>3</sub>	0	0	1	0х	SP <sub>10</sub>
STP <sub>3</sub>	4	0	1	1х	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица STP<sub>4</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>4</sub>	2	0	1	0x	SP <sub>7</sub>
STP <sub>4</sub>	4	0	1	1x	SP <sub>7</sub>
STP <sub>4</sub>	5	0	1	x0	SP <sub>8</sub>
STP <sub>4</sub>	5	1	1	x1	SP <sub>8</sub>
STP <sub>4</sub>	3	0	1	0x	SP <sub>9</sub>
STP <sub>4</sub>	4	0	1	1x	SP <sub>9</sub>
STP <sub>4</sub>	6	0	1	xx	SP <sub>10</sub>
STP <sub>4</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>10</sub>
STP <sub>4</sub>	4	0	2	1x	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица STP<sub>5</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>5</sub>	2	0	1	0x	SP <sub>7</sub>
STP <sub>5</sub>	4	0	1	1x	SP <sub>7</sub>
STP <sub>5</sub>	2	0	1	0x	SP <sub>8</sub>
STP <sub>5</sub>	3	0	1	1x	SP <sub>8</sub>
STP <sub>5</sub>	5	0	1	xx	SP <sub>9</sub>
STP <sub>5</sub>	0	0	1	0x	SP <sub>10</sub>
STP <sub>5</sub>	4	0	1	1x	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица STP<sub>6</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
STP <sub>6</sub>	5	0	1	xx	SP <sub>7</sub>
STP <sub>6</sub>	2	0	1	0x	SP <sub>8</sub>
STP <sub>6</sub>	3	0	1	1x	SP <sub>8</sub>
STP <sub>6</sub>	6	0	1	x0	SP <sub>9</sub>
STP <sub>6</sub>	6	1	1	x1	SP <sub>9</sub>
STP <sub>6</sub>	7	0	1	x0	SP <sub>10</sub>
STP <sub>6</sub>	7	1	1	x1	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица SP<sub>7</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
SP <sub>7</sub>	1	0	1	xx	SP <sub>8</sub>
SP <sub>7</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>8</sub>
SP <sub>7</sub>	2	0	2	1x	SP <sub>8</sub>
SP <sub>7</sub>	2	0	1	xx	SP <sub>9</sub>
SP <sub>7</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>9</sub>
SP <sub>7</sub>	1	0	2	1x	SP <sub>9</sub>
SP <sub>7</sub>	2	0	1	xx	SP <sub>10</sub>
SP <sub>7</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>10</sub>
SP <sub>7</sub>	1	0	2	1x	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица SP<sub>8</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
SP <sub>8</sub>	0	0	1	xx	SP <sub>7</sub>
SP <sub>8</sub>	1	0	2	x0	SP <sub>7</sub>
SP <sub>8</sub>	1	1	2	x1	SP <sub>7</sub>
SP <sub>8</sub>	0	0	1	0x	SP <sub>9</sub>
SP <sub>8</sub>	1	0	1	10	SP <sub>9</sub>
SP <sub>8</sub>	1	1	1	11	SP <sub>9</sub>
SP <sub>8</sub>	1	0	1	x0	SP <sub>10</sub>
SP <sub>8</sub>	1	1	1	x1	SP <sub>10</sub>
SP <sub>8</sub>	0	0	2	xx	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица SP<sub>9</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
SP <sub>9</sub>	1	0	1	x0	SP <sub>7</sub>
SP <sub>9</sub>	1	1	1	x1	SP <sub>7</sub>
SP <sub>9</sub>	0	0	2	xx	SP <sub>7</sub>
SP <sub>9</sub>	0	0	1	0x	SP <sub>8</sub>
SP <sub>9</sub>	1	0	1	10	SP <sub>8</sub>
SP <sub>9</sub>	1	1	1	11	SP <sub>8</sub>
SP <sub>9</sub>	1	0	1	x0	SP <sub>10</sub>
SP <sub>9</sub>	1	1	1	x1	SP <sub>10</sub>
SP <sub>9</sub>	0	0	2	xx	SP <sub>10</sub>

Маршрутная таблица SP<sub>10</sub>

Исходящий пункт	№ пучка ЗС	№ ЗС	Приоритет	Код SLS	Пункт назначения
SP <sub>10</sub>	2	0	1	x0	SP <sub>7</sub>
SP <sub>10</sub>	2	1	1	x1	SP <sub>7</sub>
SP <sub>10</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>7</sub>
SP <sub>10</sub>	1	0	2	1x	SP <sub>7</sub>
SP <sub>10</sub>	2	0	1	xx	SP <sub>8</sub>
SP <sub>10</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>8</sub>
SP <sub>10</sub>	1	0	2	10	SP <sub>8</sub>
SP <sub>10</sub>	1	1	2	11	SP <sub>8</sub>
SP <sub>10</sub>	2	0	1	x0	SP <sub>9</sub>
SP <sub>10</sub>	2	1	1	x1	SP <sub>9</sub>
SP <sub>10</sub>	0	0	2	0x	SP <sub>9</sub>
SP <sub>10</sub>	1	0	2	1x	SP <sub>9</sub>

В заключение проведем анализ рассчитанной сети ОКС 7, структура которой (с учетом расчета приоритетов и емкости пучков ЗС) показана на рис. 7.13.

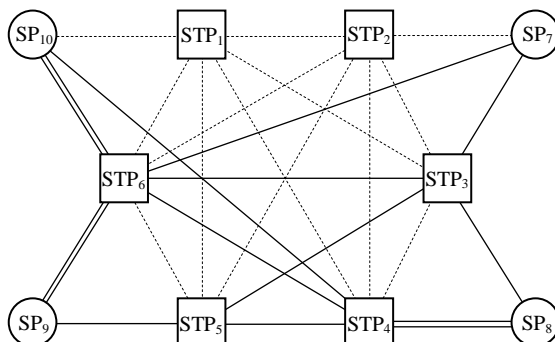


Рис. 7.13. Результат расчета сети ОКС 7.

На рисунке пунктирными линиями изображены пучки ЗС, которые не используются для передачи сигнальных сообщений сети ОКС 7, поскольку в маршрутных таблицах все эти пучки ЗС имеют приоритет 2. Ясно, что рассчитанная сеть является избыточной по объемам используемого оборудования. Эта избыточность гарантирует надежность функционирования сети ОКС 7, т.е. STP<sub>1</sub> и STP<sub>2</sub> обеспечивают практически всю альтернативную маршрутизацию сети в условиях отказов и перегрузок. Размерность рассмотренного примера далека от реальной жизни, но с его помощью легко разобраться в применении эффективных методов расчета сети ОКС 7, изложенных в главе 6.



## Список сокращений

АМТС	–	автоматическая междугородная телефонная станция
АТС	–	автоматическая телефонная станция
ВВО	–	виртуальное время обслуживания
ВВХ	–	вероятностно-временные характеристики
ВСС РФ	–	Взаимоувязанная сеть связи Российской Федерации
ГТС	–	городская телефонная сеть
ЗнСЕ	–	значащая сигнальная единица
ЗС	–	звено сигнализации
ЗСЕ	–	заполняющая сигнальная единица
ИСС	–	интеллектуальная сеть связи
КПЗ	–	код (номер) пункта сигнализации в сигнальной зоне
КСЗ	–	код сигнальной зоны
МВОС	–	модель взаимодействия открытых систем
МККТТ	–	Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии
МНТС	–	международная коммутационная станция
МСЭ-Т	–	Международный союз электросвязи, сектор телекоммуникаций
МЦК	–	международный центр коммутации
ОКС 7	–	система общеканальной сигнализации № 7
ПЛС	–	преобразование Лапласа–Стилтьеса
ПМ	–	план маршрутизации
ПМКПН	–	план маршрутизации по коду пункта назначения
ПФ	–	производящая функция
СВ	–	случайная величина
СЕ	–	сигнальная единица
СЕСЗ	–	сигнальная единица состояния звена
СМО	–	система массового обслуживания

СП	-	случайный процесс
СПС	-	сеть подвижной связи
ТфОП	-	телефонная сеть общего пользования
УАК	-	узел автоматической коммутации
УИВС	-	узел исходящей и входящей связи
ФР	-	функция распределения
ЦСИС	-	цифровая сеть с интеграцией служб
АСК	-	Acknowledgment
АСМ	-	Address Complete Message
AERM	-	Alignment Error Rate Monitoring
ANM	-	Answer Message
ASE	-	Application Service Element
БЕС	-	Basic Error Correction
БИВ	-	Backward Indicator Bit
BSN	-	Backward Sequence Number
CIC	-	Channel Identification Code
СК	-	Check Bits
CL	-	Connectionless
CO	-	Connection-oriented
CSL	-	Component Sub-Layer
DPC	-	Destination Point Code
DSS1	-	Digital Subscriber Signaling System No.1
F	-	Flag
FIB	-	Forward Indicator Bit
FISU	-	Fill In Signal Unit
FSN	-	Forward Sequence Number
GMTX	-	Gate Mobile Telephone Exchange
GSM	-	Global Systems for Mobile Communications
GT	-	Global Title
HLR	-	Home Location Register
HSRC	-	Hypothetical Signaling Reference Connection
IAM	-	Initial Address Message
IN	-	Intelligent Network

INAP	-	Intelligent Network Application Part
ISDN	-	Integrated Services Digital Network
ISUP	-	ISDN User Part
LI	-	Length Indicator
LSHB	-	Load Sharing Bit
LSSU	-	Link Status Signal Unit
MAP	-	Mobile Application Part
MSC	-	Mobile Switching Center
MSU	-	Message Signal Unit
MTP	-	Message Transfer Part
NACK	-	Negative Acknowledgment
NI	-	Network Indicator
NSP	-	Network Services Part
OMAP	-	Operation, Maintenance and Administration Part
OPC	-	Originating Point Code
PCR	-	Preventive Cyclic Retransmission
REL	-	Release
RL	-	Routing Label
RLC	-	Release Complete
SAM	-	Subsequent Address Message
SCCP	-	Signaling Connection Control Part
SCLC	-	SCCP Connectionless Control
SCM	-	SCCP Management
SCOC	-	SCCP Connection Oriented Control
SCP	-	Service Control Point
SCR	-	SCCP Routing
SDL	-	Signaling Data Link
SEP	-	Signaling End Point
SIB	-	Status indication «Busy»
SIF	-	Signaling Information Field
SIO	-	Signaling Information Octet
SIPO	-	Status indication «Processor Outage»
SL	-	Signaling Link

SLC	-	Signaling Link Code
SLS	-	Signaling Link-Set
SLS	-	Signaling Link Selection field
SP	-	Signaling Point
SPC	-	Signaling Point Code
SPR	-	Signaling Relay Point
SR	-	Signaling Route
SRS	-	Signaling Route Set
SSN	-	SubSystem Number
SSP	-	Service Switching Point
STP	-	Signaling Transfer Point
SU	-	Signal Unit
SUERM	-	Signal Unit Error Rate Monitoring
TC	-	Transaction Capabilities
TCAP	-	Transaction Capabilities Application Part
TSL	-	Transaction Sub-Layer
TUP	-	Telephone User Part
UDT	-	Unit Data
UDTS	-	Unit Data Service
UML	-	Unified Modeling Language
UP	-	User Part

## Список литературы

1. ITU-T Recommendation Q.700: Introduction to CCITT Signalling System No. 7 // Geneva, March, 1993.
2. ITU-T Recommendation Q.701: Functional Description of The Message Transfer Part (MTP) of Signalling System No.7 // Geneva, March, 1993.
3. ITU-T Recommendation Q.702: Signalling Data Link // Geneva, November, 1988.
4. ITU-T Recommendation Q.703: Signalling Link // Geneva, July, 1995.
5. ITU-T Recommendation Q.704: Signalling System No.7 – Message Transfer Part, Signalling network functions and messages // Geneva, July, 1996.
6. ITU-T Recommendation Q.705: Signalling System No.7 – Signalling Network Structure // Geneva, March, 1993.
7. ITU-T Recommendation Q.706: Signalling System No.7 – Message Transfer Part Signalling Performance // Geneva, March, 1993.
8. ITU-T Recommendation Q.709: Signalling System No.7 – Hypothetical Signalling Reference Connection // Geneva, March, 1993.
9. ITU-T Recommendation Q.711: Functional Description of the Signalling Connection Control Part // Geneva, July, 1996.
10. ITU-T Recommendation Q.712: Definition and Function of Signalling Connection Control Part Messages // Geneva, July, 1996.
11. ITU-T Recommendation Q.713: Signalling Connection Control Part Formats and Codes // Geneva, July, 1996.
12. ITU-T Recommendation Q.714: Signalling Connection Control Part Procedures // Geneva, July, 1996.
13. ITU-T Recommendation Q.716: Signalling Connection Control Part (SCCP) Performance // Geneva, March, 1993.

14. ITU-T Recommendation Q.761: Functional Description of the ISDN User Part of Signalling System No.7 // Geneva, Sept., 1997.
15. ITU-T Recommendation Q.762: General Function of Messages and Signals of the ISDN User Part of Signalling System No.7 // Geneva, Sept., 1997.
16. ITU-T Recommendation Q.763: Formats and Codes of the ISDN User Part of Signalling System No.7 // Geneva, Sept., 1997.
17. ITU-T Recommendation Q.764: Signalling System No.7 – ISDN User Part Signalling Procedures // Geneva, Sept., 1997.
18. ITU-T Recommendation Q.771: Functional Description of Transaction Capabilities // Geneva, June, 1997.
19. ITU-T Recommendation Q.772: Transaction Capabilities Information Element Definitions // Geneva, June, 1997.
20. ITU-T Recommendation Q.773: Transaction Capabilities Formats and Encoding // Geneva, June, 1997.
21. ITU-T Recommendation Q.774: Transaction Capabilities Procedures // Geneva, June, 1997.
22. Руководящий документ по общегосударственной системе автоматизированной телефонной связи (ОГСТФС). Книга 1. – М., 1988.
23. Технические спецификации на подсистему передачи сообщений (МТР) для национальной сети России. – М.: Минсвязи РФ, 1994.
24. Технические спецификации на подсистему пользователя (ISUP) для национальной сети России. – М.: Минсвязи РФ, 1994.
25. Технические спецификации на подсистему управления соединением сигнализации (SCCP) для национальной сети России. – М.: Минсвязи РФ, 1994.

26. Технические спецификации на подсистему возможностей транзакции (ТС) для национальной сети России. – М.: Минсвязи РФ, 1996.
27. Руководящий технический материал по выделению кодов пунктов сигнализации. Утвержден Минсвязи РФ 09.07.1996 г.
28. *Жарков М.А., Кучерявый А.Е.* Основные положения системы сигнализации ОКС №7 для сети связи РФ. – М.: ЦНТИ Информсвязь, 1996.
29. Системный проект сети ОКС 7 ВСС России. Одобрен ГКЭС 26.11.1997 г.
30. Руководящий документ «Основные положения сети ОКС 7 ВСС России» Утвержден 29.06.1999 г. Госкомсвязи РФ.
31. *Севастьянов Б.А.* Эргодическая теорема для марковских процессов и ее приложение к телефонным линиям с отказами // Теория вероятностей и ее приложения. – Т.2. – Вып.1. – 1957.
32. *Климов Г.П.* Стохастические системы обслуживания. – М.: Наука, 1966.
33. *Башарин Г.П., Харкевич А.Д., Шнепс М.А.* Массовое обслуживание в телефонии. – М.: Наука, 1968.
34. *Гнеденко Б.В., Даниелян Э.А., Димитров Б.Н., Климов Г.П., Матвеев В.Ф.* Приоритетные системы. – М.: Изд-во МГУ, 1973.
35. *Шнепс М.А.* Системы распределения информации. Методы расчета. – М.: Связь, 1979.
36. *Башарин Г.П., Кокотушкин В.А., Наумов В.А.* О методе эквивалентных замен расчета фрагментов сетей связи // Изв. АН СССР. «Техн. Кибернетика». – 1979. – №6.

37. *Башарин Г.П., Толмачев А.Л.* Теория сетей массового обслуживания и ее приложения к анализу информационно-вычислительных систем // Итоги науки и техники. Теория вероятностей. Мат. статистика. Техн. кибернетика. Т.21. – М.: ВИНТИ, 1983.
38. *Нейман В.И.* Структура систем распределения информации. – М.: Радио и связь, 1983.
39. *Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н.* Введение в теорию массового обслуживания. Изд. 2-е. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1987.
40. *Самарский А.А.* Введение в численные методы. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1987.
41. *Жожикашвили В.А., Вишневский В.М.* Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988.
42. *Башарин Г.П., Бочаров П.П., Коган Я.А.* Анализ очередей в вычислительных сетях. – М.: Наука, 1989.
43. *Корнышев Ю.Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д.* Теория телетрафика. – М.: Радио и связь, 1996.
44. *Лагутин В.С., Степанов С.Н.* Телетрафик мультисервисных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
45. Система телефонной сигнализации по общему каналу / *Васильченко А.И., Денисьева О.М., Жарков М.А.* и др.; Под ред. Стоянова М.Н. – М.: Связь, 1980.
46. *Васильченко А.И., Жарков М.А., Лутов М.Ф., Юнаков П.А.* Качество работы и область применения системы передачи по общему каналу сигнализации // Электросвязь. – 1980. – №10.
47. *Юнаков П.А., Иванов М.Б.* Метод оптимизации структуры местных сетей ОКС при применении цифровых систем коммутации // Электросвязь. – 1988. – №10.
48. *Лутов М.Ф., Жарков М.А., Юнаков П.А.* Квазиэлектронные и электронные АТС. – М.: Радио и связь, 1988.



49. *Варакин Л.Е., Кучерявый А.Е., Соколов Н.А., Филюшин Ю.И.* Интеллектуальная сеть: концепция и архитектура // *Электросвязь*. – №1. – 1992.
50. *Соколов Н.А.* Эволюция местных телефонных сетей. – Пермь, 1994.
51. *Филюшин Ю.И.* Концепция и принципы построения Интеллектуальных сетей связи. – М.: ЦНТИ Информсвязь, 1995.
52. *Лазарев В.Г.* Интеллектуальные цифровые сети. – М.: Финансы и статистика, 1996.
53. *Гольдштейн Б.С.* Сигнализация в сетях связи. – М.: Радио и связь, 1997.
54. *Adjemov A.S., Koucheryavyy A.E., Mazin I.G., Soloviev S.P.* SS#7 Testing on a Russian Network // *Proc. XVI ISS. Toronto, Canada, Sept. 21-28, 1997.*
55. *Аджемов А.С., Кучерявый А.Е., Брусиловский С.А., Дорф И.Г., Соловьев С.П.* Внедрение услуг интеллектуальной сети в России. – Сети и системы связи. – 1998. – №9.
56. *Гольдштейн Б.С., Рерле Р.Д., Ехриель И.М.* Тестирование и анализ протоколов ОКС 7 // *Вестник связи*. – 1998. – № 9.
57. *Астахова О.В., Дорф И.Г., Соловьев С.П.* ОКС 7: нормативно-техническая документация // *Вестник связи*. – 1998. – №4.
58. *Аджемов А.С., Соловьев С.П., Дорф И.Г., Кучерявый А.Е., Брусиловский С.А., Слышенков М.И., Лисс Ю.* Системный проект реализации ИСС на ТфОП // *Вестник связи*. – 1999. – №5.
59. *Аджемов А.С., Кучерявый А.Е.* Сетевые аспекты внедрения услуг интеллектуальной сети // *Proc. IN'2000, Moscow, Oct. 17-19, 2000.*
60. *Кох Р., Яновский Г.Г.* Эволюция и конвергенция в электросвязи. – М.: Радио и связь, 2001.

61. *Аджемов А.С., Кучерявый А.Е.* Система сигнализации ОКС №7. – М.: Радио и связь, 2002.
62. *Шнепс-Шнеппе М.А.* Управление нагрузкой интеллектуальной сети связи // *Электросвязь*. – 2002. – №11.
63. *Baskett F., Chandy K.M., Muntz R.R., Palacios F.G.* Open, closed, and mixed networks of queues with different classes of customers // *Journ. Assoc. Comput. Mash.* – 1975. – V.22. – №2.
64. *Kelly F.P.* Reversibility and stochastic network. – Wiley, Chichester, 1979.
65. *Клейнрок Л.* Теория массового обслуживания. – М.: Машиностроение, 1979.
66. *Клейнрок Л.* Вычислительные системы с очередями. – М.: Мир, 1979.
67. *Оре О.* Теория графов. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1980.
68. *Шварц М.* Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2-х ч. Ч. I, II: Пер. с англ. – М.: Наука, 1992.
69. *Ross K.W.* Multiservice loss models for broadband telecommunication networks. – Springer-Verlang, Lnd, 1995.
70. *Грэхем Р., Кнут Д., Паташник О.* Конкретная математика. Основание информатики // Пер. с англ. – М.: Мир, 1998.
71. *Таха Х.А.* Введение в исследование операций. Изд. 6-е. Пер. с англ. – М.: ИД «Вильямс», 2001.
72. *Watanabe Y., Ikeda Y.* Traffic characteristics of PCR method for CCITT signaling system No. 7 // *Proc. 10<sup>th</sup> Int. Teletraffic Cong. (ITC), Montreal, Canada, June 1983, V.1, sess.3.3, paper 3.*
73. *Skoog R.A.* Performance and engineering of common channel signaling networks supporting ISDN // *Traffic Engineering for ISDN Design and Planning*. M.Bonatti and M.Decina, Eds. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science, 1988.

74. *Willmann G.* Modeling and performance evaluation of multi-layered signaling networks based on the CCITT No.7 specification // *Teletraffic Science for New Cost-Effective Systems, Networks and Services, Part 2 (ITC-12)*, M.Bonatti, Ed. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science, 1989.
75. *Modarressi A.R., Skoog R.A.* Signaling system No. 7: A Tutorial // *IEEE Commun. Mag.* – 1990. V.28. – No.7, July.
76. *Willmann G., Kuhn P.J.* Performance Modeling of Signaling System No.7 // *IEEE Commun. Mag.* – 1990. V.28. – No.7, July.
77. *IEEE Communications Magazine.* – 1990. V.28, No.7, July.
78. *Stallings W.* ISDN: An introduction // 2<sup>nd</sup> edd., Macmillan Publ. Comp., N.Y., 1992.
79. *Ramaswami V.* Analysis of the link error monitoring protocols in the common signaling networks // *IEEE/ACM Trans. Network.* – 1993. V.1. – No.1, Feb.
80. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications.* – 1994. V.12. – No.3, Apr.
81. *Bafutto M., Kuhn P., Willmann G.* Capacity and Performance Analysis of Signalling Networks in Multivendor Environments // *IEEE J. Select. Areas in Commun.* – 1994. V.12. – No.3, Apr.
82. *Krauss L., Rufa G.* On the design of a hierarchical SS7 network: a graph theoretical approach // *IEEE J. Select. Areas in Commun.* – 1994. V.12. – No.3, Apr.
83. *Russel T.* Signalling system #7. – McGraw Hill, 1995.
84. *Nielsen B.F., Andersen A.M.* Traffic models of the Message Transfer Part of Signalling System № 7 // *Proc. of St.Petersburg International Teletraffic Seminar, LONIIS, 1995, St.Petersburg, Russia.*
85. *Zharkov M., Samouylov K., Shaparev V.* Basic Principles for Russian SS#7 Toll Network Design // *ConTEL'97, Croatia, Zagreb, ITA.* – 1997. V.15. – No.1-3.

86. Схема междугородной сети сигнализации №7 (ОКС 7) России на 2005 год. – М.: Гипросвязь, 1998.
87. *Ефимушкин В.А., Жарков М.А., Полищук В.П., Самуйлов К.Е.* Выбор структуры построения междугородной сети ОКС 7: Сб. научных трудов ЦНИИС. – М., 1998.
88. *Жарков М.А., Полищук В.П., Кочанов А.Е., Самуйлов К.Е.* Разработка объектно-ориентированных программных средств для расчета сетей ОКС 7 // Труды V Ежегодн. научн. семинара ИСС-98 «Интеллектуальные сети связи. Новые услуги и технологии связи» 26 ноября 1998г., г.Москва. – М.: ПАИМС, 1998.
89. Система сигнализации №7: Учебное пособие для инженерно-технического персонала / Под ред. Жаркова М.А., Самуйлова К.Е., Шапарева А.В. – М.: ПАИМС, 2000.
90. *Самуйлов К.Е., Полищук В.П., Чукарин А.В.* Схема сети ОКС-7 Московской области // Вестник связи. – 2002. – №10.
91. *Самуйлов К.Е.* Системы массового обслуживания ограниченной емкости и их приложение к анализу информационно вычислительных систем: Автореф. дис. ... – канд. физмат. наук. – М., 1984.
92. *Dedobortsh V.G., Basharin G.P., Zharkov M.A., Samuilov K.E.* Methods of Quality Parameter Analysis for Common-Channel Signaling System // Fundamentals of Teletraffic Theory. Proc. of the 3-d International Seminar on Teletraffic Theory, Moscow, June 1984.
93. *Башарин Г.П., Наумов В.А., Самуйлов К.Е.* К анализу задержек в общем канале сигнализации // Квазиэлектронные и электронные системы коммутации. – М.: ЦНИИС, 1984.

94. *Клауз С.А., Куренков Б.Е., Самуйлов К.Е.* О выборе системы сигнализации по ОКС для АМТС КЭ по пропускной способности // Автоматические системы и аппаратура телефонной коммутации и телеграфии. – М.: ЦНИИС, 1984.
95. *Башарин Г.П., Наумов В.А., Самуйлов К.Е.* Анализ маршрутных задержек в сети каналов системы сигнализации №7 // Автоматика и вычислительная техника. – 1986. – №3.
96. *Самуйлов К.Е., Соловьев С.П., Ткачев С.В.* Применения и анализ качественных показателей системы сигнализации МККТТ №7 в зонной подвижной радиосвязи: Труды НИИ радио. – М., 1986.
97. *Башарин Г.П., Самуйлов К.Е.* Методы анализа производительности систем сигнализации по общему каналу // Итоги науки и техники. «Электросвязь» Т.16. – М.: ВИНТИ, 1986.
98. *Самуйлов К.Е., Соловьев С.П., Попов К.Б.* Анализ нагрузки на систему ввода-вывода СУВК «Нева-1М» при передаче информации системы сигнализации №7 // Системы телефонной и телеграфной коммутации. – М.: ЦНИИС, 1988.
99. *Клауз С.А., Самуйлов К.Е., Соловьев С.П.* Анализ производительности общей шины оборудования канального уровня системы сигнализации №7 // Системы и средства передачи дискретной информации. – М.: ЦНИИС, 1989.
100. *Самуйлов К.Е., Соловьев С.П., Ткачев С.В.* Расчет буферной памяти канала СС-7 // Электросвязь. – 1989. – №12.

101. *Жарков М.А., Закошанский А.Э., Самуйлов К.Е.* Об одном методе анализа процедуры гистерезисного управления нагрузкой в системе сигнализации №7: Труды 14 Всесоюзной школы-семинара по вычислительным сетям. Ч. 3. – М.: ВИНТИ, 1989.
102. *Жарков М.А., Наумов В.А., Порошков Н.Л., Самуйлов К.Е.* Оценка среднего времени установления соединения в цифровой сети интегрального обслуживания // *Электросвязь*. – 1991. – №9.
103. *Дорф И.Г., Жарков М.А., Самуйлов К.Е.* Метод расчета междугородной сети ОКС с использованием декомпозиции // *Электросвязь*. – 1992. – №8.
104. *Zharkov M., Samouylov K., Chekmareva E.* Method of Estimating Signalling System No.7 time responses in mobile cellular network // *ITA. Zagreb*, 1993. – V.12. – No.1-3.
105. *Zharkov M., Samouylov K., Dolgopolova J.* Cellular Handover Processing Model With Limited Queueing Time // *ITA. Zagreb*, 1994. – V.13. – No.1-3.
106. *Zharkov M., Nikitina M., Plotnikova E., Samouylov K.* A Method for ISDN Signalling End-To-End Delay Mean Value Analysis // *ITA. Zagreb*, 1995. – V.14. – No.1-3.
107. *Самуйлов К.Е.* Система сигнализации №7 ключевой элемент современных цифровых сетей связи // *Сети*. – 1996. – №7.
108. *Самуйлов К.Е.* Введение в архитектурную концепцию интеллектуальной сети // *Открытые системы*. – 1996. – №2.
109. *Самуйлов К.Е., Филюшин Ю.И.* Оценка среднего времени установления соединения для услуг интеллектуальной сети связи // *Электросвязь*. – 1996. – №6.
110. *Самуйлов К.Е., Галентовская М.А.* Введение в систему сигнализации №7 // *Сети*. – 1999. – №5-6, 8-9.

111. *Martikainen O., Naoumov V., Samouylov K.* Telecommunication Signalling // Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering. V.1 (John .G. Webster, Editor), John Wiley & Sons, 1999.
112. *Самуйлов К.Е., Гайдамака Ю.В., Галентовская М.А.* Модели процесса обработки сигнальных сообщений в транзитном пункте сигнализации // Системы телекоммуникаций и моделирование сложных систем. – М.: ПАИМС, 1999.
113. *Жарков М.А., Гайдамака Ю.В., Самуйлов К.Е.* К расчету задержек в звене сигнализации ОКС 7 при базовом методе защиты от ошибок // Электросвязь. – 2000. – №3.
114. *Gaidamaka Y.V., Samouylov K.E.* SS7 signalling link delays in the extreme error condition // Proc. of the 2-th Int. Conf. IN-2000, October 17-19, 2000. Moscow, Russia, 2000.
115. *Самуйлов К.Е., Чукарин А.В.* К расчету плана маршрутизации сети системы сигнализации №7 // Системы телекоммуникаций и моделирование сложных систем. – М.: ПАИМС, 2001.
116. *Samouylov K.* A Graph Theoretical Approach to the SS7 Network Routing Plan Design // St.-P.: LONIIS, SUT by prof. Bonch-Bruevich, ITC Sponsored Regional International Teletraffic Seminar «Telecommunication Network and Teletraffic Theory», 2002.
117. *Самуйлов К.Е., Чукарин А.В.* Применение алгоритма фронта волны для построения графа плана маршрутизации сигнальных сообщений // Системы телекоммуникаций и моделирование сложных систем. – М.: ПАИМС, 2002.
118. *Самуйлов К.Е., Чукарин А.В.* Метод раскраски ребер мультиграфа в задаче выбора направлений передачи

- сигнальных сообщений // Системы телекоммуникаций и моделирование сложных систем. – М.: ПАИМС, 2002.
119. Delay performance for SS7 networks: methodology for end-to-end delay objectives // COM11-11-E ITU-T SG-11 Question 2/12 June 1994.
  120. Inconsistency between Q.706 and E.733 and queuing delay calculations in Q.706 // COM11-D1479 ITU-T SG11 // Geneva, November-December, 1999.
  121. *Martikainen O., Naoumov V., Samouylov K.* Signalling System No. 7 Portable Software Implementation // Proc. Int. Teletraffic Seminar «Digital Commun. Network Management», St. Petersburg, 1993.
  122. *Martikainen O., Naoumov V., Samouylov K.* Portable Intelligent Network Software Implementation // Proc. Int. Symposium “Network Information Processing Systems”, Sofia, 1993.
  123. *Martikainen O., Kosmyrin N., Samouylov K.* ISDN DSS#1 Portable Software Implementation // ITA. Zagreb, 1995. – V.14. – No.1-3.
  124. *Martikainen O., Kosmyrin N., Samouylov K.* Portable SS#7 Transaction Capabilities Protocol Implementation of the Open Service Node // Proc. Int. Teletraffic Seminar New Telecom. Services for Developing Networks’, St. Petersburg, June, 1995.
  125. *Kempanen P., Kosmyrin N., Martikainen O., Samouylov K.* Signalling Software Implementation for the Open Service Node // ConTEL’97, Croatia, Zagreb, ITA, 1997. – V.15. – No.1-3.
  126. *Martikainen O., Nikitin A., Samouylov K.* On Some Experience from CMISE and XMP API Portable Software Implementation // Proc. 8<sup>th</sup> Europ. Conf. On Object-Oriented Programming, Bologna, Italy, 1994.



127. *Kartunnen T., Martikainen O., Naoumov V., Samouylov K.* Comparison of Broadband Intelligent Architectures Intelligent Networks. – Chapman&Hall, 1995.
128. *Martikainen O., Naoumov V., Samouylov K.* Call Processing Model for Multimedia Services // Intelligent Networks and New Technologies (V.B.Iversen and J.Norgaard ed.). – Chapman&Hall. – London, 1996.
129. *Martikainen O., Naoumov V., Samouylov K., Zhidovinov M.* A Framework of Service Components Modeling for Multimedia Distribution over Broadband Network // Intelligent Networks and Intelligence in Networks (Dominique Gaiti ed.). – Chapman & Hall, London, 1997.
130. *Martikainen O., Zhidovinov M., Samouylov K.* A Toolkit for Component-based Development of Telecommunications Services // INDC'98, Portugal, 1998.
131. *Жидовинов М.А., Наумов В.А., Никитин А.Г., Самуйлов К.Е.* Компонентно-ориентированные методы создания услуг в интеллектуальных сетях связи: Труды V Ежегодн. научн. семинара ИСС-98 «Интеллектуальные сети связи. Новые услуги и технологии связи» 26 ноября 1998г., г.Москва. – М.: ПАИМС, 1998.
132. *Martikainen O., Nikitin A., Zhidovinov M., Samouylov K.* UMLDraw – a Toolkit for Telecommunications Services Software Modeling // ConTEL'99, Zagreb, Croatia, 1999.
133. *Naoumov V., Samouylov K., Chukarin A.* An Approach to MPLS System Design // Proc. of «Intelligent Networks 2001: Services, Interfaces, Specifications». – М.: MAX Press, 2001.
134. ITU-T Recommendation X.200: Information technology - Open Systems Interconnection - Basic Reference Model: The basic model 7 // Geneva, June, 1994.
135. *Mouly M., Pautet M.-B.* The GSM System for Mobile Communication // Europe Media Duplication, 1992.

136. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. Изд. 2-е. Пер. с англ. – М.: Бином, 1998.
137. ITU-T Recommendation G.703: Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces // ITU-T White Book, November, 2001.
138. ITU-T Recommendation G.704: Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels // ITU-T White Book, October, 1998.
139. ITU-T Recommendation G.732: Characteristics of primary PCM multiplex equipment operating at 2048 kbit/s // ITU-T White Book, November, 1988.
140. ITU-T Recommendation Q.930: ISDN user-network interface layer 3 - General aspects // Geneva, March, 1993.
141. ITU-T Recommendation Q.931: ISDN user-network interface layer 3 specification for basic call control // Geneva, May, 1998.
142. ITU-T Recommendation E.733: Methods for dimensioning resources in Signalling System No.7 // ITU-T White Book, November, 1998.
143. ITU-T Recommendation Q.725: Signalling performance in the telephone application // ITU-T White Book, March, 1993.
144. ITU-T Recommendation Q.766: Performance objectives in the integrated services digital network application // ITU-T White Book, March, 1993.
145. ITU-T Recommendation E.721: Network grade of service parameters and target values for circuit-switched services in the evolving ISDN // ITU-T White Book, May, 1999.
146. ITU-T Recommendation E.723: Grade-of-service parameters for Signaling System No. 7 networks // ITU-T White Book, June, 1992.

147. ITU-T Recommendation I.352: Network performance objectives for connection processing delays in an ISDN // ITU-T White Book, March, 1993.
148. *Кокс Д., Смит В.* Теория восстановления // Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1967.
149. Implementors' Guide for Recommendation Q.706 // ITU-T, SG11, Geneva, February, 2000.
150. *Lemp K.H., Probst A., Schmceller M.* Powerful Planning Tool for Signaling Network // Siemens AG, Telecom Report International. – 1994. – No.4.
151. *Нефедов В.Н., Осипова В.А.* Курс дискретной математики. – М.: Изд. МАИ, 1992.
152. *Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И.* Лекции по теории графов. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1990.
153. *Зыков А.А.* Основы теории графов. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1987.
154. *Klein W.* Routing planning in a large-scale signaling network // Teletraffic Science for New Cost-Effective Systems: Networks and Services, ITC-12, 1989.
155. *Roch H., Glitho R.J.* Isolating Faulty Routing Tables in SS7 Networks: Present and Future // IEEE Communications Magazine, May 1996.

Самуйлов Константин Евгеньевич

МЕТОДЫ АНАЛИЗА И РАСЧЕТА СЕТЕЙ ОКС 7

Монография

Технический редактор Ю.В.Чванова  
Дизайн обложки А.В.Чукарин

Издание подготовлено в авторской редакции

Лицензия серия ЛР № 020458 от 4 марта 1997 г.