

**Министерство транспорта и связи Украины**

**Государственная администрация связи  
Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова**

---

***Кафедра коммутационных систем***

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

**Учебное пособие**

**Часть 1**

***Модуль 4.1 – Проектирование  
телекоммуникационных сетей***

Одесса 2009

**Барабаш Т.Н., Соловская И.Н.**

Проектирование телекоммуникационных сетей: Учебное пособие. – Одесса: ОНАС, 2009. – 64 с.

Учебное пособие предназначено для студентов дневной, заочной и дистанционной форм обучения бакалаврской подготовки направления “Телекоммуникации” и может использоваться для выполнения самостоятельных заданий, курсовых и дипломных проектов.

Учебное пособие содержит конспект лекций по тематике модуля 4.1 дисциплины “Системы коммутации электросвязи”, где в краткой форме изложены основы теории распределения информации – основные методы исследования и расчета коммутационных систем разной структуры. Рассматриваются модели потоков вызовов и особенности прогнозирования нагрузки в сетях связи. Задание для самостоятельной работы, посвященное расчету параметров аналого-цифровой сети позволит студентам закрепить теоретический материал, а наличие контрольных тестов проверить качество полученных знаний.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Дисциплина «Системы коммутации электросвязи» изучается студентами факультетов Информационные сети и Телекоммуникационные сети на модулях 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 4.1 и 4.2 бакалаврской подготовки направления 0924 – Телекоммуникации.

### Модуль 4.1 – Проектирование телекоммуникационных сетей

Распределение учебного времени модуля 4.1  
дисциплины «Системы коммутации электросвязи»

Семестровый контроль – зачет

Вид занятий	Кол-во часов	Модуль 4.1							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Лекции	16	2	2	2	2	2	2	2	2
Упражнения, семинары, практические занятия	–								
Лабораторные занятия	16	2	2	2	2	2	2	2	2
Всего аудиторных часов	32	4	4	4	4	4	4	4	4
Индивидуальная и самостоятельная работа	4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Всего	36	4	4	4	4	5	5	5	5
Контрольные методы модуля		Выд. СРС							Сд СРС

## ПЕРЕЧЕНЬ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ СТУДЕНТА

**1 Студент должен знать** основные принципы построения телефонных сетей, основные методы внедрения цифровых систем коммутации (ЦСК) на городские телефонные сети и телефонные сети сельских административных районов; основные типы ЦСК, используемые на телефонных сетях Украины, их архитектуру, назначение и реализацию основных функциональных подсистем; принципы построения и алгоритмы работы абонентских и коммутационных модулей ЦСК, функциональные схемы современных ЦСК, процедуры установления соединений и сигнализацию на телефонной сети.

**2 Студент должен уметь** анализировать и синтезировать функциональные схемы ЦСК для конкретных городских телефонных сетей (ГТС) и телефонных сетей сельских административных районов (ТС САР), синтезировать соединительные тракты, анализировать процессы межстанционного взаимодействия и способы сигнализаций.

## ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИЙ

№	Тема и содержание лекции, дополнительный материал самостоятельного изучения	Литература по теме
1	<b>Телекоммуникационные сети и системы как системы массового обслуживания (СМО).</b> Основные определения теории телетрафика. Поток вызовов, интенсивность нагрузки, качество обслуживания.	1
2	<b>Потоки вызовов как случайный процесс.</b> Характеристики распределений случайных переменных. Числовые характеристики случайных переменных – математическое ожидание, дисперсия, эксцесс. Процесс Пуассона. Простейший поток.	1
3	<b>Задачи анализа телекоммуникационных сетей и систем.</b> Базовая модель СМО по Кендалу. Основы имитационного моделирования СМО. Сети Петри как инструмент для описания и исследования динамических систем.	1
4	<b>Аналитические методы в теории телетрафика.</b> Марковские модели для исследования пропускной способности. Анализ систем типа $M/M/m; \infty$ , систем с потерями $M/M/m; v$ , систем с очередями $M/M/m; v/N$ . Системы с «самоподобным» (фрактальным) входным потоком.	1,2,3
5	<b>Методы расчетов телекоммуникационных систем.</b> Расчеты необходимого количества каналов в условиях Пуассоновского и рекуррентного потоков вызовов. Расчет длительности доставки пакетов.	1,2,3
6	<b>Методика проектирования ТфСОП.</b> Прогнозирование и распределение всех видов нагрузок. Матрица коэффициентов тяготения и баланс нагрузок. Расчет емкости межстанционных пучков каналов. Расчет оборудования ЦСК.	1,2,3
7	<b>Регуляция трафика в мультисервисных сетях.</b> Оптимизация назначения приоритетов. Модели имитации трафика с разными параметрами качества обслуживания.	2,3
8	<b>Методика проектирования мультисервисных сетей.</b> Классификация и параметризация мультимедийного трафика. Параметры качества обслуживания мультимедийного трафика. Скученность нагрузки. Расчеты в условиях непуассоновского трафика.	2,3
	<b>Тематика самостоятельного изучения.</b> Общие концепции построения систем математического моделирования мультимедийных сетей. Метод гибридного моделирования. Метод имитационного моделирования. Метод аналитического моделирования.	3

## **ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

**1 Корнышев Ю.Н., Фань Г.Л. Теория распределения информации.** Учебное пособие. – М.: Радио и связь, 1985. – 168 с.

**2 Крылов В.В, Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения.** – СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 2005. – 288 с.

**3 Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. Мультисервисные сети. Учебное пособие.** – М.: Горячая линия – Телеком – 2005.

**4 Романцов В.М., Соловська І.М., Стовбун Г.В. Збірник схем до курсу СКЕЗ-2. Цифрові комутаційні поля, ЦСК «Квант-Е», SI-2000, EWSD.** – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2004. – 65 с.

**5 Долгий С.О. и др. Современные телекоммуникации. Технологии и экономика.** – М.: Эко-Трендз, 2005. – 320 с.

**6 Соловська І. М. Цифрові системи комутації «Квант-Е», SI-2000/V.5, EWSD/V.15, 5ESS/VCDX».** Навчальний посібник. Матеріали для підготовки до практичних, лабораторних занять та СРС. – Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2007. – 60 с.

# 1 ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

## «Расчет параметров аналого-цифровой городской телефонной сети с коммутацией каналов»

### Исходные данные

На аналого-цифровой городской телефонной сети (ГТС) областного центра имеются четыре узловых района (УР): координатный УР-2 в составе трех РАТС типа АТСК-У емкостью  $N_{21...N_{23}}$  и цифровые – УР-3, УР-4 и УР-5. УР-3 на базе цифровой системы коммутации (ЦСК) типа «Квант-Е» емкостью  $N_{\text{ЦСК-31/32}}$ , состоящий из опорно-транзитного оборудования (ОПТС) ОПТС-31/32, двух выносных коммутационных модулей (ВКМ) емкостью  $N_{\text{ВКМ-1}}$ ,  $N_{\text{ВКМ-2}}$  и трех выносных абонентских модулей (ВАМ) емкостью  $N_{\text{ВАМ-1}} - N_{\text{ВАМ-3}}$ . УР-4 состоит из ОПТС-41/42 на базе ЦСК SI-2000/V.5 емкостью  $N_{\text{ЦСК-41/42}}$ , в которую включены две аналоговые РАТС-45 и РАТС-47 (емкостью  $N_{45}$  и  $N_{47}$ ), аналоговые РАТС частично демонтированы за счет установленных в их помещении двух узлов доступа SAN емкостью  $N_{\text{SAN-1}}$  и  $N_{\text{SAN-2}}$ . УР-5 на базе ОПТС-51/52 (SI-2000/V.5) емкостью  $N_{\text{ОПТС-51/52}}$ . Все ОПТС ГТС связаны между собой транспортным кольцом SDH. Доля квартирных ТА составляет  $K_{\text{УР-2}}$ ,  $K_{\text{Ц-3}}$ ,  $K_{\text{Ц-4}}$ ,  $K_{\text{Ц-5}}$ , доля универсальных таксофонов – 0,01 от емкости станции. Для доступа к Internet при каждой ОПТС организован пункт присутствия *Internet* – (*Internet Point of Presence*) *IPOP*. Доля абонентов с доступом к *Internet* по абонентской линии (*dial-up*) составляет 0,2 от емкости станции. В областном центре действует зонавая АМТС типа EWSD (с установленным магистральным коммутатором *Softswitch* 4 класса). При АМТС организован пункт коммутации интеллектуальных услуг (*Service Switching Point*) *SSP*. Доля абонентов с доступом к пункту предоставления интеллектуальных услуг *SSP* составляет 0,01. Узел спецслужб (УСС) построен на аналоговом оборудовании и размещен в здании РАТС-22. Коэффициенты тяготения для ГТС выбираются самостоятельно в зависимости от конфигурации сети и принятых расстояний между станциями.

### Задание

**1 Изобразить и проанализировать структурные схемы существующей ГТС.** Привести и кратко описать структурную схему существующей сети местной связи; привести и кратко описать структурную схему сети связи с АМТС и УСС; на структурных схемах указать все необходимые станции и выносное оборудование, привести код, тип оборудования и нумерацию АЛ; показать пункты присутствия *IPOP* при ОПТС; пункт коммутации интеллектуальных услуг *SSP* при АМТС, для пучков соединительных линий (СЛ) указать направленность соединения, для ФСЛ – проводность, для ЦСЛ – тип группового тракта и используемую цифровую систему передач (ЦСП), отдельным цветом выделить структуру транспортного кольца ГТС.

**2 Произвести расчет интенсивностей нагрузок для ГТС с коммутацией каналов:** определить структурный состав абонентов станций существующей ГТС; рассчитать абонентские нагрузки для станций ГТС; рассчитать исходящую нагрузку к пункту присутствия *Internet – IPOP* и пункту коммутации интеллектуальных услуг *SSP*; выбрать коэффициенты тяготения для ГТС; рассчитать межстанционные нагрузки на ГТС. Каждый этап расчетов сопровождать схемами распределения нагрузки на станции.

**3 Определить нагрузку на пучки СЛ и определить количество СЛ для всех направлений связи на ГТС с коммутацией каналов.**

**4 Определить и обосновать способы сигнализации для всех направлений связи на ГТС.** Составить таблицу способов сигнализаций между всеми станциями сети, АМТС и УСС.

Исходные данные приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Исходные данные

<b>A</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
$N_{21}$ , тыс.	5	8	9	7	8	6	10	7	8	9
$N_{ЦСК-31/32}$ , тыс.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$N_{ЦСК-41/42}$ , тыс.	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11
$N_{ВКМ-1}$	4096	1024	2048	3072	4096	3072	1024	2048	3072	4096
$K_{УР-2}$	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,70	0,85	0,80
$K_{Ц-3}$	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	0,80	0,85	0,70	0,87	0,84
$N_{SAN-1}$	704	1408	2112	2800	2112	1408	704	2800	1408	704
<b>B</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
$N_{22}$ , тыс.	9	7	8	10	6	9	8	7	6	9
$N_{45}$ , тыс.	8	7	6	5	6	8	8	9	7	8
$N_{ОПТС-51/52}$ , тыс.	18	19	20	18	20	19	20	18	19	20
$N_{ВАМ-1}$	256	128	512	384	128	256	512	128	256	256
$N_{ВАМ-2}$	512	256	128	256	512	384	128	256	512	128
$N_{SAN-2}$	704	2800	2112	1408	2112	704	1408	2800	2112	1408
$K_{Ц-4}$	0,80	0,85	0,65	0,70	0,60	0,75	0,86	0,67	0,78	0,89
<b>C</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
$N_{23}$ , тыс.	10	10	8	10	8	10	10	10	10	10
$N_{47}$ , тыс.	9	9	8	8	10	10	10	10	8	10
$N_{ВКМ-2}$	3072	4096	3072	2048	1024	2048	3072	4096	1024	2048
$N_{ВАМ-3}$	128	256	128	256	128	256	128	256	128	256
$K_{Ц-5}$	0,73	0,90	0,95	0,76	0,70	0,68	0,79	0,80	0,81	0,88

## **1.1 Методические указания к выполнению СРС**

### **1.1.1 Анализ существующей аналого-цифровой сети с коммутацией каналов**

На рассматриваемой ГТС при внедрении цифрового оборудования был использован метод наложения. Рассмотрим основные мероприятия, которые выполняются при использовании данного метода.

*Метод наложения* характеризуется наличием двух независимых отдельных (аналоговой и цифровой) сетей, обслуживающих одну и ту же территорию. Формируется цифровая наложенная сеть за счет: установки новых цифровых систем коммутации (ЦСК), демонтажа морально и физически устаревшего оборудования и замены его цифровым, путем расширения существующих аналоговых АТС цифровым оборудованием.

Внедрение ЦСК методом «наложенной сети» выполняется единым территориально распределенным комплексом аппаратно-программных средств для одного или нескольких узловых районов ГТС, при этом обязательным является фактор использования однотипного оборудования для ГТС.

При этом используются следующие рекомендации.

**Опорно-транзитное оборудование (ОПТС, *Host*).** ЦСК применяется преимущественно в качестве ОПТС с функциями объединения и распределения исходных и входных местных и междугородних соединений для всех или части станций на базе выносных коммутационных модулей (ВКМ) и, возможно, ЦСК других систем, а также в качестве центра технической эксплуатации (ЦТЭ) всего территориально распределенного оборудования системы. Кроме этого, в зависимости от потребности (в том числе одновременно), эта ОПТС может выполнять функции узла спецслужб (УСС) или интеллектуального центра обработки вызовов (*Call-center*); центра коммутации сотовой сети подвижной связи *MSC (Mobile Switching Center)*; АМТС или международного центра коммутации (МЦК); пункта присутствия *Internet IPOP (Internet Point Presence)* и шлюза с пакетными сетями *IP, ATM, FR, Ethernet*; пункта коммутации интеллектуальных услуг *SSP (Service Switching Point)*.

**Выносные коммутационные модули (ВКМ).** Целесообразность установления ВКМ зависит от соответствия его возможностей, которые определяются типом избранной ЦСК, к конкретным потребностям проектируемого объекта в сетевых функциях, абонентской емкости и количестве соединительных линий (СЛ).

**Выносные абонентские модули (ВАМ)** применяются для уменьшения расходов на сеть абонентских линий (АЛ), в частности, в качестве концентраторов в местах скопления небольших групп абонентов - в микрорайонах частной застройки.

Для внедряемой ЦСК обеспечивается необходимая номенклатура линейных стыков, способов и кодов сигнального обмена с существующим аналоговым оборудованием и оборудованием существующих на сети ЦСК. С аналоговой частью сети используются только ЦСЛ. Соединение между ЦСК производится, как правило, оптоволоконным кольцом, образованным *SDH*.

Для внедряемой ЦСК, как правило, вводится новый план нумерации, который предполагает выделение ее как отдельного цифрового узлового района, емкость которого порядка 100 000 абонентов.



Внедряемая ЦСК должна обеспечить функциональную полноту общеканальной сигнализации ОКС-7 и иметь статус транзитного *STP* (*Signalling Transfer Point*) или оконечного *SP* (*Signalling Point*) пункта сигнализации для обеспечения сигнального взаимодействия с существующими ЦСК и АМТС.

Внедряемая ЦСК, благодаря наличию средств централизованной технической эксплуатации, обеспечит возможность взаимодействия с сетью управления электросвязью *TMN* (*Telecommunication Management Network*).

С целью обеспечения абонентов ГТС связью с сетью Internet в режиме коммутированного доступа (*dial-up*), при ОПТС организовывается *IPOP* (*Internet Point of Presence*), который путем установления группы многофункциональных серверов *Internet* будет обеспечивать выход во всемирную "паутину" WWW сети *Internet*. Серверу выделяется нужная номерная емкость и пропускная способность к сети *Internet* в цифровизированном, полупостоянно скомутированном в коммутационном поле ОПТС, направлении связи к провайдеру и, в зависимости от нагрузки, ряд серийных абонентных номеров с модемами для доступа пользователей.

При АМТС организуется узел предоставления интеллектуальных услуг *SSP* (*Service Switching Point*).

Для выполнения п.1 необходимо изобразить структурную схему ГТС в соответствии с рис. 1.1, 1.2. При этом необходимо учесть, что в СРС приводятся три структурные схемы сети (схема организации местной связи, схема организации связи с АМТС и УСС и схема ГТС с учетом транспортного кольца *SDH*). На структурной схеме организации местной связи ГТС указывают: тип оборудования, код станции и нумерацию АЛ; для пучков СЛ – направленность, для ФСЛ – проводность, для ЦСЛ – тип ГТ и используемую систему передач; пункты доступа к *Internet* – *IPOP*. Пример разработанной структурной схемы показан на рис. 1.1.

На структурной схеме организации связи с АМТС и УСС показывают: станции сети, их тип и код (можно не указывать нумерацию АЛ); пучки СЛ местной связи; показывают АМТС с указанием типа оборудования, показывают связи пучками ЗСЛ и СЛМ ко всем узловым районам, для УСС – показывают местоположение, и пучки СЛ от всех станций сети с указанием проводности, при АМТС показать пункт коммутации услуг Интеллектуальной сети – *SSP*. На структурной схеме ГТС с учетом транспортного кольца *SDH* показывают станции сети, тип оборудования, коды станций, принцип подключения к транспортному кольцу *SDH* и необходимое оборудование. Пример структурной схемы с учетом транспортного кольца *SDH* приведен на рис. 1.2. Каждая структурная схема сопровождается кратким описанием. При описании существующей сети можно учесть следующие теоретические выкладки.

Аналого-цифровая ГТС с узлообразованием (сеть с шестизначной нумерацией) предполагает наличие на сети узловых районов (УР), которые организованы с целью укрупнения пучков СЛ. Рассматриваемая ГТС построена на базе аналоговых и цифровых узловых районов.

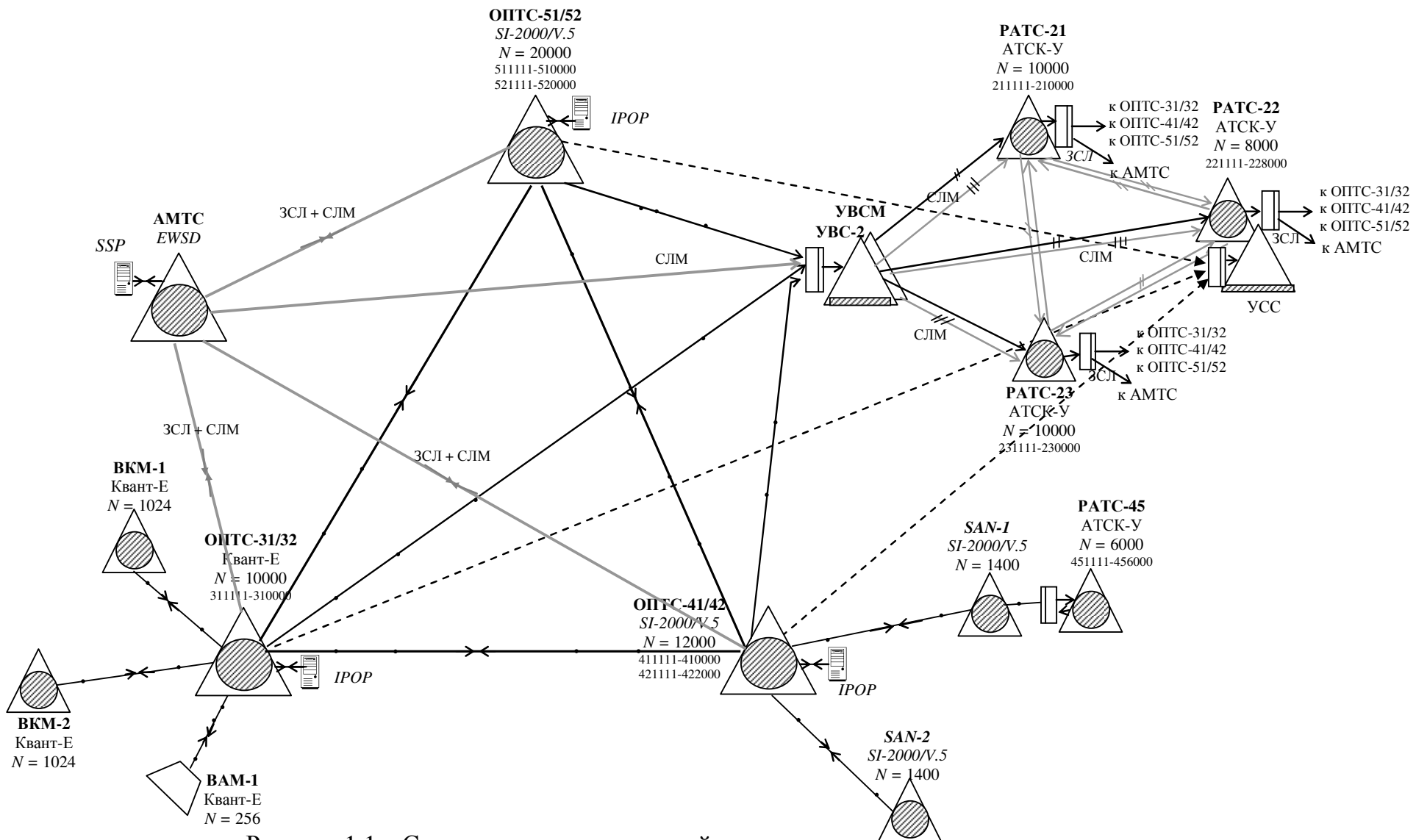


Рисунок 1.1 – Структурная схема местной связи

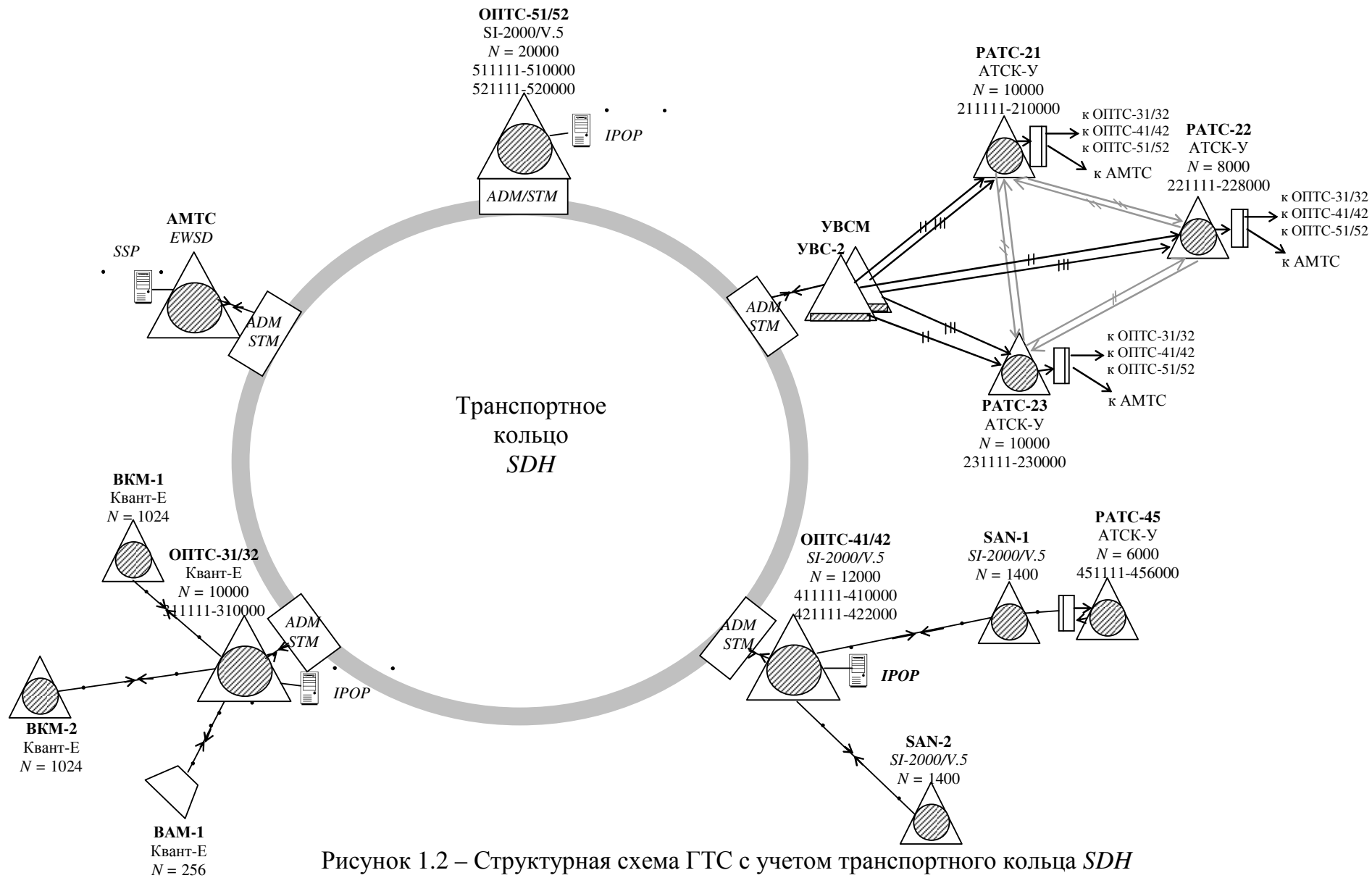


Рисунок 1.2 – Структурная схема ГТС с учетом транспортного кольца SDH

Аналоговый узловой район. Состоит из УВС – это узел входящих сообщений, который концентрирует входящую нагрузку от всех РАТС сети к РАТС узлового района и распределяет между РАТС своего района, по исходящей связи от каждой РАТС организованы индивидуальные пучки уплотненных ЦСЛ к ОПТС цифровых узловых районов. РАТС внутри узлового района связываются по принципу «каждая с каждой». Нумерация для узлового района –  $K_1K_2ТСДЕ$ , где  $K_1$  – это код узлового района,  $K_2$  – код РАТС, ТСДЕ – нумерация АЛ в пределах станции. Между собой РАТС в пределах УР связываются по принципу «каждая с каждой» пучками соединительных линий одностороннего действия. Выбор типа СЛ между аналоговыми РАТС зависит от расстояния: при  $l < 1,5$  км применяются трехпроводные физические СЛ, при  $1,5 > l < 8$  км – двухпроводные СЛ; при  $l > 8$  км – уплотненные СП типа ИКМ.

Цифровые узловые районы построены на базе территориально-распределенной архитектуры ЦСК, состоящей из опорно-транзитного оборудования (ОПТС) и выносных коммутационных (ВКМ) и абонентских модулей (ВАМ), связывающихся с ОПТС пучками линий двухстороннего действия.

Принципы взаимодействия на аналого-цифровой ГТС. Связь аналоговых и цифровых УР осуществляется следующим образом: входящая связь к аналоговому УР – линиями одностороннего действия через УВС; исходящая связь обеспечивается путем организации односторонних пучков от каждой РАТС к цифровой ОПТС. При этом для стыка между цифровой и аналоговой частью сети используются цифровые соединительные линии, образованные групповыми трактами Е1 с установкой ЦСП ИКМ-30 со стороны аналоговых объектов сети. Цифровые УР связываются между собой пучками двухстороннего действия по принципу «каждый с каждым». Все ОПТС связывает оптоволоконное кольцо *SDH*.

Для связи с АМТС используются следующие типы СЛ: ЗСЛ – заказно-соединительные линии, СЛМ – соединительные линии междугородные. Для укрупнения пучков СЛМ в аналоговом УР используется узел СЛМ – УВСМ, который организован вместе с УВС. Цифровые ОПТС предполагают организацию двухсторонних пучков линий ЗСЛ и СЛМ к АМТС.

Для связи с УСС организуется односторонний пучок СЛ от каждой ОПТС, с учетом того, что УСС выполнен на аналоговом оборудовании, необходимо обеспечить стык с помощью ЦСП. Связь аналоговых РАТС с УСС осуществляется с помощью ФСЛ одностороннего действия.

Транспортное кольцо, построенное на базе оптоволоконного кабеля с использованием технологии *SDH* обеспечивает на ГТС межузловую связь, связь станций сети с АМТС и УСС. На всех ОПТС сети и УВС организуется точки доступа для подключения к транспортному кольцу, здесь устанавливаются мультиплексоры ввода/вывода ADM.

### **1.1.2 Прогнозирование абонентского структурного состава и расчет абонентской нагрузки сети с коммутацией каналов**

Прогнозирование интенсивности абонентской нагрузки производят с целью определения интенсивности нагрузки создаваемой всеми абонентами проектируемой ЦСК. Методика расчета может быть различной – для всей емкости ЦСК или для одного абонентского модуля (АМ), а затем для ОПТС, ВКМ и ВАМ. Рассмотрим методику расчета абонентских нагрузок для одного абонентского модуля.

#### ***Определение категорий источников нагрузки.***

Расчет интенсивностей абонентских нагрузок принято начинать с подразделения на категории источников нагрузки, которые отличаются средним числом вызовов, средней длительностью занятия и часом наибольшей нагрузки (ЧНН):

Категории источников нагрузки:

- Абоненты административно-делового сектора (АДС).
- Квартирные абоненты (КВ).
- Универсальные таксофоны (ТАКС).
- Абоненты с доступом к Internet по телефонной линии (dial-up).
- Абоненты, пользующиеся интеллектуальными услугами SSP.

Структурный состав абонентов зависит от местоположения внедряемой ЦСК и определяется долей абонентов квартирного сектора ( $K_{\text{КВ}}$ ). Для жилого массива  $K_{\text{КВ}}$  составляет порядка 0,8...0,9, для центрального района города – 0,6...0,7, для промышленной зоны – 0,3...0,4.

#### ***Прогнозирование интенсивностей абонентских нагрузок***

Абонентская линия характеризуется следующими видами занятий:

- исходящим местным (исх),
- входящим местным (вх);
- междугородним исходящим (ми);
- междугородним входящим (мв);
- Internet;
- SSP.

В зависимости от вида занятия АЛ характеризуется удельными интенсивностями абонентских нагрузок, которые определяются статистически измерениями на сети, зависят от емкости сети, категории АЛ и вида ЧНН:

- местной исходящей  $y_{i \text{ исх}}$ ;
- местной входящей  $y_{i \text{ вх}}$ ;
- междугородной исходящей  $y_{i \text{ ми}}$ ;
- междугородной входящей  $y_{i \text{ мв}}$ ;
- исходящей Internet  $y_{i \text{ Int}}$ ;
- исходящей SSP  $y_{i \text{ SSP}}$ .

Значения удельных интенсивностей нагрузок и средние длительности занятий приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Усредненные удельные интенсивности нагрузок и средние длительности занятий (ВБН 3-2-2)

Параметр, мЭрл	Емкость сети, тыс. номеров	Параметр	Значение, с
	ADC / KB		
$y_{исх}$	43 – 46	$t_{исх}$	85
$y_{вх}$	39 – 42	$t_{вх}$	90
$y_{ми}$	6 – 7	$t_{ми}$	160
$y_{мв}$	5 – 6	$t_{мв}$	180
$y_{так\text{ исх}}$	65	$t_{так\text{ исх}}$	85
$y_{так\text{ вх}}$	58	$t_{так\text{ вх}}$	90
$y_{так\text{ ми}}$	200	$t_{так}$	160
$y_{Int}$	50	$t_{Int}$	540
$y_{SSP}$	0,2 на услугу	$t_{SSP}$	65

**Интенсивности нагрузок, создаваемых абонентами одного АМ** опорной станции, опорно-транзитной станции или ВКМ при местной и междугородной исходящей и входящей связи, связи с *IPOP* и *SSP* определяются следующими соотношениями:

$$Y_{исхАМ} = \sum_{i=1}^3 N_{iАМ} \times y_{исх}, \quad (1.1)$$

$$Y_{вхАМ} = \sum_{i=1}^3 N_{iАМ} \times y_{вх}, \quad (1.2)$$

$$Y_{миАМ} = \sum_{i=1}^3 N_{iАМ} \times y_{ми}, \quad (1.3)$$

$$Y_{мвАМ} = \sum_{i=1}^3 N_{iАМ} \times y_{мв}. \quad (1.4)$$

$$Y_{Int.i} = \sum_i N_{i\text{ Int}} \times y_{Int.i} \quad (1.5)$$

$$Y_{SSP.i} = \sum_i N_{i\text{ SSP}} \times y_{SSP.i} \quad (1.6)$$

Здесь  $N_{i\text{ АМ}}$  – число источников  $i$  категории в рассчитываемом АМ;

$y_{i\text{ исх}}, y_{i\text{ вх}}, y_{i\text{ ми}}, y_{i\text{ мв}}, y_{i\text{ Int}}, y_{i\text{ SSP}}$  – удельные интенсивности нагрузок в зависимости от вида занятия АЛ;

$N_{i\text{ Int}}$  – количество пользователей *Internet* по АЛ (*dial-up*);

$N_{i\text{ SSP}}$  – количество пользователей интеллектуальными услугами (количество предоставляемых услуг принять равным 10).

Общая интенсивность нагрузки на все АЛ одного АМ:

$$Y_{\text{АМ}} = Y_{исхАМ} + Y_{вхАМ} + Y_{миАМ} + Y_{мвАМ} + Y_{Int\text{ АМ}} + Y_{SSP\text{ АМ}}. \quad (1.7)$$

рис. 1.3.

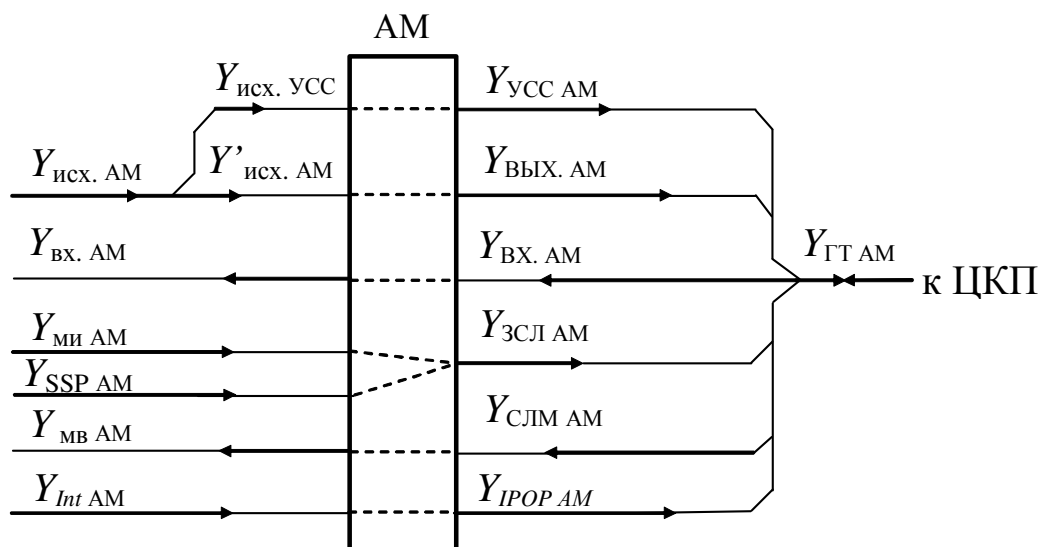


Рисунок 1.3 – Схема распределения нагрузки в АМ

Интенсивность нагрузки к узлу спецслужб:

$$Y_{\text{isx.ycc}} = K_{\text{ycc}} \times Y_{\text{isx.am}}, \quad (1.8)$$

где  $K_{УСС} = 0,03 \dots 0,05$  – доля нагрузки, направляемой к УСС.

Интенсивность оставшейся исходящей нагрузки обозначим:

$$Y'_{\text{исх.АМ}} = (1 - K_{\text{УСС}}) Y_{\text{исх.АМ}}. \quad (1.9)$$

Рассчитанные значения интенсивности нагрузок абонентского модуля (для ЦСК «Квант-Е» и *SI-2000/V.5*) сводят в таблицу (пример табл. 1.3).

Таблица 1.3 –Интенсивность абонентских нагрузок АМ

[illegible]

Нагрузка групповых трактов АМ меньше нагрузки абонентских линий из-за разности времени занятия АЛ и линий ГТ. Это отличие определяется коэффициентом  $q$ , значение которого зависит от вида соединения (исходящее, входящее, междугородное исходящее или входящее, *Internet*, *SSP*).

Значение коэффициента при исходящей связи  $q_{\text{исх}}$  определяется:

$$q_{\text{HCX}} = (t_{\text{HCX}} - \Delta t_{\text{HCX}}) / t_{\text{HCX}}, \quad \Delta t_{\text{HCX}} = t_{\text{CO}} + t_{\text{H}\alpha\text{O}} + t_{\text{VC}}, \quad (1.10)$$

где  $t_{исх}$  – средняя длительность занятия абонентской линии (см. табл. 1.2);  
 $t_{со}$  – среднее время слушания сигнала „Ответ станции”, равно 2 с;  
 $t_{ус}$  – время установления соединения, близко к нулю;  
 $t_{наб}$  – время набора номера, определяется способом передачи номера от телефонного аппарата (ТА).

При  $n$  набираемых абонентом цифр и импульсным способом передачи  $t_{наб} = 1,5 n$  с, при частотном способе –  $t_{наб} = 0,1 n$  с, в среднем

$$t_{наб} = [1,5 (1 - p_{чт}) + 0,4 p_{чт}] \times n, \text{ с} \quad (1.11)$$

где  $p_{чт}$  – доля ТА с частотным способом передачи номера.

Для расчета можно принять, что доля ТА с импульсным и частотным способами набора одинакова, тогда в среднем  $t_{наб} = 0,8$  с.

Количество набираемых цифр для местной исходящей связи, согласно плану нумерации рассматриваемой ГТС, равно  $n = 6$ .

Значение коэффициента при исходящей междугородней связи  $q_{ми}$  определяется аналогично (1.10) с учетом того, что при исходящей междугородней связи необходимо учесть разницу количества набираемых цифр при различных видах установления соединения.

При установлении зонового соединения количество набираемых цифр составляет  $n_{зон} = 9$  (8-2-ав-xxxxx), междугородного  $n_{мг} = 11$  (8-ABC-xxxxxxx), соединения к оператору сотовой сети  $n_{СС} = 11$ , а международного - в среднем  $n_{мн} = 14$ . Усредненные доли вызовов при зоновой, междугородней, к оператору сотовой сети и международной связи соответственно равны  $p_{зон} \approx 0,3$ ;  $p_{мг} \approx 0,25$ ;  $p_{СС} \approx 0,3$ ;  $p_{мн} \approx 0,15$ . Тогда среднее количество набираемых цифр при исходящей междугородней связи равно  $n_{ми} = 9 p_{зон} + 11 p_{мг} + 11 p_{СС} + 14 p_{мн}$ .  $n_{ми} = 10,81$ .

При входящей местной и междугородней связи  $q_{вх} = 1$ ,  $q_{мв} = 1$  поскольку прием номера и установление соединения занимает меньше секунды.

При расчете  $q_{УСС}$  необходимо учесть, что при связи с УСС средняя длительность занятия АЛ составляет  $t_{УСС} = 36$  с, а количество набираемых цифр равно 3 (1-xx) или 4 (1x-xx), тогда в среднем  $n_{УСС} = 4 p_4 + 3 (1 - p_4)$ , где  $p_4$  – доля вызовов к четырехзначным службам. Величина  $p_3 \approx 40 K_{УСС} - 1,1$ .

При расчете  $q_{Int}$  – для связи с пунктом присутствия *Internet* – *IPOP*, количество набираемых цифр к модемному пулу  $n_{Int} = 6$ , набор номера выполняется частотным способом  $t_{наб Int} = 0,1 \times n_{Int}$ , а средняя длительность занятия АЛ в сеансе связи *Internet* – 540 с, время установления соединения принять равным 0.

При расчете  $q_{SSP}$  – для связи с пунктом предоставления интеллектуальных услуг *SSP*, количество набираемых цифр – 8-800-xxxxxxx, 8-900-xxxxxxx  $n_{SSP} = 11$ , набор номера выполняется частотным способом  $t_{наб SSP} = 0,1 \times n_{SSP}$ , а средняя длительность занятия АЛ в сеансе связи – 65 с (только при телеголосовании длительность занятия составляет 7-10 с), время установления соединения принять равным 0.



Величины  $t_{исх}$  и  $t_{ми}$  в зависимости от доли квартирных абонентов  $K_K$  и вида ЧНН задаются в соответствии со статистическими данными (табл. 1.2).

Соответственно интенсивность нагрузки в ГТ АМ равна:

$$Y_{ГТ} = Y_{выхАМ} + Y_{УСС АМ} + Y_{ЗСЛ АМ} + Y_{вх АМ} + Y_{СЛМ АМ} + Y_{IPOP АМ}, \quad (1.12)$$

где

$$Y_{выхАМ} = q_{исх} (1 - K_{УСС}) Y_{исхАМ};$$

$$Y_{УСС АМ} = q_{УСС} \times K_{УСС} \times Y_{исхАМ};$$

$$Y_{СЛМ АМ} = Y_{мв АМ};$$

$$Y_{IPOP АМ} = q_{Int} \times Y_{Int};$$

$$Y_{SSP АМ} = q_{SSP} \times Y_{SSP}$$

$$Y_{ЗСЛ АМ} = q_{ми} \times Y_{миАМ} + Y_{SSP АМ}.$$

Рассчитанные значения коэффициентов  $q$  и интенсивностей внешних абонентских нагрузок абонентского модуля (для ЦСК «Квант-Е» и SI-2000/V.5) сводят в таблицу (см. табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Значения коэффициентов  $q$  и интенсивностей абонентских нагрузок в ГТ АМ

Абонентский модуль «Квант-Е»											
$q_{исх}$	$q_{ми}$	$q_{УСС}$	$q_{Int}$	$q_{SSP}$	$Y_{вых}$ АМ	$Y_{УСС}$ АМ	$Y_{вх}$ АМ	$Y_{ЗСЛ}$ АМ	$Y_{СЛМ}$ АМ	$Y_{IPOP}$ АМ	$Y_{ГТ}$
Абонентский модуль SI-2000/V.5											
$q_{исх}$	$q_{ми}$	$q_{УСС}$	$q_{Int}$	$q_{SSP}$	$Y_{вых}$ АМ	$Y_{УСС}$ АМ	$Y_{вх}$ АМ	$Y_{ЗСЛ}$ АМ	$Y_{СЛМ}$ АМ	$Y_{IPOP}$ АМ	$Y_{ГТ}$

Общая абонентская нагрузка ОПТС (ВКМ) равна:

$$Y_{вых ОПТС} = M \times Y_{вых АМ}, \quad (1.13)$$

$$Y_{вх ОПТС} = M \times Y_{вх АМ},$$

$$Y_{УСС ОПТС} = M \times Y_{УСС АМ},$$

$$Y_{ЗСЛ ОПТС} = M \times Y_{ЗСЛ АМ},$$

$$Y_{СЛМ ОПТС} = M \times Y_{СЛМ АМ},$$

$$Y_{IPOP ОПТС} = M \times Y_{IPOP АМ},$$

где  $M$  – число АМ на ОПТС или ВКМ.

Расчеты общей абонентской нагрузки выполняются для всех ОПТС, ВКМ и ВАМ ГТС. Результаты заносятся в таблицу (см. табл. 1.5).

Таблица 1.5 – Результаты расчетов интенсивности абонентских нагрузок для станций сети

ЦСК-31/32 «Квант-Е»										
	$N$	$N_{AM}$	$M$	$Y_{ВЫХ}$	$Y_{УСС}$	$Y_{ВХ}$	$Y_{ЗСЛ}$	$Y_{СЛМ}$	$Y_{IPOP}$	$Y_{ДТТ}$
ОПТС-31/32										
ВКМ-1										
ВКМ-2										
ВАМ-1										
ВАМ-2										
ВАМ-3										
ЦСК-41/42 SI-2000/V.5										
	$N$	$N_{AM}$	$M$	$Y_{ВЫХ}$	$Y_{УСС}$	$Y_{ВХ}$	$Y_{ЗСЛ}$	$Y_{СЛМ}$	$Y_{IPOP}$	$Y_{ДТТ}$
ОПТС-41/42										
SAN-1										
SAN-2										
ЦСК-51/52 SI-2000/V.5										
	$N$	$N_{AM}$	$M$	$Y_{ВЫХ}$	$Y_{УСС}$	$Y_{ВХ}$	$Y_{ЗСЛ}$	$Y_{СЛМ}$	$Y_{IPOP}$	$Y_{ДТТ}$
ОПТС-51/52										

Интенсивность нагрузок, создаваемых абонентами существующих РАТС сети, производят при местной и междугородной исходящей и входящей связи, расчет производят для полной емкости РАТС.

Структурный состав существующих РАТС предполагается следующий: абоненты квартирного сектора, административно-деловые абоненты, таксофоны и абоненты *Internet*.

При расчетах нагрузки на выходе РАТС  $Y_{ВЫХ}$  определяют коэффициентом  $q$ , значение которого зависит от вида соединения и типа РАТС:

$$q_{исх} = (t_{исх} - \Delta t_{исх}) / t_{исх}, \quad \Delta t_{КД} = t_{со} + t_{наб} + t_{ус} = 2 + 1,5 \times n + 1,5,$$

где  $t_{ус}$  – время установления соединения на координатной АТС,

$t_{наб}$  – время набора одной цифры номера составляет 1,5 с, т.к. прием адресной информации возможен только шлейфным способом;

$n$  – количество набираемых цифр при установлении местного исходящего соединения.

При расчете  $q_{ми}$  следует учесть, что для аналоговых РАТС при установлении соединения в междугородном, международном направлениях в маркере МГИ направление определяется по одной цифре «8», поэтому количество набираемых цифр  $n = 1$ .

Полученные результаты необходимо свести в таблицу для существующих РАТС (РАТС-21, РАТС-22, РАТС-23, РАТС-45, РАТС-47) по примеру табл. 1.5.

### 1.1.3 Распределение межстанционной нагрузки на ГТС. Коэффициенты тяготения

Расчет межстанционных нагрузок предполагает распределение выходной нагрузки от ОПТС и всех РАТС к другим станциям сети. Пример распределения нагрузок показан на рис. 1.4.

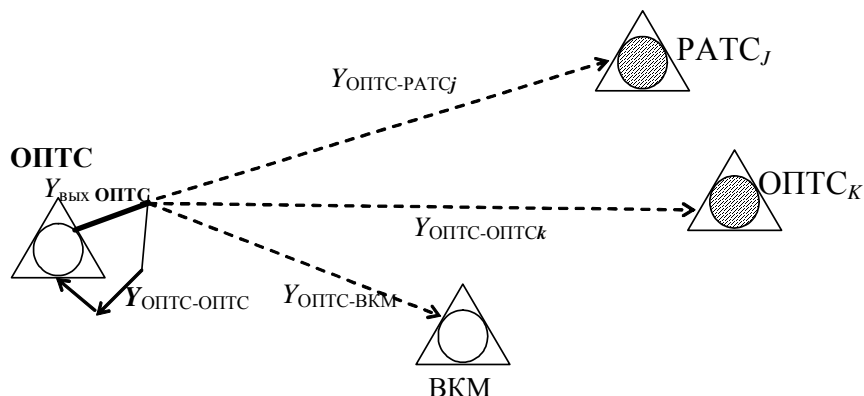


Рисунок 1.4 – Схема распределения нагрузки

Нагрузка от станции  $k$  к станции  $z$  определяется по формуле:

$$Y_{kz} = Y_{\text{исхРАТС}_k} \frac{Y_{\text{вхРАТС}_z} \times n_{kz}}{Y_{\text{вхГТС}(k)}} \quad (1.14)$$

Здесь  $Y_{\text{исхРАТС}_k}$  – интенсивность исходящей от РАТС- $k$  (ОПТС- $k$ , ВКМ- $k$ ) нагрузки;

$Y_{\text{вхРАТС}_z}$  – интенсивность входящей абонентской нагрузки к РАТС- $z$ ;

$Y_{\text{вхГТС}(k)}$  – сумма интенсивностей входящих на все РАТС, ОПТС и ВКМ городской сети нагрузок, нормированная коэффициентами тяготения относительно РАТС- $k$  (ОПТС- $k$ , ВКМ- $k$ ).

$$Y_{\text{вхГТС}} = \sum_m Y_{\text{вхОПТС}_m} \times n_{km} + \sum_r Y_{\text{вхВКМ}_r} \times n_{kr} + \sum_x Y_{\text{вхРАТС}_x} \times n_{kx} \quad (1.15)$$

В формуле (1.15) первое слагаемое – нормированная коэффициентами тяготения  $n_{km}$  относительно станции  $k$  сумма  $Y_{\text{вхОПТС}}$  всех ОПТС на сети, включая рассчитываемую ОПТС- $k$ ; второе слагаемое – аналогичная сумма  $Y_{\text{вхВКМ}}$  всех ВКМ на сети; третье слагаемое – аналогичная сумма  $Y_{\text{вхРАТС}}$  всех существующих РАТС.

Интенсивность исходящих и входящих нагрузок всех РАТС, ОПТС и ВКМ, предварительно рассчитанные, заносятся в табл. 1.6 (пример см. табл. 1.5).

Для расчета межстанционных нагрузок интенсивности исходящих и входящих нагрузок ВАР-1, ВАР-2 и ВАР-3 ОПТС-31/32 «Квант-Е» суммируют, с учетом того, что ВАР не выполняют функции замыкания нагрузки.

При реальном проектировании некоторые объекты сети, которые имеют большое тяготение (находятся в одном здании) можно объединять в

гипотетические АТС, с емкостью, равной сумме емкостей станций, которые входят в состав гипотетической АТС. Для данной сети логично объединение и создание гипотетической АТС для SAN-1 и ПАТС-45, а также SAN-2 и ПАТС-47, находящихся в одном здании.

Тогда  $Y_{\text{вых}SAN-1} = Y_{\text{вых}SAN-1} + Y_{\text{выхПАТС-45}}$ ,  $Y_{\text{вх}SAN-1} = Y_{\text{вх}SAN-1} + Y_{\text{вхПАТС-45}}$ , аналогично  $Y_{\text{вых}SAN-2} = Y_{\text{вых}SAN-2} + Y_{\text{выхПАТС-47}}$ ,  $Y_{\text{вх}SAN-2} = Y_{\text{вх}SAN-2} + Y_{\text{вхПАТС-47}}$ .

Таблица 1.6 – Рассчитанные интенсивности исходящей и входящей нагрузки станций сети

	ОПТС -31/32	ВКМ- 1	ВКМ- 2	ОПТС -41/42	SAN-1	SAN-2	ОПТС -51/52	ПАТС -21	ПАТС -22	ПАТС -23
$Y_{\text{вых}}$										
$Y_{\text{вх}}$										

Нормированные коэффициенты тяготения  $n_{kz}$  от станции  $k$  к станции  $z$  определяются по результатам изысканий на сети. Для внутростанционной связи и для связи между станциями и подстанциями, расположенными на расстоянии друг от друга в пределах 0,5 км, можно принимать  $n_{kz} = 1$ . При больших расстояниях коэффициент  $n_{kz}$  снижается соответственно до 0,9; 0,8 и даже до 0,3. При одинаковом расстоянии в направлении от периферии к центру города коэффициенты  $n_{zk}$  несколько больше, а в обратном направлении – несколько меньше. Все заданные и предварительно рассчитанные по межстанционному расстоянию коэффициенты  $n_{kz}$  заносятся в таблицу межстанционного тяготения (табл. 1.7).

Таблица 1.7 – Зависимость коэффициентов тяготения от расстояния между станциями

$L$ , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{k-z}$	1,00	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,48

$L$ , км	10	11	12	14	16	18	20	22	24	26
$n_{k-z}$	0,45	0,43	0,40	0,38	0,36	0,32	0,30	0,29	0,28	0,25

Выбранные коэффициенты тяготения в зависимости от конфигурации сети заносят в табл. 1.8.

Таблица 1.8 – Коэффициенты межстанционного тяготения

От/к	ОПТС -31/32	ВКМ- 1	ВКМ- 2	ОПТС -41/42	SAN-1	SAN-2	ОПТС -51/52	ПАТС- 21	ПАТС- 22	ПАТС- 23
ОПТС-31/32										
ВКМ-1										
ВКМ-2										
ОПТС-41/42										
SAN-1										
SAN-2										
ОПТС-51/52										
ПАТС-21										
ПАТС-22										
ПАТС-23										

Результаты расчета межстанционной нагрузки  $Y_{kz}$  заносятся в таблицу межстанционной нагрузки (табл. 1.9).

Таблица 1.9 – Интенсивность межстанционной нагрузки

От/к	ОПТС -31/32	ВКМ- 1	ВКМ- 2	ОПТС -41/42	SAN-1	SAN-2	ОПТС -51/52	PATC -21	PATC -22	PATC -23	$\Sigma$
ОПТС-31/32											
ВКМ-1											
ВКМ-2											
ОПТС-41/42											
SAN-1											
SAN-2											
ОПТС-51/52											
PATC-21											
PATC-22											
PATC-23											
$\Sigma$											

По итогам расчета межстанционной нагрузки  $Y_{kz}$  необходимо проверить баланс межстанционных нагрузок и сделать выводы.

#### 1.1.4 Определение количества соединительных линий между ОПТС, ВКМ и существующими РАТС ГТС

Определение емкости пучков СЛ, включенных в ЦКП ОПТС,  $\nu$  – количество СЛ в пучке,  $\nu = f(Y, p)$  зависит от  $Y$  – нагрузки на пучок СЛ, дисциплины обслуживания и нормы потерь.

Для рассматриваемых ОПТС – дисциплина обслуживания с явными потерями, качество работы такой коммутационной системы определяется вероятностью потерь по вызовам, коммутационная система должна работать с таким качеством, что только  $p$  вызовов может быть потеряно.

Норма потерь  $p$  для пучков межстанционных линий на ГТС составляет 0,005, для пучков линий ЗСЛ – 0,005, СЛМ – 0,001, к УСС и *IPOP* – 0,001.

Выбираемый метод расчета числа СЛ зависит от структуры рассматриваемого пучка, т.е. от способа построения коммутационного поля, куда данный пучок включен по исходящей связи. Таким образом, для расчета  $\nu$  необходимо знать:

- структуру коммутационного поля (КП),
- $Y_{\text{СЛ}}$  – нагрузку на пучок СЛ;
- норму потерь для конкретного пучка СЛ.

Рассмотрим фрагмент структурной схемы ГТС, на которой для удобства выбрана ОПТС-41/42 и рассмотрена структура всех пучков СЛ для связи с другими станциями сети, емкость которых необходимо определить (рис. 1.5).

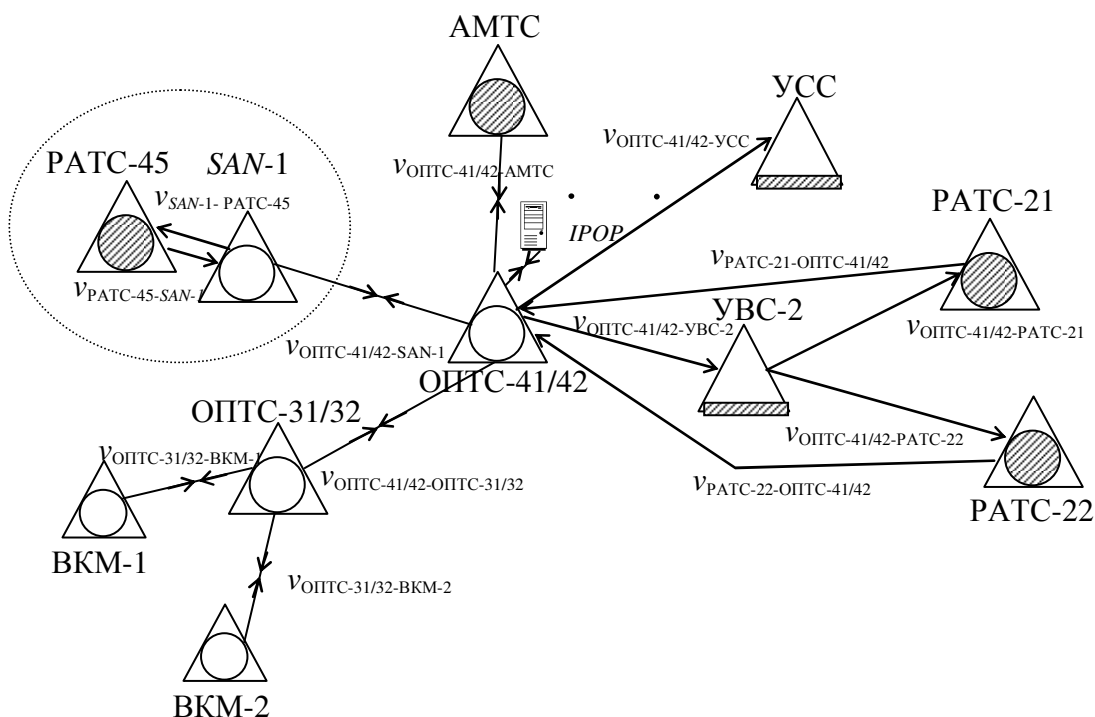


Рисунок 1.5 – Фрагмент структурной схемы организации связи на сети

Рассмотрим пример расчета числа СЛ от ОПТС-41/42 к УСС при условии, что пучок линий одностороннего действия  $v_{\text{ОПТС-41/42-УСС}}$ .

*Исходные данные расчета:*

- 1 КП – однокаскадное, полnodоступное, неблокируемое.
- 2 Характеристика поступления вызовов – поток простейший.
- 3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.
- 4 Норма потерь при проектировании пучка к УСС –  $p = 0,001$ .

$$v_{\text{ОПТС-УСС}} = f(Y_{\text{ОПТС-УСС}}, p = 0,001).$$

Нагрузка на пучок СЛ  $Y_{\text{СЛ ОПТС-41/22-УСС}}$ :

$$Y_{\text{СЛ ОПТС-41/22-УСС}} = Y_{\text{УСС ОПТС-41/42}} + Y_{\text{УСС SAN-1}}. \quad (1.16)$$

Для расчета используют первую формулу Эрланга, которая протабулирована в таблице П.1 или таблице П3 [1].

Рассмотрим односторонний пучок СЛ от ОПТС-41/42 к УВС-2  $v_{\text{ОПТС-41/42-УВС-2}}$ .

*Исходные данные расчета:*

- 1 КП – однокаскадное, полnodоступное, неблокируемое.
- 2 Характеристика поступления вызовов – простейший поток вызовов.
- 3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.
- 4 Норма потерь для СЛ ГТС –  $p = 0,005$ .

$$v_{\text{ОПТС-УВС}} = f(Y_{\text{ОПТС-УВС}}, p = 0,005).$$

Нагрузка, которую пропускает данный пучок  $Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-УВС-2}}$ :

$$Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-УВС-2}} = Y_{\text{ОПТС-41/42-PATC-21}} + Y_{\text{ОПТС-41/42-PATC-22}} + Y_{\text{SAN-1-PATC-21}} + Y_{\text{SAN-1-PATC-22}}. \quad (1.17)$$

Для расчета используют первую формулу Эрланга, которая протабулирована в табл. П.1 или табл. ПЗ [1].

Рассмотрим двухсторонний пучок линий к АМТС  $\nu_{\text{ОПТС-41/42-АМТС}}$

*Исходные данные расчета:*

1 КП – однокаскадное, полнодоступное, неблокируемое.

2 Характеристика поступления вызовов – поток простейший.

3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.

4 Норма потерь для СЛ ГТС –  $p_{\text{ЗСЛ}} = 0,005$ ,  $p_{\text{СЛМ}} = 0,001$ , для пучка двухстороннего действия выбираются наименьшие потери  $p = 0,001$ .

$$\nu_{\text{ОПТС-АМТС}} = f(Y_{\text{ОПТС-АМТС}}, p = 0,001).$$

Нагрузка, которую пропускает данный пучок  $Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-АМТС}}$ :

$$Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-АМТС}} = Y_{\text{ЗСЛ-ОПТС-41/42}} + Y_{\text{СЛМ-ОПТС-41/42}} + Y_{\text{ЗСЛ-SAN-1}} + Y_{\text{СЛМ-SAN-1}}. \quad (1.18)$$

Для расчета используют первую формулу Эрланга, которая протабулирована в табл. П.1 или табл. ПЗ [1].

Рассмотрим двухсторонний пучок линий к SAN-1  $\nu_{\text{ОПТС-41/42-SAN-1}}$

*Исходные данные расчета:*

1 КП – однокаскадное, полнодоступное, неблокируемое.

2 Характеристика поступления вызовов – поток простейший.

3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.

4 Норма потерь  $p = 0,001$ , т.к. пучок двухстороннего действия, пропускает все виды нагрузки (местную и междугороднюю).

$$\nu_{\text{ОПТС-41/42-SAN-1}} = f(Y_{\text{ОПТС-41/42-SAN-1}}, p = 0,001).$$

Нагрузка, которую пропускает данный пучок  $Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-SAN-1}}$ :

$$\begin{aligned} Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-SAN-1}} = & Y_{\text{ОПТС-41/42-SAN-1}} + Y_{\text{SAN-1-ОПТС-41/42}} + Y_{\text{ОПТС-31/32-SAN-1}} + \\ & + Y_{\text{SAN-1-ОПТС-31/32}} + Y_{\text{ВКМ-1-SAN-1}} + Y_{\text{SAN-1-ВКМ-1}} + Y_{\text{ВКМ-2-SAN-1}} + Y_{\text{SAN-1-ВКМ-2}} + \\ & + Y_{\text{SAN-1-PATC-21}} + Y_{\text{PATC-21-SAN-1}} + Y_{\text{SAN-1-PATC-22}} + Y_{\text{PATC-22-SAN-1}} + \\ & + Y_{\text{SAN-1-YCC}} + Y_{\text{ЗСЛ SAN-1}} + Y_{\text{СЛМ SAN-1}} + Y_{\text{IPOP SAN-1}}. \end{aligned} \quad (1.19)$$

Для расчета используют первую формулу Эрланга, которая протабулирована в табл. П.1 или табл. ПЗ [1].

Рассмотрим двухсторонний пучок линий  $\nu_{\text{ОПТС-41/42-ОПТС-31/32}}$

*Исходные данные расчета:*

1 КП – однокаскадное, полнодоступное, неблокируемое.

2 Характеристика поступления вызовов – поток простейший.

3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.

4 Норма потерь –  $p = 0,005$ .

$$\nu_{\text{ОПТС-41/42-ОПТС-31/32}} = f(Y_{\text{ОПТС-41/42-ОПТС-31/32}}, p = 0,005).$$

Нагрузка, которую пропускает данный пучок  $Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-ОПТС-31/32}}$ :

$$\begin{aligned} Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-ОПТС-31/32}} = & Y_{\text{ОПТС-41/42-ОПТС-31/32}} + Y_{\text{ОПТС-31/32-ОПТС-41/42}} + \\ & + Y_{\text{ВКМ-1-ОПТС-41/42}} + Y_{\text{ОПТС-41/42-ВКМ-1}} + Y_{\text{ОПТС-41/42-ВКМ-2}} + Y_{\text{ВКМ-2-ОПТС-41/42}}. \end{aligned} \quad (1.20)$$

Для расчета используют первую формулу Эрланга, которая протабулирована в табл. П.1 или табл. П3 [1].

Рассмотрим двухсторонний пучок линий к *IPOP*  $\nu_{\text{ОПТС-41/42-IPOP}}$

*Исходные данные расчета:*

- 1 КП – однокаскадное, полнодоступное, неблокируемое.
- 2 Характеристика поступления вызовов – поток простейший.
- 3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.
- 4 Норма потерь -  $p = 0,001$ .

$$\nu_{\text{ОПТС-41/42-IPOP}} = f(Y_{\text{ОПТС-41/42-IPOP}}, p = 0,001).$$

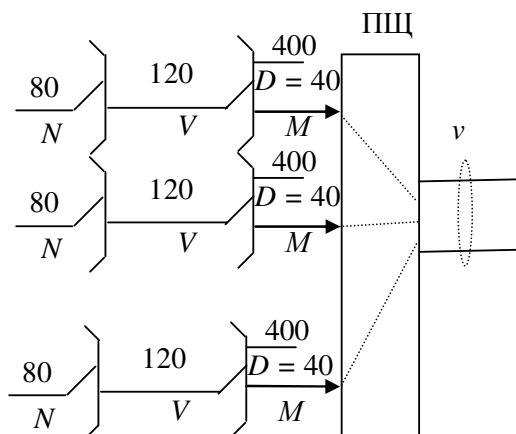
Нагрузка, которую пропускает данный пучок  $Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-IPOP}}$ :

$$Y_{\text{СЛ ОПТС-41/42-IPOP}} = Y_{\text{ОПТС-41/42-IPOP}} + Y_{\text{SAN-1-IPOP}}. \quad (1.21)$$

Определение емкости пучка от РАТС АТСК-У к ОПТС  $\nu_{\text{РАТС-21-ОПТС-41/42}}$

*Исходные данные расчета:*

- 1 КП – двухкаскадное, неполнодоступное, с явлением внутренних блокировок, направление к ОПТС включено в 1ГИ – блока ГИ-3 80×120×400.
- 2 Характеристика поступления вызовов – поток простейший.
- 3 Дисциплина обслуживания – с явными потерями.
- 4 Норма потерь  $p = 0,005$ .



$$\nu_{\text{РАТС-21-ОПТС-41/42}} = f(Y_{\text{СЛ РАТС-21-ОПТС-41/42}}, p = 0,005).$$

Нагрузка, которую пропускает данный пучок:

$$Y_{\text{СЛ РАТС-21-ОПТС-41/42}} = Y_{\text{РАТС-21 ОПТС-41/42}} + Y_{\text{РАТС-21-SAN-1}}. \quad (1.22)$$

*Метод эффективной доступности* основывается на следующем условии. Рассматриваемую двухкаскадную неполнодоступную схему с переменной доступностью и заданной пропускной способностью и потерями, заменяют эквивалентной однокаскадной неполнодоступной схемой с теми же потерями и пропускной способностью, которая будет иметь постоянное значение доступности  $D_{\text{эф}}$  – называемое эффективной доступностью.



Двухкаскадная схема характеризуется переменной доступностью. Значение  $D$  изменяется по мере поступления вызовов:  $D_{\min} \leq D_i \leq D_{\max}$ , где  $D_i$  – значение доступности в случае, когда на обслуживании в коммутационной системе находится  $i$  вызовов,  $D$  – это количество выходов, доступных данному входу.

Вход, включенный в коммутатор каскада  $A$ , имеет доступ к выходам требуемого направления через промежуточные линии, соединяющие этот коммутатор каскада  $A$  с коммутатором каскада  $B$ . При наличии  $i$  установленных соединений через рассматриваемый коммутатор каскада  $A$  для вновь поступившего в этот коммутатор вызова доступны только  $m$  выходов, а остальные заблокированы занятыми промлинами:  $D_i = (m_a - 1)q$ , где  $m_a$  – число выходов из однокаскадного коммутатора каскада  $A$ ,  $q$  – количество выходов из однокаскадного коммутатора каскада  $B$  в данном направлении.

Среднее значение доступности рассматривается как математическое ожидание:

$$\bar{D} = \sum_{i=0}^m D_i P_i = q(m_a - Y_{m_a}), \quad (1.23)$$

$Y_{m_a}$  – это пропускная способность одного коммутатора каскада  $A$ , нагрузка, обслуженная  $m_a$  по одной линии.  $Y_{m_a} = b \times m_a = a \times n_a$ ; где  $b$  – пропускная способность одной промлинии;

$a$  – нагрузка, обслуженная одним входом коммутатора;

$n_a$  – число входов в один коммутатор каскада  $A$ .

После замены двухкаскадной схемы на однокаскадную, и, рассчитав  $D_{\text{эф}}$ , количество подключенных линий рассчитывается методом, используемым для однокаскадного неполнодоступного включения (формула О'Дела), где  $Y$  – это нагрузка, обслуженная пучком СЛ в данном направлении.

$$v = D_{y_0} + \alpha_{y_0} (Y - Y_{D_{y_0}}), \quad \alpha_{\text{эф}} = f(p, D_{\text{эф}}), \quad Y_{D_{\text{эф}}} = f(p, v = D_{\text{эф}}). \quad (1.24)$$

*Методика расчета:*

1.  $D_{\min} = (m_a - n_a + 1)q$ , для АТСК-У, ступени ГИ с параметрами  $80 \times 120 \times 400$  –  $m_a = 20$ ,  $n_a = 13,3$ .

2.  $D_{\text{ср}} = q (m_a - Y_{m_a})$ ,  $q$  – количество выходов в данном направлении, при  $D = 40$ ,  $q = 2$ .

$Y_{m_a}$  – пропускная способность выхода одного коммутатора каскада  $A$ .

Считаем, что данный коммутатор обслуживает выходы без потерь, т.к.  $n_a > m_a$ .

$a$  – нагрузка на один вход  $a = 0,5$  Эрл,  $Y_{m_a} = a \times n_a$ .

3.  $D_{\text{эф}} = D_{\min} + \theta (D_{\text{ср}} - D_{\min})$ .  $\theta$  – эмпирический коэффициент,  $\theta = 0,8$ .

4. Определение числа СЛ производят по формуле О'Делла (1.24),  $\alpha_{\text{эф}} = f(p, D_{\text{эф}})$  приведено в табл. П.2 или П.10 [1].

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{1}{D_{\text{эф}} \sqrt{p}},$$

$Y_{D_{\text{эф}}}$  – пропускная способность однокаскадного полнодоступного пучка емкостью  $D_{\text{эф}}$  выходов при условии, что  $v = D_{\text{эф}}$ .

Аналогично рассчитывается для всех остальных РАТС сети.

### 1.1.5 Расчет числа ГТ и пропускной способности транспортного кольца SDH

Количество ГТ определяется в зависимости от типа и числа СЛ с учетом того, что тракт Е1 имеет скорость 2048 кбит/с, обеспечивая 30 информационных канальных интервалов.

Для СЛ одностороннего действия (например, между ОПТС и РАТС- $J$ ):

$$n_{\text{ГТ}} = \left\lceil \frac{V_{\text{ОПТС-РАТС-}J} + V_{\text{РАТС-}J\text{-ОПТС}}}{30} \right\rceil. \quad (1.25)$$

Для двусторонних СЛ (например, ОПТС-SAN):

$$n_{\text{ГТ}} = \left\lceil \frac{V_{\text{ОПТС-SAN}}}{30} \right\rceil. \quad (1.26)$$

Число ГТ округляют до ближайшего большего.

Результаты расчетов нагрузки на пучки всех СЛ и результаты расчетов числа СЛ и ГТ привести в виде табл. 1.10.

Таблица 1.10 – Число СЛ и трактов Е1, подключаемых к ОПТС 51/52

Направление связи	Нагрузка на пучок СЛ, Эрл	Норма потерь	Метод расчета числа СЛ	Число СЛ в направлении	Число ГТ Е1
ОПТС-51/52-ОПТС-31/32					
ОПТС-51/52-ОПТС-41/42					
ОПТС-51/52-ОПТС-УВС-2					
РАТС-21-ОПТС-51/52					
РАТС-22-ОПТС-51/52					
РАТС-23-ОПТС-51/52					
ОПТС-51/52-АМТС					
ОПТС-51/52-УСС					
ОПТС-51/52-IPOR					

Для упрощенного расчета пропускной способности транспортного кольца SDH по результатам расчетов количества трактов между станциями ГТС и с учетом рассматриваемой инфраструктуры транспортного кольца, составить таблицу и рассчитать необходимое количество трактов в каждом направлении (табл. 1.11).

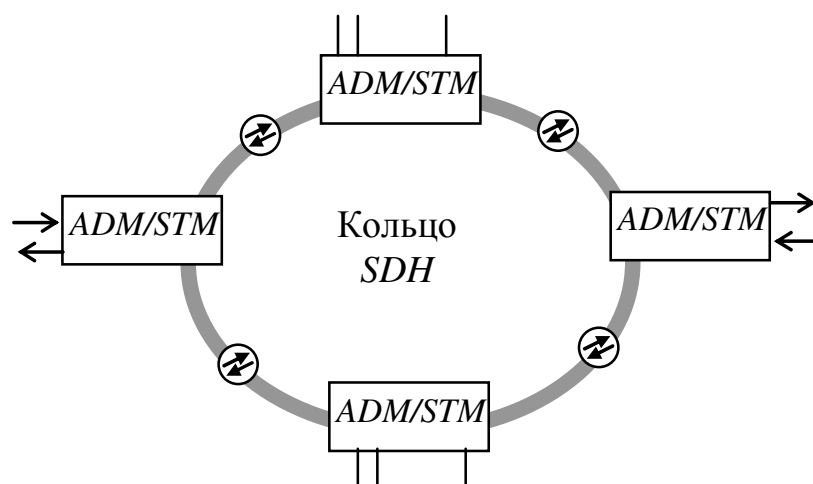


Таблица 1.11 – Расчет количества трактов между станциями сети

	ОПТС-31/32	ОПТС-41/42	ОПТС-51/52	РАТС-21	РАТС-22	РАТС-23	АМТС	$\Sigma$
ОПТС-31/32								$\Sigma$
ОПТС-41/42								$\Sigma$
ОПТС-51/52								$\Sigma$
РАТС-21								$\Sigma$
РАТС-22								$\Sigma$
РАТС-23								$\Sigma$
АМТС								$\Sigma$
	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	
Отклонение от значения $Y_{вх}$ (%)								

С учетом  $\Sigma$  трактов определяем пропускную способность кольца, с учетом того, что модуль *STM-1* рассчитан на 63 тракта Е1 (1 тракт используется для сигнализации).

Рассмотреть способы сигнализации, используемые для межстанционного взаимодействия на ГТС. Составить таблицу способов межстанционной сигнализации для ОПТС-51/52. Таблица должна иметь следующий вид (см. табл. 1.12).

Таблица 1.12 – Способы межстанционной сигнализации для ОПТС-51/52

Направление связи	Тип оборудования встречной станции	Способ сигнализации	Устройства, обеспечивающие сигнальный обмен	Канал, используемый для передачи сигнальной информации

## 2 КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

### 2.1 Телекоммуникационные сети и системы как системы массового обслуживания (СМО). Основные определения теории телетрафика

**Сообщение** – совокупность информации, имеющая признаки начала и конца и предназначенная для передачи через сеть связи. Для того, чтобы передать сообщение абонент создает вызов.

**Вызов** – это требование, поступившее в сеть связи на установление соединения с целью передачи сообщения. Вызов характеризуется только моментом поступления.

Вызовы разделяются на следующие виды:

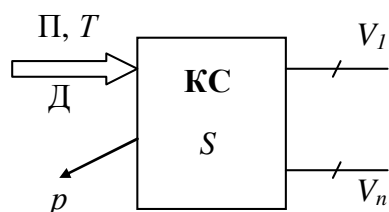
- *обслуженный* – получивший соединение с приемником на заданном участке, которым может быть пучок линий, группа приборов, КС;
- *потерянный* – получивший отказ на данном участке из-за отсутствия свободных соединительных путей;
- *задержанный* – ожидающий начала установления соединения в очереди;
- *первичный* – первый для данного сообщения;
- *повторный* – поступивший после потери предыдущего, но относящийся к тому же сообщению.

**Занятие** – любое использование приборов, линий, устройства с целью установления соединения, независимо от того, закончилось оно передачей сообщения или нет. Характеризуется моментом и длительностью.

**Освобождение** – возвращение прибора, линии или устройства в исходное состояние. Характеризуется только моментом наступления.

**Математическая модель процесса обслуживания**, исследуемая в теории распределения информации (рис. 5.1), рассматривается как система распределения информации, которая характеризуется параметрами:

- *потоком поступающих вызовов ( $\Pi$ )*;
- *структурой системы обслуживания ( $S$ )*;
- *характеристикой качества обслуживания ( $P$ )*;
- *дисциплиной обслуживания ( $D$ )*



$\Pi$  – модель потока вызовов,  
 $D$  – дисциплина обслуживания,  
 $p$  – характеристика качества обслуживания,  
 $S$  – структура коммутационной системы, в которую входит и способ включения пучков линий по  $V$  каналов в каждом,  
 $T$  – время обслуживания.

Рисунок 2.1 – Характеристики системы распределения информации

**Поток вызовов** – это последовательность моментов поступления вызовов по времени. Это может быть поток вызовов, занятий, освобождений. Эти потоки являются случайными и для их задания используют вероятностные законы распределения, по которым определяют модель потока –  $\Pi$ .

**Дисциплина обслуживания** характеризует взаимодействие потока вызовов с системой распределения информации.

**Структура системы распределения информации** – описывает способ построения коммутационной системы.

**Характеристики качества** оценивают работу коммутационной системы по обслуживанию поступающих вызовов. Перечень рассматриваемых характеристик качества для конкретных коммутационных систем зависит от дисциплины обслуживания.

Теория распределения информации решает следующие задачи:

1 **Задача анализа** – это определение характеристик качества обслуживания вызовов ( $P$ ) вызовов при заданных значениях модели потока ( $\Pi$ ), дисциплине обслуживания ( $D$ ), структуре коммутационной системы ( $S$ ) и времени обслуживания ( $T$ ).

$$P = f(\Pi, T, S, D)$$

2 **Задача синтеза** – поиск оптимальной структуры коммутационной системы при заданных критериях оптимальности. К задаче синтеза относится определение емкости пучков линий.

$$V = f(S, T, \Pi, D, P)$$

3 **Задача оптимизации** – заключается в разработке оптимальных алгоритмов поиска соединительных путей. Относится как к отдельной коммутационной системе, так и к сети.

4 **Задача прогнозирования нагрузки** в телекоммуникационных сетях – сводится к грамотному прогнозу свойств и интенсивности потока вызовов, который поступает на систему распределения информации.

#### **Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.1**

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 168 с.

## **2.2 Потоки вызовов как случайный процесс. Характеристики и свойства потоков**

Потоки вызовов бывают детерминированные и случайные.

**Детерминированный поток** – это поток вызовов, в котором последовательность моментов поступления вызовов заранее определена.

Детерминированные потоки задаются тремя способами (рис. 2.1):

- *последовательностью вызывающих моментов*, т.е. моментов поступления одного, двух или более вызовов,  $t_1, t_2 \dots t_n$ ,

- *последовательностью промежутков между вызывающими моментами*  $z_1, z_2, \dots, z_n$ , где  $z_c$  – промежуток между  $i$  и  $(i-1)$  вызовами.
- *последовательностью количества вызовов*  $k_1, k_2, \dots, k_n$ , поступающих в течение заданных отрезков времени  $[t_0, t_1), [t_0, t_2), \dots [t_0, t_n)$ .

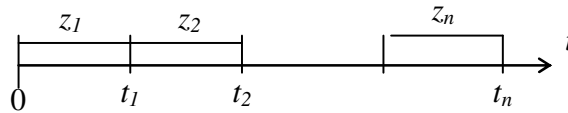


Рисунок 2.1 – Способы задания детерминированного потока

**Случайный поток** – это поток вызовов, в котором последовательность моментов поступления вызовов заранее неизвестна.

Для задания случайных потоков используют законы распределения следующих случайных величин:

1 **Закон распределения  $n$  случайных вызывающих моментов** – вероятность  $P$  поступления вызывающих моментов во времени  $T_i$  меньше некоторой наперед заданной величины  $t_z$ .  $P [T_i < t_i, i = 1, 2, \dots, n], P [T_1 < t_1, T_2 < t_2, \dots T_n < t_n]$ , где  $n$  – любое значение.

2 **Закон распределения  $n$  случайных промежутков времени между независимыми моментами** – вероятность  $P$ , что случайный промежуток времени между вызовами  $z_i$  будет менее наперед заданной величины промежутка  $Z_i$ .  $P \{ Z_i < x_i \} = P [Z_1 < z_1, Z_2 < z_2, \dots Z_n < z_n]$ , где  $i = 1, 2, \dots, n$ .

3 **Закон распределения числа вызовов  $K(t)$  поступающих в промежутке  $[0, t]$** , где  $K(t)$  – неотрицательная и неубывающая функция, характеризующая число вызовов на промежутке  $[0, t]$ ;  $P_i (0, t)$  – вероятность поступления  $i$  вызовов на промежутке  $[0, t]$ .

**Основные свойства случайных потоков.** Потоки классифицируются в зависимости от следующих свойств.

**Стационарность.** Поток называется **стационарным**, если его вероятностные характеристики с течением времени не изменяются.

**Последствие** – это зависимость вероятностных характеристик потока от предыдущих событий. Если зависимости нет, то **поток без последствия**.

При исследовании случайных потоков вызовов различают два вида частичного **последствия** – **ограниченное и простое**.

**Ограниченное последствие** – означает, что промежутки между вызовами  $z_1, z_2, \dots, z_n$  образуют последовательность взаимно независимых случайных величин.

**Простое последствие** – означает, что вероятность поступления вызова за бесконечно малый промежуток определяется состоянием коммутационной системы в момент  $t$ .

**Ординарность** – это практическая невозможность группового поступления вызовов.

## Основные характеристики потоков вызовов

**Ведущая функция** потока вызовов  $\bar{x}(0, t)$  – это математическое ожидание числа вызовов  $k$  поступающих в промежутке  $[0, t)$ .

**Параметр случайного потока**  $\lambda(t)$  в момент  $t$  есть предел отношения вероятности поступления не менее одного вызова в промежутке  $[t, t + \Delta t]$  к величине этого промежутка  $\Delta t$ , при условии, что  $\Delta t \rightarrow 0$ .

**Параметр потока**  $\lambda(t)$  определяет плотность в момент  $t$  вероятности наступления вызывающих моментов.

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P_{i \geq 1}(t, t + \Delta t)}{\Delta t}. \quad (2.1)$$

Параметр *стационарного потока* является постоянным, не зависящим от времени, тогда

$$P_{i \geq 1}(\Delta t) = \lambda \Delta t + o(\Delta t) \quad (2.2)$$

### Интенсивность

– **стационарного потока**  $\mu$  есть математическое ожидание числа вызовов в единицу времени;

– **для нестационарного потока используются понятия средней и мгновенной интенсивности;**

**Средняя интенсивность потока вызовов** на промежутке  $[t_1, t_2)$  –  $\mu(t_1, t_2)$  есть математическое ожидание числа вызовов в этом промежутке в единицу времени:

$$\mu(t_1, t_2) = \frac{\bar{x}(0, t_2) - \bar{x}(0, t_1)}{t_2 - t_1}. \quad (2.3)$$

**Мгновенная интенсивность потока вызовов** в момент времени  $t$  –  $\mu(t)$  есть производная ведущей функции потока по  $t$ :

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\bar{x}(0, t + \Delta t) - \bar{x}(0, t)}{\Delta t} = \bar{x}'(0, t). \quad (2.4)$$

Мгновенная интенсивность характеризует поток вызовов, а параметр – поток вызывающих моментов. Поэтому в общем случае  $\mu(t) \geq \lambda(t)$ .

## Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.2

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

## 2.3 Потоки вызовов без последействия. Простейший поток вызовов. Свойства и характеристики простейшего потока вызовов

Поток, обладающий свойствами стационарности, ординарности и отсутствия последействия *называется простейшим*.

Простейший поток задается семейством вероятностных характеристик  $P_i(t)$ , где  $P_i(t)$  – вероятность поступления  $i$  ( $i = 0, \infty$ ) вызовов за любой промежуток времени  $t$ . Простейший поток часто называют пуассоновским.

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} - \text{формула Пуассона}, \quad (2.5)$$

где  $\lambda$  – параметр простейшего потока;

$t$  – рассматриваемый промежуток времени;

$i$  – количество поступающих вызовов.

### Свойства и характеристики простейшего потока:

1 Промежутки между вызовами  $P(z < t)$  в данном потоке распределяются по показательному (экспоненциальному) закону.

$$P(z < t) = 1 - P(z > t) = 1 - P_0(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (2.6)$$

Показательный закон распределения широко применяется в ТРИ, благодаря следующему свойству (отсутствию последействия). Если известно, что случайный промежуток  $z$ , распределен по показательному закону и длится уже некоторое время  $\tau$ , то закон распределения оставшейся части промежутка также будет показательным, с тем же параметром и не будет зависеть от  $\tau$ .

2 Математическое ожидание  $M_i$  и дисперсия  $D_i$  числа вызовов за промежуток  $t$  для простейшего потока равны между собой  $M_i = D_i$ .

$$M_i = \sum_{i=1}^{\infty} i P_i(t) = \sum_{i=1}^{\infty} i \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} = \lambda t e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{(\lambda t)^i}{i!} = \lambda t, \quad (2.7)$$

$$D_i = \sum_{i=1}^{\infty} i^2 P_i(t) - M^2 i = \sum_{i=1}^{\infty} i^2 \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t} - (\lambda t)^2 = \lambda t. \quad (2.8)$$

### 3 Объединение и разъединение простейших потоков.

Сумма двух независимых простейших потоков есть также простейший поток с суммарным параметром  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n$ . Если простейший поток с параметром  $\lambda$  поступает в  $N$  направлений с постоянной вероятностью  $P_k$ , где  $k = 1, N$ , то в каждом направлении поступает также простейший поток с параметром  $\lambda_k$ . Эти свойства позволяют производить операции суммирования и разъединения нагрузки по направлениям.

### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.3

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.



## 2.4 Потоки вызовов с простым последствием. Примитивный поток вызовов

Ординарный поток, параметр которого  $\lambda_i$  пропорционален числу, свободных источников  $N_i$ , **называется примитивным**.

Примитивный поток учитывает, что вызовы могут поступать только от свободных источников. Параметр примитивного потока:

$$\lambda_i = \alpha N_i = \alpha (N-i), \quad (2.9)$$

где  $\lambda_i$  – параметр потока в  $i$  состоянии,

$\alpha$  – интенсивность источника в свободном состоянии,

$N$  – общее число источников вызовов,

$i$  – число занятых источников.

$N-i$  – число свободных источников.

Модель примитивного потока учитывает эффект конечного числа источников вызовов. Данный поток является не стационарным, т.к. его параметр изменяется во времени и обладает простым последствием, т.е. зависит от предыдущих событий и вероятность поступления новых вызовов максимальна, когда все  $N$  источников свободны и минимальна, когда число занятых источников максимально.

Источник вызовов может быть в двух состояниях – свободном или занятом. Распределение промежутка свободности подчиняется показательному закону с параметром  $\alpha$ .  $P(t_{св} < t) = 1 - e^{-\alpha t}$ . Это равносильно предположению, что новые вызовы от источника поступают случайно, независимо от моментов возникновения и окончания обслуживания предыдущих вызовов.

### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.4

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

## 2.5 Потоки вызовов с ограниченным последствием. Рекуррентный поток вызовов. Поток Пальма. Самоподобный поток

Под **потоком с ограниченным последствием** понимают поток вызовов, у которого последовательность промежутков времени между вызовами  $z_1, z_2, \dots$  представляет последовательность взаимонезависимых величин, имеющих любые функции распределения.

Такой поток описывается последовательностью функций распределения промежутков между вызовами:

$$F_k(z) = P(z_k < z), \quad k = 1, 2, \dots$$

**Рекуррентный поток** вызовов – это поток с ограниченным последствием, который характеризуется одинаково распределенными промежутками времени между вызовами.

Стационарный, ординарный рекуррентный поток с запаздыванием называется **поток Пальма**.

Иногда его называют потоком Эрланга I порядка. Проводя «просеивание» потока Пальма, т.е. отбрасывая каждые 2, 3 и т.д.  $n$  событие, получают потоки Эрланга II, III порядка.

Для потока **Эрланга порядка  $n$**  функция распределения имеет вид:

$$P_n(t) = \frac{\lambda(\lambda t)^{n-1}}{(n-1)!} e^{-\lambda t}. \quad (5.10)$$

**Самоподобный поток** – это рекуррентный поток с долгосрочной зависимостью. То есть число событий в заданном промежутке времени может зависеть от числа событий, поступивших в весьма отдаленные от него промежутки времени.

Параметр, характеризующий степень самоподобия случайного процесса называется параметром Хэрста ( $H$ ), который находится в интервале  $0,5 < H < 1$ . Для процессов не обладающих свойством самоподобности, величина параметра Хэрста равна 0,5. Для самоподобных процессов с долгосрочной зависимостью параметр Хэрста изменяется от 0,7-0,9.

#### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.5

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

2 Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения./ В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб, ВНУ-Санкт-Петербург, 2005 – 288.

3 Шувалов В. П. Телекоммуникационные системы и сети. Том 3. Мультисервисные сети. Уч. пос. М. Горячая линия – Телеком – 2005.

## 2.6 Дисциплины обслуживания вызовов в системах распределения информации

**Дисциплина обслуживания** – определенный способ обслуживания потока поступающих вызовов в коммутационную систему, который характеризует взаимодействие потока вызовов с системой распределения информации. Дисциплина обслуживания в основном описывается следующими характеристиками:

- *способами обслуживания вызовов* (с потерями или без, с ожиданием или повторением, комбинированное обслуживание);

- *законами распределения длительности обслуживания вызовов* (показательный закон, постоянная или произвольная длительность обслуживания);

- *наличием преимуществ* (приоритетов) в обслуживании некоторых категорий вызовов;

- *наличием ограничений* при обслуживании всех или некоторых категорий вызовов (по длительности ожидания, числу ожидающих вызовов, длительности обслуживания).

Поступающие вызовы могут обслуживаться с потерями и без потерь. При обслуживании без потерь сообщению немедленно предоставляется требуемое соединение, при обслуживании с потерями – часть сообщений получает отказ на обслуживание или обслуживание задерживается на некоторое время.

**Дисциплина обслуживания без потерь** предполагает обслуживание вызовов в идеальной коммутационной системе, в которой количество вызовов стремится к числу источников вызовов.

**Дисциплина обслуживания с потерями** – это такой способ обслуживания вызовов, когда поступивший вызов либо получает отказ в обслуживании, либо обслуживание задерживается на неопределенное время.

Различают:

– *явные потери* – это когда вызов при получении отказа полностью теряется и на обслуживание больше не поступает;

– *условные потери* – выражаются в задержке передачи сообщения сверх допустимого срока.

**Дисциплина обслуживания с явными потерями** – предполагает такой способ обслуживания, при котором вызов при получении отказа в немедленном соединении полностью теряется и на обслуживание больше не поступает, по крайней мере, в данную коммутационную систему.

**Дисциплина обслуживания с условными потерями** – предполагает обслуживание вызовов с некоторой задержкой. Обслуживание с условными потерями может быть организовано с ожиданием соединения или с повторением.

**Дисциплина обслуживания с ожиданием** – предполагает, что поступивший вызов, который не может быть обслужен в момент поступления, устанавливается в очередь и обслуживается после освобождения нужного устройства. Выбор вызовов из очереди может быть случайным или упорядоченным. В системе с ожиданием условные потери определяются вероятностью ожидания вызова сверх допустимого времени.

**Дисциплина обслуживания с повторением** – предполагает, что вызов, получивший отказ, повторяется через некоторые промежутки времени, до тех пор, пока не будет обслужен. В этой системе *условные потери* выражаются в задержке начала момента обслуживания, которая зависит от количества повторных попыток.

**Дисциплина обслуживания с приоритетами** – это такая дисциплина обслуживания, при которой поступающие вызовы делятся на категории и вызовы с более высокой категорией при обслуживании имеют какие-либо преимущества – **приоритеты** перед вызовами с более низкой категорией. Приоритеты могут быть **относительными** или **абсолютными**.

В системах с **относительными приоритетами** вызовы, поступающие на обслуживание, всегда обслуживаются до конца, даже если в это время поступает вызов с более высоким приоритетом.

В системах с **абсолютными приоритетами** обслуживание вызова прерывается, если поступает вызов с более высоким приоритетом, а вызов,

обслуживание которого было прервано, возвращается в очередь и поступает на дообслуживание только тогда, когда в очереди не остается ни одной заявки с более высоким приоритетом.

### **Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.6**

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

2 Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения./ В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб, ВНУ-Санкт-Петербург, 2005 – 288 с.

## **2.7 Базовая модель СМО по Кендаллу**

**Базовая модель СМО по Кендаллу** состоит из основных параметров математической модели систем распределения информации и включает в себя следующие основные элементы:

- модель потока вызовов;
- закон распределения времени обслуживания;
- структуру системы распределения информации;
- дисциплину обслуживания потока вызовов.

Для компактной записи математических моделей пользуются обозначениями, предложенными Д. Кендаллом. Математическую модель обозначают последовательностью трех основных символов  $a/b/c$ .

*Первый символ* обозначает функцию распределения промежутков между вызовами:

$M$  – показательное распределение промежутка между вызовами (простейший поток вызовов);

$M_i$  – примитивный поток вызовов;

$D$  – детерминированный поток вызовов;

$G$  – общая форма записи потока вызовов.

*Второй символ* обозначает закон распределения длительности обслуживания:

$M$  – показательный закон длительности обслуживания;

$D$  – детерминированное время обслуживания;

$G$  – общая форма записи закона длительности обслуживания.

*Третий символ* обозначает структуру системы распределения информации:

$S$  – полnodоступная структура системы распределения информации;

$g, D, v$  – непондодоступная структура системы распределения информации.

Кроме указанных трех основных обозначений содержатся дополнительные. Эти дополнительные символы указываются после трех основных через двоеточие и могут обозначать особенности системы.

*Четвертый символ* обозначает дисциплину обслуживания:

$L$  – дисциплина обслуживания с явными потерями;

$LL$  – дисциплина обслуживания без потерь;  
 $W$  – дисциплина обслуживания с ожиданием;  
 $R$  – дисциплина обслуживания с повторением.

*Пятый и шестой* символы – отмечают приоритетность в обслуживании или вид очереди и способ занятия (равновероятностный или реверсивный).

#### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.6

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

2 Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения./ В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб, ВНУ-Санкт-Петербург, 2005 – 288 с.

### 2.8 Аналитические методы расчета в теории телетрафика. Марковские модели для исследования пропускной способности

Для получения эталонных результатов и изучения закономерностей в поведении систем массового обслуживания применяют *аналитические методы*. Их суть состоит в получении моделей в виде математических соотношений, уравнений для интересующих характеристик СМО. Решая эти уравнения, можно получить зависимости нужных характеристик от всех параметров модели. Проблемой является построение таких математических моделей СМО, которые, с одной стороны, достаточно адекватно отражали бы свойства реальных систем, а с другой стороны, позволяли бы найти решения уравнений в замкнутой форме. Практически все известные аналитические результаты удается получить, опираясь на математический аппарат, разработанный российским математиком А. А. Марковым.

#### Марковские модели для исследования пропускной способности.

Процессы массового обслуживания являются дискретными процессами с конечным или счетным множеством состояний и непрерывным временем. Переход из одного состояния в другое происходит скачком в момент, когда наступает какое-то событие, вызывающее такой переход (поступление нового вызова, начало или конец обслуживания, освобождение выхода и т.д.).

Случайный процесс, протекающий в системе, *называется Марковским*, если для любого момента времени  $t$  вероятностные характеристики процесса в будущем зависят только от его состояния в данный момент  $t$  и не зависят от того, когда и как система пришла в это состояние.

Для *марковских* процессов массового обслуживания характерен пуассоновский поток вызовов ( $M$ ) и экспоненциальное распределение времени обслуживания ( $M$ ), отсутствие последствия.

Рассмотрим следующую математическую модель:

– на полнодоступную КС, имеющую  $\nu$  полнодоступных выходов поступает поток вызовов (стационарный, ординарный, без последствия) – простейший;

– время обслуживания и время ожидания подчинены показательным (экспоненциальным) законам распределения; время обслуживания одного вызова случайная величина, имеющая среднее значение  $h = 1$  у.е. в.;

- дисциплина обслуживания – с явными потерями;
- число занятых выходов  $i$  ( $i = 0, v$ )  $S_i$  – назовем состоянием системы в исследуемый момент времени; возможные состояния системы следующие:

$S_0$  – все каналы свободны;

$S_i$  – занято  $i$  каналов,  $1 \leq i \leq v$  – очереди нет,

$S_{v+r}$  – заняты все  $v$  каналов,  $r$  требований в очереди ( $r \geq 0$ ).

➤ параметр потока вызовов  $\Lambda_i$  выражается в вызовах в у.е.в. – интенсивности поступления вызовов в состоянии системы  $S_i$ . При поступлении вызова система скачкообразно переходит из одного состояния в другое.

Допустим, что в момент времени  $t = 0$ , известно состояние системы  $S_i$  или распределение вероятностей  $P_i(t)$  в момент  $t$ . Возникает задача найти распределение вероятностей  $P_i(t)$  за время  $t$ .

При анализе случайных процессов с дискретными состояниями удобно пользоваться геометрической схемой – графом состояний. Вершины графа соответствуют состояниям системы, а дуги графа – возможным переходам из состояния в состояние. Граф состояний рассматриваемой коммутационной системы приведен на рис. 2.2.

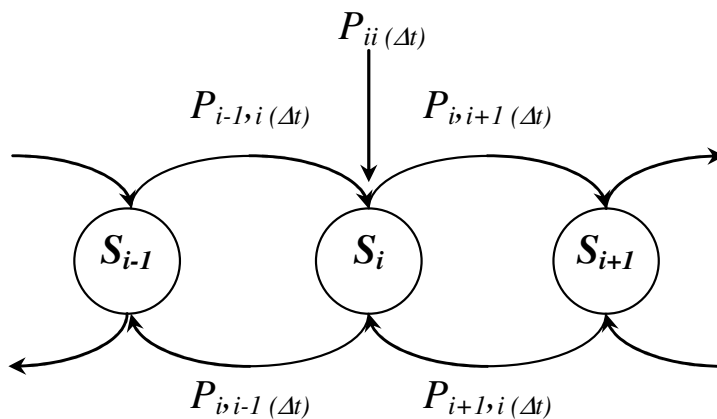


Рисунок 2.2 – Граф состояний системы

В состоянии  $i$  система могла перейти из состояния  $k$  за промежуток времени  $\tau$ . Соответствующую вероятность перехода обозначим как  $p_{ki}(\tau)$ , а вероятность того, что система в момент времени  $t \rightarrow t + \tau$  находится в состоянии  $k$  – через  $p_k(t - \tau)$ .

Марковский процесс описывается относительно вероятностей  $P_1(t)$  системой уравнений, определяющих вероятность состояния СМО **называемых уравнениями Колмогорова-Чепмена.**

$$P_i(t) = \sum_k P_k(t - \tau) p_{ki}(\tau) \quad i = 0, v \quad (2.11)$$

Суммирование производится по всем возможным состояниям системы  $S_k$ . В качестве промежутка  $\tau$  выберем бесконечно малую величину  $\Delta t$ . В этом случае упрощается определение переходных вероятностей  $p_{ki}(\tau)$ . С учетом того,

что поток вызовов ординарный, вероятность перехода из состояния  $k$  в состояние  $k + j$  есть бесконечно малая величина по сравнению с  $\Delta t$ , тогда  $p_{k, k+j}(\Delta t) = 0(\Delta t)$ .

Преобразуем уравнение Колмогорова-Чемпена:

$$P_i(t) = P_{i-1}(t - \Delta t)p_{i-1,i}(\Delta t) + P_i(t - \Delta t)p_{ii}(\Delta t) + P_{i+1}(t - \Delta t)p_{i+1,i}(\Delta t) + 0(\Delta t), \quad (2.12)$$

где  $p_{i-1,i}(\Delta t)$  – это вероятность перехода, т.е. вероятность поступления в промежутке  $\Delta t$  нового вызова;

$p_{i+1,i}(\Delta t)$  – вероятность перехода, т.е. вероятность освобождения в промежутке  $\Delta t$  одного из  $i+1$  занятых выходов;

$p_{ii}(\Delta t)$  – вероятность того, что за промежуток  $\Delta t$  ни один вызов не поступил и не один прибор не освободился.

Вероятности переходов определяются соответствующими параметру потока и величине промежутка  $\Delta t$

$$p_{i-1,i}(\Delta t) = \Lambda_{i-1}\Delta t + 0(\Delta t), \quad (2.13)$$

$$p_{i+1,i}(\Delta t) = (i+1)\Delta t + 0(\Delta t). \quad (2.14)$$

Тогда сумма вероятностей, образующих полную группу событий при условии перехода системы в состояние  $i$  за промежуток  $\Delta t$ , равна 1.

$$p_{ii}(\Delta t) + p_{i, i+1}(\Delta t) + p_{i, i-1}(\Delta t) + 0(\Delta t) = 1, \quad (2.15)$$

$$p_{ii}(\Delta t) = 1 - \Lambda_i\Delta t - i\Delta t + 0(\Delta t), \quad (2.16)$$

$$P_i(t) = \Lambda_{i-1}\Delta t P_{i-1}(t - \Delta t) + (i+1)\Delta t P_{i+1}(t - \Delta t) + (1 - \Lambda_i\Delta t - i\Delta t)P_i(t - \Delta t) + 0(\Delta t) \quad (2.17)$$

$$\frac{P_i(t) - P_i(t - \Delta t)}{\Delta t} = \Lambda_{i-1}P_{i-1}(t - \Delta t) + (i+1)P_{i+1}(t - \Delta t) - (\Lambda_i + 1)P_i(t - \Delta t) + \frac{0(\Delta t)}{\Delta t}. \quad (2.18)$$

При  $\Delta t \rightarrow 0$ , получаем систему дифференциальных уравнений:

$$P'_i(t) = \Lambda_{i-1}P_{i-1}(t) + (i+1)P_{i+1}(t) - (\Lambda_i + 1)P_i(t) \quad i = 0, \nu. \quad (2.19)$$

Вероятности  $p_i(t) = 0$ ,  $p_{i+1}(t) = 0$  – вероятности несуществующих состояний. Эта система уравнений описывает *переходной режим работы* системы обслуживания. Вероятность  $P_i(t)$  – это решение системы зависит от начальных условий, т.е. от распределений  $P_i(0)$ .

Для решения уравнения исследуем установившийся режим, достигаемый при  $t \rightarrow \infty$ , при этом  $P_i(t) \rightarrow P_i$  не зависит от  $t$  и  $P_i(0)$ , т.е.

$$\Lambda_{i+1} P_i = \Lambda_{i-1} P_{i-1} + (i+1) P_{i+1}. \quad (2.20)$$

Предельное распределение вероятностей  $P_i$  характеризует работу СМО в состоянии *статистического равновесия*. В этих условиях СМО подвержена изменениям, однако вероятности, описывающие ее, меняются со временем.

Сумма интенсивностей выхода из состояния системы взвешенных вероятностями соответствующих состояний интенсивностей входа в это состояние.

$$(i+1)P_{i+1} = \Lambda P_i \quad i=0, v-1. \quad (2.21)$$

Задавая значения  $i = 1, 2, \dots$ , последовательно получаем распределение вероятностей  $P_i$ , которое характеризует работу коммутационной системы в момент времени  $t$ .

$$P_i = \frac{\prod_{i=0}^{i-1} \frac{\Lambda_i}{i!}}{\sum_{j=0}^v \prod_{j=0}^{j-1} \frac{\Lambda_j}{j!}} \quad i=0, v. \quad (2.22)$$

Таким образом, в результате решения поставленной задачи получаем распределение вероятностей  $P_i(t)$  за время  $t$  - первое распределение Эрланга.

#### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.8

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

### 2.9 Полнодоступная система массового обслуживания с явными потерями при обслуживании простейшего потока вызовов $M/M/m;v$ . Первая формула Эрланга

Рассмотрим следующую математическую модель:

- на полнодоступную однокаскадную коммутационную систему, имеющую  $v$  полнодоступных выходов, поступает простейший поток вызовов;
- время обслуживания одного вызова – случайная показательно распределенная величина со средним временем  $h = 1$  у.е.в.
- параметр потока вызовов  $\Lambda_i$  выражается в вызовах в у.е.в. – интенсивности поступления вызовов в состоянии системы  $S_i$
- дисциплина обслуживания – с явными потерями, т.е. при занятости всех  $v$  выходов поступающий вызов теряется.



Необходимо найти распределение вероятностей состояния системы  $P_i(t)$  в момент времени  $t$ , т.е. вероятность занятости в произвольный момент времени  $i$  выходов полнодоступной системы при обслуживании с явными потерями простейшего потока вызовов.

Для рассматриваемой СМО распределение вероятностей состояния системы  $P_i(t)$  в любой момент времени  $t$  характеризуется **первым распределением Эрланга**

$$P_i = \frac{\Lambda^i / i!}{\sum_{j=0}^v \Lambda^j / j!}, \quad (2.23)$$

где  $P_i$  – вероятность того, что в любой момент времени  $t$  в коммутационной системе будет занято  $i$  любых выходов,  $i = 0, v$ ,  $v$  – количество выходов коммутационной системы.

**Характеристики качества обслуживания полнодоступной СМО с явными потерями при обслуживании простейшего потока вызовов:**

1 Вероятность потерь по времени:

$$P_t = \frac{\Lambda^v / v!}{\sum_{j=0}^v \Lambda^j / j!} = E_v(\Lambda) - \text{первая формула Эрланга} \quad (2.24)$$

2 Вероятность потери вызова для простейшего потока:

$$P_B = \frac{\Lambda_{nom}}{\Lambda} = \frac{\Lambda P}{\Lambda} = P_v = E_v(\Lambda). \quad (2.25)$$

3 Интенсивность обслуженной нагрузки:

$$Y = \Lambda [1 - E_v(\Lambda)]. \quad (2.26)$$

4 Вероятность потерь по нагрузке при условии, что  $A = \Lambda$ :

$$P_v = \frac{A - Y}{\Lambda} = \frac{\Lambda - \Lambda [1 - E_v(\Lambda)]}{\Lambda} = E_v(\Lambda). \quad (2.27)$$

Для полнодоступной коммутационной системы с явными потерями при обслуживании простейшего потока справедливо равенство всех вероятностей потерь по нагрузке, по вызовам и по времени  $P_t = P_e = P_v = E_v(\Lambda)$ .

**Первая формула Эрланга** применяется для расчета числа выходов в однокаскадных полнодоступных коммутационных блоках, а также емкости пучков линий, включенных в неблокируемое коммутационное поле. Она используется для расчета пучков соединительных линий от ЦСК, квазиэлектронных станций

Первая формула Эрланга  $v = f(Y, p)$  протабулирована в таблицах П.3 [1] и Приложении 1.

#### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.9

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

## 2.10 Полнодоступная система массового обслуживания с явными потерями при обслуживании примитивного потока вызовов $M/M/m;v$ . Формула Энгсета

Рассмотрим следующую математическую модель:

- на полнодоступную коммутационную систему, имеющую  $v$  полнодоступных выходов, поступает примитивный поток вызовов;
- время обслуживания одного вызова – случайная показательно распределенная величина со средним временем  $h = 1$  у.е.в;
- параметр потока вызовов  $\Lambda_i = \alpha (N - i)$  выражается в вызовах в у.е.в. – интенсивности поступления вызовов в состоянии системы  $S_i$ ;
- дисциплина обслуживания – с явными потерями, т.е. при занятости всех  $v$  выходов поступающий вызов теряется;

Необходимо найти распределение вероятностей состояния системы  $P_i(t)$  в момент времени  $t$ , т.е. вероятность занятости в произвольный момент времени  $i$  выходов полнодоступной системы при обслуживании полнодоступной системой с явными потерями примитивного потока вызовов.

Для рассматриваемой СМО распределение вероятностей состояния системы  $P_i(t)$  в любой момент времени  $t$  характеризуется **распределением Энгсета**.

$$P_i = \frac{C^i N \alpha^i}{\sum_{j=0}^v C^j N \alpha^j}. \quad (2.28)$$

### Характеристики качества обслуживания полнодоступной СМО с явными потерями при обслуживании примитивного потока вызовов:

1 Вероятность потерь по времени:

$$P_t = P_v = \frac{C^v N \alpha^v}{\sum_{j=0}^v C^j N \alpha^j} = \varepsilon(N, v, \alpha) - \text{формула Энгсета} \quad (2.29)$$

2 Вероятность потери вызова для примитивного потока:

$$P_{\varepsilon} = \frac{\Lambda_{nom}}{\Lambda} = \frac{\Lambda_v P_v}{\sum_{j=0}^v \Lambda_j P_j} = \frac{(N - v) C^v N \alpha^v}{\sum_{j=0}^v (N - j) C^j N \alpha^j} = \varepsilon(N - i, v, \alpha) \quad (2.30)$$

3 Интенсивность обслуженной нагрузки или пропускная способность:

$$Y = \sum_{i=1}^v i P_i = \sum_{i=1}^v \Lambda_{i-1} P_{i-1} = \sum_{i=0}^{v-1} \Lambda_i P_i = \frac{\alpha N \sum_{i=0}^{v-1} C^i N \alpha^i}{\sum_{j=0}^v C^j N \alpha^j} = \frac{\alpha N (1 - P_{\varepsilon})}{1 + \alpha (1 - P_{\varepsilon})} \quad (2.31)$$

**Формула Энгсета** применяется для расчета необходимого количества каналов на участке радиотракта в системах радиодоступа и сетях мобильной связи. Формула Энгсета  $\nu = f(Y, p)$  протабулирована в таблицах П.5 [1].

#### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.10

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

### 2.11 Полнодоступная система массового обслуживания с ожиданием при обслуживании простейшего потока вызовов $M/M/m:\nu/N$ . Вторая формула Эрланга

Рассмотрим следующую математическую модель:

- на полнодоступную коммутационную систему, имеющую  $\nu$  полнодоступных выходов, поступает простейший поток вызовов;
- время обслуживания одного вызова – случайная показательно распределенная величина со средним временем  $h = 1$  у.е.в.
- параметр потока вызовов  $\Lambda_i$  выражается в вызовах в у.е.в. – интенсивности поступления вызовов в состоянии системы  $S_i$
- дисциплина обслуживания – с ожиданием, т.е. при занятости всех  $\nu$  выходов поступающий вызов становится в очередь и обслуживается после некоторого ожидания;
- число обслуживаемых вызовов в системе и очереди –  $i$  ( $i = 0, \infty$ ), при  $i$  ( $i = 0, \nu$ ) – величина  $i$  характеризует число занятых выходов в системе, при  $i = \nu$ ,  $\infty$  число занятых выходов равно  $\nu$ , а  $i - \nu$  – это длина очереди.

Необходимо найти распределение вероятностей состояния системы  $P_i(t)$  в установившемся режиме в состоянии  $i$  полнодоступной системы при обслуживании с ожиданием простейшего потока вызовов.

Для рассматриваемой СМО распределение вероятностей состояния системы  $P_i(t)$  в любой момент времени  $t$ , если  $i$  – это количество вызовов, которое находится на обслуживании в коммутационной системе, длина очереди  $S$ , в коммутационной системе  $S = i = \nu$ . описывается **вторым распределением Эрланга**:

- для СМО с количеством мест в очереди  $S$  равным  $i = 0, \nu$

$$P_i = \frac{\Lambda^i / i!}{\sum_{j=0}^{\nu-1} \Lambda^j / j! + \frac{\Lambda^\nu}{[(\nu-1)!(\nu-\Lambda)]}}, i = 0, \nu, \quad (2.32)$$

где  $P_i$  – вероятность того, что на обслуживание в коммутационной системе с ожиданием находится  $i$  вызовов, при условии, что количество мест в очереди стремится к  $\nu$ .

- для СМО с количеством мест в очереди  $S$  равным  $i = 0, \infty$

$$P_i = \frac{\Lambda^v / v! (\Lambda/v)^{i-v}}{\sum_{j=0}^{v-1} \Lambda^j / j! + \frac{\Lambda^v}{[(v-\Lambda)(v-1)!]}}, i = v, \infty, \quad (2.33)$$

где  $P_i$  – вероятность того, что на обслуживание в коммутационной системе с ожиданием находится  $i$  вызовов, при условии, что количество мест в очереди стремится к  $\infty$ .

### **Характеристики качества обслуживания для полнодоступной системы с ожиданием при обслуживании простейшего потока вызовов:**

1 Вероятность ожидания для поступившего вызова показывает долю задержанных вызовов и совпадает с вероятностью занятия всех выходов коммутационной системы, т.е. с вероятностью потерь по времени.

#### **Вторая формула Эрланга:**

$$P(j > 0) = P_t = \sum_{k=v}^{\infty} P_k = \frac{\frac{\Lambda^v}{(v-\Lambda)(v-1)!}}{\sum_{j=0}^{v-1} \Lambda^j / j! + \frac{\Lambda^v}{[(v-\Lambda)(v-1)!]}} = D_v(\Lambda). \quad (2.34)$$

Между первой и второй формулами Эрланга существуют расчетные соотношения:

$$D_v(\Lambda) = \frac{vE_v(\Lambda)}{v - \Lambda[1 - E_v(\Lambda)]}, D_v(\Lambda) > E_v(\Lambda). \quad (2.35)$$

#### **2 Интенсивность обслуженной нагрузки:**

$$Y = \sum_{i=1}^v iP_i + \sum_{i=v+1}^{\infty} vP_i. \quad (2.36)$$

Так как явных потерь нет, интенсивность обслуженной нагрузки совпадает с интенсивностью поступающей нагрузки.

#### **3 Вероятность превышения длиной очереди заданной величины:**

$$P(S > n) = \sum_{i=v+n+1}^{\infty} P_i = (\Lambda/v)^{n+1} D_v(\Lambda). \quad (2.37)$$

#### **4 Средняя длина очереди:**

$$S = \sum_{i=v}^{\infty} (i-v)P_i = \frac{\Lambda D_v(\Lambda)}{(v-\Lambda)}. \quad (2.38)$$

**Вторая формула Эрланга** применяется для расчета числа выходов в однокаскадных неблокируемых коммутационных блоках, работающих в режиме с ожиданием при обслуживании простейшего потока вызовов, например, числа управляющих устройств.  $v = (Y, P(\gamma > 0))$ .

### **Литература, которая использовалась для подготовки раздела 5.11**

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

## 2.12 Полнодоступная система массового обслуживания с приоритетным обслуживанием $M/M/m:v/N$

Рассмотрим следующую математическую модель (рис. 2.5):

- на полнодоступную коммутационную систему поступает  $N$  потоков вызовов разных приоритетов (классов обслуживания) со средними интенсивностями  $\Lambda^k$ , где  $k = A, B, C, D$  классы обслуживания потоков вызовов, которые буферизируются в очереди  $O^k$ ,  $k = A, B, C, D$ ;

- управляющее устройство анализирует наличие вызовов в очередях и выбирает из них вызовы в соответствии с установленными для данных очередей приоритетами (наивысший приоритет у вызовов находящихся в очереди  $O_A$ );

- средняя длительность обслуживания каждого вызова соответственно  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_N$ ;

- задержка при обслуживании вызовов представляет собой случайную величину  $\tau_3$ , которая определяется двумя факторами: задержками при блокировке коммутатора –  $\tau_{3б}$  и дисперсией  $D(\tau_{3б}) = \tau_{3б}^2$  и задержками анализа и непосредственно передачи вызова, которая является постоянной величиной равной  $\tau_{3п} = D(\tau_{3п}) = 0$ . Тогда  $\tau_3 = \tau_{3б} + \tau_{3п}$ ;  $D(\tau_3) = D(\tau_{3б}) = D(\tau_{3п})$ ;

- величина интенсивности нагрузки, создаваемой вызовами каждого уровня приоритета определяется как  $\rho_i = \frac{\Lambda_i}{\mu_i}$ , где  $\Lambda_i$  – интенсивность потока

вызовов с  $k$ -м уровнем приоритета,  $\mu_i$  – интенсивность обслуживания вызовов с  $k$ -м уровнем приоритета, определяемая как  $\mu_i = \frac{1}{\tau_3}$ , где  $\tau_3$  – среднее время

обслуживания вызовов с  $i$ -м уровнем приоритета. Отсюда  $\rho^k = \Lambda_i \tau_3$  для вызовов с различными уровнями приоритета.

- обслуживание может происходить как на основе относительности, так и абсолютности приоритетов.

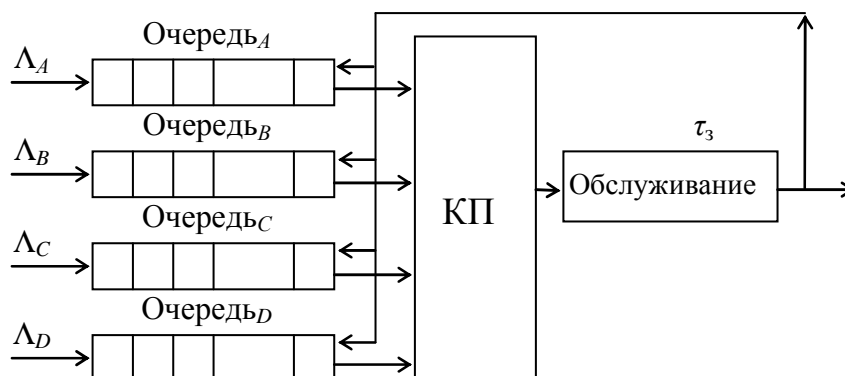


Рисунок 2.5 – СМО с приоритетами

## Характеристики качества обслуживания для полнодоступной системы с приоритетным обслуживанием:

1 Среднее время ожидания в очереди вызова с приоритетом класса  $k$  для систем с относительными и абсолютными приоритетами.

$$t_k = \frac{\sum_{i=k}^N \lambda_i \tau_i^{(2)}}{2(1-R_{k-1})(1-R_k)}, \quad (2.39)$$

где  $\lambda$  – интенсивность потока вызовов в системе  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N$ ;

$R_{k-1}$  – суммарная интенсивность нагрузки, создаваемая всеми вызовами, имеющими  $k$  – приоритет  $R_{k-1} = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_{k-1}$ ;

$R_k$  – суммарная интенсивность нагрузки, создаваемая всеми вызовами, имеющими приоритет  $k$  и выше  $R_k = \rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_k$ ;

$\tau_i^{(2)}$  – вторые моменты времени задержки вызовов при их обслуживании.

Учитывая, что характер задержек для всех уровней приоритетов одинаков:  $\tau_i^{(2)} = \tau_3^{(2)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ . Тогда:

$$\tau_3^{(2)} = \tau_3^{(2)} + D(\tau_3) = \tau_3^{(2)} (1 + \varepsilon_3^2), \quad \varepsilon_3^2 = \frac{D(\tau_3)}{\tau_3}, \quad (2.40)$$

где  $\varepsilon_3$  – коэффициент вариации времени задержки, который характеризует степень отличия закона распределения времени задержки от экспоненциального.

$$\tau_3 = \tau_{3б} + \tau_{3п}; \quad D(\tau_3) = D(\tau_{3б}) = \tau_{3б}^2, \quad \varepsilon_3^2 = \frac{\tau_{3б}}{(\tau_{3п} + \tau_{3б})}. \quad (2.41)$$

2 Среднее время ожидания в очереди для вызовов с различными уровнями приоритета.

Для СМО с относительными приоритетами:

– для вызовов с высшим  $A$  приоритетом:

$$t_w^A = \frac{\sum_{k=1}^A \rho^k \tau_{\zeta} (1 + \varepsilon_{\zeta}^2)}{2(1 - \rho^A)}; \quad (2.42)$$

– для вызовов с приоритетами  $2, 3, \dots, k$ :

$$t_w = \frac{\sum_{k=1}^k \rho^k \tau_{\zeta} (1 + \varepsilon_{\zeta}^2)}{2(1 - \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j)(1 - \sum_{j=1}^i \rho_j)}, i = 2, 3, \dots, k, \quad (2.43)$$

Для системы с абсолютными приоритетами:

– для вызовов с высшим  $A$  приоритетом:

$$t_w^A = \frac{\rho^A \tau_c (1 + \varepsilon_c^2)}{2(1 - \rho^A)}; \quad (2.44)$$

– для вызовов с приоритетами 2, 3, ..., k:

$$t_w = \frac{\tau_c \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j}{1 - \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j} + \frac{\sum_{j=1}^{i-1} \rho_j \tau_c (1 + \varepsilon_c^2)}{2(1 - \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j)(1 - \sum_{j=1}^{i-1} \rho_j)}, i = 2, 3, \dots, k. \quad (2.45)$$

3 Среднее время ожидания для вызовов всех приоритетов (для систем с относительными и абсолютными приоритетами).

$$t_w = \frac{1}{R} \sum_{k=A, B, C, D} \rho^k t_w^k = \frac{\tau_c (1 - \varepsilon_c^2) R}{2(1 - R)}, \quad (2.46)$$

где  $R = R^{(k)}$  – суммарная интенсивность нагрузки создаваемая вызовами всех классов обслуживания.

5 Вероятность превышения вызовом предельно допустимого времени ожидания для систем с относительными и абсолютными приоритетами:

$$P(t_w^{(k)} > t_{wn}^{(k)}) = R \exp\left(-\frac{R t_{wn}^{(k)}}{t_w^{(k)}}\right), \quad (2.47)$$

где  $t_n^k$  – предельно допустимое значение времени ожидания в очереди;

$t_w^k$  – среднее время ожидания в очереди;

$R$  – суммарная интенсивность нагрузки.

6 Средняя длина очереди для вызовов каждой категории для систем с относительными и абсолютными приоритетами

$$l_w^{(k)} = \lambda_{ij}^{(k)} t_j^{(k)} = \rho_{ij}^{(k)} \left(-\frac{t_w^{(k)}}{\tau_n}\right). \quad (2.48)$$

**Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.12**

Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения./ В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб, BHV-Санкт-Петербург, 2005 – 288 с.

## 2.13 Нагрузка коммутационной системы и ее виды. Суточные колебания нагрузки, ЧНН

**Нагрузка**, обслуживаемая коммутационной системой в момент времени  $t$ , есть число  $i(t)$  одновременно обслуживаемых вызовов (занятых линий, приборов) системы в момент  $t$ .

Поскольку нагрузка величина случайная, при теоретических исследованиях и расчетах используют ее математическое ожидание и дисперсию.

Математическое ожидание  $Y(t)$  величины  $i(t)$  числа вызовов, прибывающих на обслуживание в момент времени  $t$ , т.е. число одновременно обслуживаемых вызовов – занятых устройств, **называют интенсивностью обслуживаемой нагрузки** в момент  $t$ .

$$Y(t) = M_i(t) = \sum_{i=1}^v i P_i(t), \quad (2.49)$$

где  $P_i(t)$  – это вероятность занятия  $i$  ( $i = 0, v$ ) линий из  $v$  возможных в момент времени  $t$ .

При измерениях интенсивность нагрузки определяют как среднее число линий, занятых в пучке за рассматриваемый промежуток времени  $Y(t_1, t_2) = M_i(t_1, t_2)$ .

Интенсивность нагрузки измеряется в Эрлангах. **Один Эрланг** – это нагрузка, создаваемая одним занятым обслуживанием устройством в единицу времени. То есть нагрузка  $x$  Эрл группы из  $v$  устройств означает, что в рассматриваемом промежутке времени одновременно занято  $x$  устройств.

Рассмотрим пример. Нагрузка коммутационной системы с количеством выходов, равным  $v = 10$ , в промежутке времени  $(t_1, t_2)$ .

На рис. 2.3 показана функция обслуженной нагрузки  $i(t)$ , средняя интенсивность обслуженной за промежуток  $(t_1, t_2)$  нагрузки  $Y(t_1, t_2)$ .

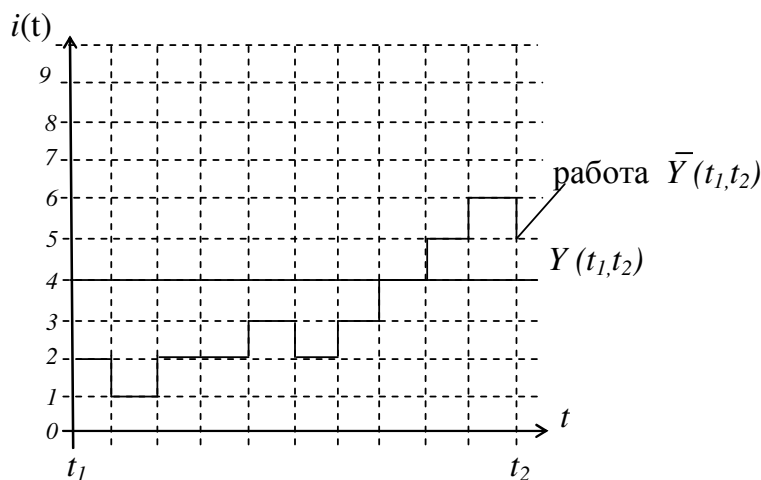


Рисунок 2.3 – Функция обслуженной нагрузки

Интеграл функции нагрузки за промежуток времени  $(t_1, t_2)$  есть **работа** выполняемая коммутационной системой по обслуживанию вызовов за данный промежуток времени.

Исходя из рисунка работа – это площадь фигуры, ограниченной осями координат и функцией нагрузки  $i(t)$ .

$$\widehat{Y}(t_1, t_2) = \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt = \sum_{i=1}^v \tau_j(t_1, t_2), \quad (2.50)$$

где  $\sum_{i=1}^v \tau_j(t_1, t_2)$  – суммарное время занятия всех приборов в рассматриваемом промежутке времени,



$\tau_j$  – суммарное время занятия  $j$  линии в промежутке  $(t_1, t_2)$ .

Работу можно определить как произведение средней интенсивности нагрузки  $Y(t_1, t_2)$  в промежутке  $(t_1, t_2)$  на величину этого промежутка, откуда

$$Y(t_1, t_2) = Y(t_1, t_2) / (t_2 - t_1). \quad (2.51)$$

Работа коммутационной системы измеряется в Эрл/час или часозанятиях.

**Одно часозанятие (Эрл/час)** – это работа, выполняемая линией или прибором, непрерывно занятой в течении часа.

Наряду с понятием *обслуженной* нагрузкой различают:

*Потенциальную* – это нагрузка, обслуженная идеальной системой без потерь или задержек вызовов –  $A$ .

*Потерянную* – это нагрузка, которая является разницей потенциальной и обслуженной –  $A_n = A - Y$ .

*Поступающую* – определяется числом поступающих вызовов за одну условную единицу времени –  $\Lambda$ . То есть это нагрузка, которая создавалась бы, если бы каждый вызов, включительно с потерянными, занимал бы систему обслуживания на определенную среднюю длительность обслуживания вызовов.

*Избыточную* – это разность между поступающей и обслуженной нагрузками –  $R = \Lambda - Y$ .

**Пропускная способность коммутационной системы** – это максимальная интенсивность обслуженной этой системой нагрузки в рассматриваемом промежутке времени при заданном качестве обслуживании вызовов. Пропускная способность зависит от:

- свойств поступающего потока вызовов;
- закона распределения времени обслуживания;
- структуры и емкости коммутационной системы;
- способа включения выходов коммутационной системы;
- дисциплины обслуживания вызовов;
- установленных норм качества обслуживания.

**Суточные колебания нагрузки.** В реальных коммутационных системах, интенсивность нагрузки коммутационной системы измеряется по 15-минутным или часовым интервалам и обладает явно выраженной нестационарностью. Она изменяется по месяцам, дням недели или часам суток.

Особенно значительным является изменение интенсивности в пределах суток. Обусловлено это в основном нестационарностью поступающего потока вызовов. Это подтверждается графиком суточного распределения интенсивностей нагрузок на двух станциях ГТС, который приведен на рис. 2.4.

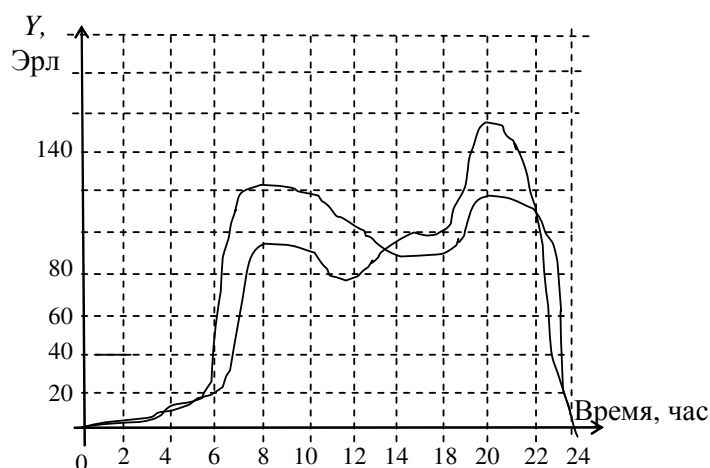


Рисунок 2.4 – Зависимость интенсивности обслуженной нагрузки от времени

На ход кривой суточного распределения влияет множество факторов, в частности структурный состав абонентов (доля абонентов квартирного сектора, административного сектора), ритм городской жизни, развитость инфраструктуры и т.д.

В среднем для ГТС Украины характерны следующие доли квартирных абонентов в общей емкости станции: для жилого массива –  $\eta_k = 0,9 \dots 0,95$ , т.е. характерен вечерний максимум интенсивности нагрузки, для центральной части города  $\eta_k = 0,6 \dots 0,7$  – утренний или дневной, для промышленной зоны  $\eta_k = 0,3 \dots 0,4$  – утренний.

Для описания нестационарности нагрузки вводят следующие характеристики, которые определяют непрерывные промежутки длиной в час и три часа, когда интенсивность нагрузки максимальна.

*Час наибольшей нагрузки (ЧНН)* – это непрерывный промежуток времени, длиной в один час, когда интенсивность нагрузки максимальна. Предполагается, что в течении часа нагрузка носит стационарный характер.

*Период наибольшей нагрузки (ПНН)* – это непрерывный промежуток времени длиной в 3 часа, когда отмечается наибольшая интенсивность нагрузки.

*Час наибольших вызовов (ЧНВ)* – это час наибольшей интенсивности потока вызовов.

Для большинства ГТС характеризуют максимальные периоды наибольшей интенсивности – утренний, дневной, вечерний и ночной максимум.

### Литература, которая использовалась для подготовки раздела 2.13

1 Корнышев Ю.Н. Теория распределения информации: Уч. пос./ Ю.Корнышев, Г.Фань – М. Радио и связь, 1985. – 268 с.

## ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

### Тематика лабораторных занятий

№ п/п	Темы лабораторных работ
1	Существующие структуры, принципы построения и перспективы развития ГТС Украины
2	Разработка структурных схем городской телефонной сети с шестизначной нумерацией (местной связи и связи с АМТС и УСС)
3	Изучение методики расчета интенсивностей нагрузок для аналого-цифровой ГТС с коммутацией каналов
4	Расчет интенсивностей абонентских и внешних нагрузок для аналого-цифровой ГТС с коммутацией каналов
5	Организация узлов IPOP при существующих ЦСК и порядок установления соединений с Internet ( <i>dial-up</i> ). Организация узлов предоставления интеллектуальных услуг SSP. Расчет интенсивностей абонентских нагрузок к узлам IPOP та SSP
6	Расчет интенсивностей межстанционных нагрузок на ГТС
7	Определение количества соединительных линий между станциями ГТС
8	Определение необходимой пропускной способности транспортного кольца SDH

## ПЕРЕЧЕНЬ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ

### Модуль 4.1 Проектирование телекоммуникационных сетей

1 Студент **должен знать** принципы построения телефонных сетей общего пользования, принципы построения и взаимодействия коммутационного оборудования на сети. Знать основные понятия математической модели систем массового обслуживания (характеристики и свойства потоков вызовов, качественные характеристики, дисциплины обслуживания), понятия нагрузки и работы коммутационной системы, владеть методиками расчета коммутационных систем.

2 Студент **должен уметь** анализировать и синтезировать структурные схемы телефонных сетей, проводить расчеты необходимых параметров систем коммутации (интенсивностей абонентских, внешних и межстанционных нагрузок, емкостей пучков соединительных линий) с целью достижения нормативных параметров качества и надежности предоставления услуг телефонной связи, используя математические и аналитические методы расчета.

## ЗАДАНИЯ-ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ

### Задания-тесты для проверки знаний по обязательной части программы модуля 4.1 – Проектирование телекоммуникационных сетей

*Обведите номер правильного ответа*

1 Свойство случайного потока, которое означает, что его вероятностные характеристики не зависят от времени, называется:

- а) стационарность;*
- б) ординарность;*
- в) отсутствие последствия.*

2 Свойство случайного потока, которое означает практическую невозможность группового поступления вызовов, называется:

- а) стационарность;*
- б) ординарность;*
- в) отсутствие последствия.*

3 Параметр потока вызовов  $\lambda(t)$  в момент времени  $t$  означает:

- а) плотность вероятности наступления вызывающих моментов в момент времени  $t$ ;*
- б) плотность вероятности поступления вызовов в момент времени  $t$ ;*
- в) математическое ожидание количества вызовов в промежутке времени  $[0, t]$ .*

4 Между параметром ординарного потока  $\lambda(t)$  и его интенсивностью  $\mu(t)$  справедливо соотношение:

- а)  $\lambda(t) > \mu(t)$ ;*
- б)  $\lambda(t) < \mu(t)$ ;*
- в)  $\lambda(t) = \mu(t)$ .*

5 Характеристика стационарного потока, которая определяется как математическое ожидание числа вызовов, которые поступили в единицу времени, называется:

- а) интенсивность потока;*
- б) параметр потока;*
- в) ведущая функция потока.*

6 Простейший поток вызовов имеет свойства:

- а) неординарности, стационарности, простого последствия;*
- б) ординарности, стационарности, отсутствия последствия;*
- в) ординарности, нестационарности, простого последствия.*

7 Между математическим ожиданием и дисперсией количества вызовов, которые поступили за промежуток времени  $t$ , для простейшего потока справедливо соотношение:

- а) математическое ожидание равно дисперсии;*
- б) математическое ожидание больше дисперсии;*
- в) математическое ожидание меньше дисперсии.*

8 При объединении нескольких независимых простейших потоков вызовов создается также простейший поток с параметром, который равен:

- а) произведению параметров исходных потоков;*
- б) разнице параметров исходных потоков;*
- в) сумме параметров исходных потоков.*

9 Дисциплина обслуживания вызовов, предполагающая, что вызов, который поступил в момент времени, когда все соединительные устройства заняты, не теряется, а становится в очередь и обслуживается по мере освобождения соединительных устройств, называется:

- а) дисциплина обслуживания без потерь;*
- б) дисциплина обслуживания с ожиданием;*
- в) дисциплина обслуживания с повторением.*

10 Интенсивность нагрузки, которая обслуживается коммутационной системой без потерь, называется:

- а) интенсивностью потенциальной нагрузки;*
- б) интенсивностью поступающей нагрузки;*
- в) интенсивностью избыточной нагрузки.*

11 Разница между нагрузкой, которая поступает в коммутационную систему и нагрузкой, которая обслужена коммутационной системой, называется:

- а) интенсивностью потерянной нагрузки;*
- б) интенсивностью избыточной нагрузки;*
- в) интенсивностью потенциальной нагрузки.*

12 Единица измерения телефонной нагрузки коммутационной системы:

- а) 1 Эрланг;*
- б) 1 Эрланг/час;*
- в) 1 Вызов/час.*

13 Вероятность занятия в промежутке  $(t_1, t_2)$  всех доступных источнику вызовов соединительных путей называется:

- а) вероятностью потерь по времени;*
- б) вероятностью потерь по вызовам;*
- в) вероятностью потерь по нагрузке.*

14 Отношение интенсивностей потерянной к потенциальной нагрузке в промежутке  $(t_1, t_2)$  называется:

- а) вероятностью потерь по времени;*
- б) вероятностью потерь по вызовам;*
- в) вероятностью потерь по нагрузке.*

15 Вероятность ожидания в системе с ожиданием означает:

- а) долю вызовов, которые ожидают соединения;*
- б) вероятность занятия  $i$  любых линий;*
- в) вероятность занятия  $i$  фиксированных линий.*

16 Максимальная интенсивность нагрузки, которая обслуживается коммутационной системой в рассматриваемом промежутке времени при заданном качестве обслуживания, это:

- а) интенсивность обслуженной нагрузки;*

- б) интенсивность поступающей в коммутационную систему нагрузки;*
- в) пропускная способность коммутационной системы.*

17 Что такое фиксированный ЧНН:

- а) среднее значение интенсивностей нагрузок ежедневных ЧНН;*
- б) наибольшее значение средних интенсивностей нагрузок за  $n$  дней измерений в течении часа.*

18 Почему при расчетах абонентской нагрузки возникает необходимость деления источников нагрузки на категории:

- а) потому что, отдельные категории источников нагрузки отличаются законом распределения времени обслуживания;*
- б) потому что, для отдельных категорий источников нагрузки есть своя методика определения удельных интенсивностей нагрузки;*
- в) потому что, отдельные категории источников нагрузки отличаются средним количеством вызовов на один источник, видом ЧНН, имеют разную среднюю длительность занятия.*

19 Нагрузка от одной станции к другим распределяется:

- а) пропорционально;*
- б) в зависимости от емкости абонентской группы встречной станции с учетом тяготения;*
- в) в зависимости от типа оборудования станции.*

20. Интенсивность абонентской нагрузки на входе абонентского модуля ЦСК больше чем интенсивность абонентской нагрузки на его выходе:

- а) за счет того, что время занятия абонентской линии больше чем время занятия канального интервала группового тракта, который соединяет абонентский модуль с ЦКП;*
- б) за счет возникновения потерь;*
- в) за счет того, что время занятия абонентской линии меньше времени занятия канального интервала, который соединяет абонентский модуль с ЦКП.*

21 Чем больше расстояние между станциями, тем коэффициент тяготения:

- а) меньше;*
- б) больше;*
- в) не зависит от расстояния.*

22 Коэффициент  $K_{УСС}$ , который показывает долю исходящей нагрузки к узлу спецслужб, равен:

- а) 0,03...0,05;*
- б) 0,3...0,5;*
- в) 0,003...0,005.*

23 Метод расчета, который выбирается для определения емкости пучка соединительных линий между станциями на телефонной сети зависит от:

- а) структуры пучка СЛ, интенсивности нагрузки на пучок СЛ, установленной нормы потерь;*
- б) структуры пучка СЛ, интенсивности межстанционной нагрузки, установленной нормы вероятности потерь;*

*в) структуры пучка СЛ, интенсивности нагрузки на пучок СЛ, установленной нормы вероятности ожидания.*

24 Емкость пучка соединительных линий между станциями на телефонной сети зависит от:

- а) структуры пучка СЛ, интенсивности нагрузки на пучок СЛ;*
- б) интенсивности нагрузки на пучок СЛ, установленной нормы потерь;*
- в) интенсивности межстанционной нагрузки, установленной вероятности потерь.*

25 Для определения емкости пучка соединительных линий, включенных по исходящей связи в коммутационное поле цифровой системы коммутации, используется:

- а) I формула Эрланга;*
- б) II формула Эрланга;*
- в) метод эффективной доступности.*

26 Для определения емкости пучка соединительных линий, включенных по исходящей связи в коммутационное поле станций типа АТСК-У, используется:

- а) I формула Эрланга;*
- б) II формула Эрланга;*
- в) метод эффективной доступности.*

27 Условия применения первой формулы Эрланга:

- а) простейший поток вызовов, полnodоступная однокаскадная коммутационная система, дисциплина обслуживания с явными потерями;*
- б) примитивный поток вызовов, полnodоступная однокаскадная коммутационная система, дисциплина обслуживания с явными потерями;*
- в) простейший поток вызовов, полnodоступная однокаскадная коммутационная система, дисциплина обслуживания с ожиданием.*

28 Условия применения второй формулы Эрланга:

- а) простейший поток вызовов, полnodоступная однокаскадная коммутационная система, дисциплина обслуживания с явными потерями;*
- б) примитивный поток вызовов, полnodоступная однокаскадная коммутационная система, дисциплина обслуживания с явными потерями;*
- в) простейший поток вызовов, полnodоступная однокаскадная коммутационная система, дисциплина обслуживания с ожиданием.*

29 При определении числа СЛМ и СЛ к узлу спецслужб на телефонной сети установлены следующие нормы потерь вызовов:

- а) 0,003;*
- б) 0,001;*
- в) 0,005.*

30 При определении числа межстанционных соединительных линий местной связи на телефонной сети установлены следующие нормы потерь вызовов:

- а) 0,003;*
- б) 0,001;*
- в) 0,005.*

## **Основы имитационного моделирования. Сети Петри как инструмент для описания и исследования динамических систем**

Для изучения СМО требуется сначала логически описать ее модель, в которой должны реально воплотиться необходимые для изучения свойства системы. Для описания СМО могут использовать:

*Словесное описание* — неэффективно, т. к. дает возможность максимум понять, как работает система, но не позволяет изучить ее свойства и, проследить изменения в ее работе.

*Словесное описание и схематичное изображение.* Визуализация СМО не дает возможности наглядно отобразить функционирование системы во времени.

*Описание совокупностью математических соотношений* — представляет модель СМО с помощью алгебраических, дифференциальных, интегральных и других уравнений. Такой подход используется для установления зависимостей между входными и выходными параметрами системы и незаменим для глубокого исследования свойств СМО. Недостаток — большая сложность разработки такой модели, заключающаяся в отображении реальных свойств системы абстрактным языком математики, из-за изобилия математических соотношений страдает наглядность создаваемой системы, а это усложняет восприятие модели как физически реального объекта. Кроме того, во многих практических задачах интерес представляет *не столько количественная оценка параметров системы, сколько ее работа в различных ситуациях*, при смене условий и с течением времени. Еще одним недостатком моделей в виде систем уравнений является то, что при добавлении нового компонента в модель или нового параметра, как правило, приходится менять все уравнения, заново выстраивать цепочку математических соотношений. Особенно сильно проявляются описанные выше недостатки при исследовании сложных, иерархических систем, к которым и относятся большинство моделей СМО.

Можно воспользоваться менее формальным и более наглядным средством описания, которое предоставляет аппарат *сетей Петри*.

### **Сети Петри как инструмент для описания и исследования динамических систем**

Впервые сети Петри предложил немецкий математик Карл Адам Петри. Петри сформулировавший основные понятия теории связи асинхронных компонентов системы. В частности, он подробно рассмотрел описание *причинных связей между событиями*. Сеть Петри — это инструмент для описания и исследования динамических систем. Развитие теории сетей Петри проводилось по двум направлениям — представление в графической форме, что обеспечивает их наглядность, и в аналитической.

Модель сети Петри является принципиально асинхронной и служит для отображения и анализа причинно-следственных связей в системе.

При графической интерпретации сеть Петри является графом особого вида, состоящим из вершин двух типов — *позиций (position)* и *переходов (transition)*, соединенных ориентированными *дугами*, причем каждая дуга может связывать лишь разнотипные вершины (позицию с переходом или переход с позицией).

Рассмотрим базовые элементы модели сети Петри:

- *позиции (places)*,
- *переходы*,
- *дуги*
- *метки (token)*.

Состояние системы формируется в результате реализации локальных операций, называемых условиями реализации событий. Условие имеет емкость:



- условие не выполнено - емкость равна 0;
- условие выполнено - емкость равна 1;
- условие выполнено с  $n$ -кратным запасом - емкость равна  $n$ .

Определенная комбинация условий может стимулировать определенное *событие*, которое вызовет в свою очередь изменение условий.

В сетях Петри события и условия отображаются абстрактными символами, называемыми *переходами* и *позициями*. Для привязки к определенным моментам времени тех или иных переходов в синхронных системах *используются события*.

*Позиция (место)* - это состояние, в котором находится система или определенная ее часть. *Позиции* соответствуют условиям возникновения переходов. При изображении графа вершины-позиции обозначаются **кружками**.

*Переходы (события)* соответствуют событиям, присущим исследуемой системе, и характеризуются определенным числом входных и выходных позиций, соответствующих предусловию и постусловию данного события. Переходы из состояния в состояние считаются "мгновенными". Изображаются в графе - вершины - переходы — **прямоугольниками**.

Например (рис. П.1), сеть Петри с двумя позициями и двумя переходами. Цифрами 1 и 2 обозначены переходы, а буквами А и Б - позиции.

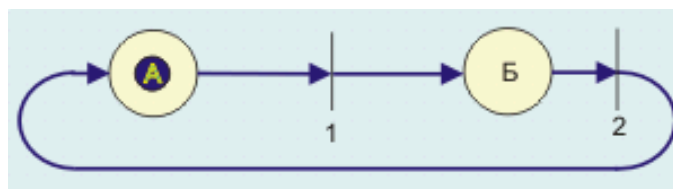


Рисунок П.1 – Пример сети Петри

Условия-позиции и события-переходы связаны отношениями зависимости, которые отображаются с помощью ориентированных дуг. Каждый переход имеет нуль или более *входных дуг*, исходящих из позиций, и нуль или более *исходящих дуг*, направленных к выходным позициям. Позиции, из которых исходят дуги данного перехода, называются *входными позициями*. Позиции же, к которым ведут дуги данного перехода, называются *выходными позициями*. Совокупность переходов, позиций и дуг позволяет описать статическую систему.

Для описания динамики вводится еще один объект - так называемый *маркер (token)* или *метка позиции*, которая соответствует выполнению того или иного условия. На графе метка обозначается точкой внутри позиции.

Выполнение условий отображается помещением соответствующего числа меток в соответствующую позицию. Если число меток велико (более 2-3), емкость условия может быть отображена числом. Например, в исходный момент система находится в состоянии А, что отмечено на рисунке *меткой* в виде кружочка. Расположение меток в позициях называется *разметкой сети*. Переход считается *активным*, если в каждой его входной позиции есть хотя бы одна метка, что равносильно выполнению всех необходимых условий для наступления события. Любой разрешенный переход может *произойти (fire)*, удалив все входные метки и установив метки в выходных позициях, что отражает изменение условий (и емкостей). Если числа входных и выходных дуг отличаются, число меток не сохраняется. Если разрешено более одного перехода, может произойти любой из них. Причем в один из осуществившихся переходов может блокировать реализацию всех остальных переходов из данного набора.

Наступление события в терминах сетей Петри представляется срабатыванием перехода, при этом метки из входных позиций изымаются и добавляются в каждую выходную позицию. Текущее состояние исследуемой системы определяется распределением

меток по позициям сети, а динамика поведения системы отображается перемещением меток по позициям сети.

**Рассмотрим модель простейшей СМО** (рис. П.1). Сеть Петри схематично описывает простейшую СМО, состоящую из источника вызовов, коммутационной системы и очереди.

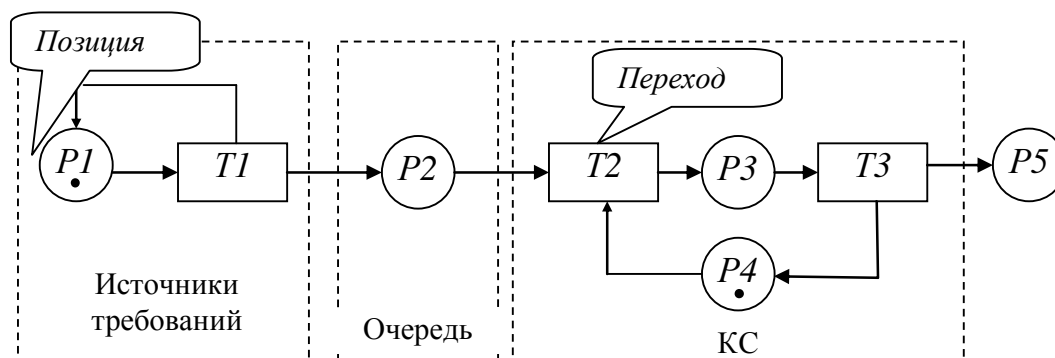


Рисунок П.2 – Модель простейшей сети Петри

Метка в позиции  $P1$  соответствует готовности источника требований к выдаче очередного требования. Обратная связь перехода  $T1$  с позицией  $P1$  необходима для генерации последующих требований в каждую единицу времени, таким образом формируется входной поток требований (вызовов). Позиция  $P2$  моделирует очередь, которая в данном случае может быть бесконечна (т. к. на нее не наложены никакие ограничения), но может быть и всегда пустой (если буфер системы обладает бесконечной производительностью). Маркер в позиции  $P4$  моделирует свободное состояние сервера (т. к. переход  $T2$  может сработать и забрать очередное требование из очереди только при наличии этой метки). Соответственно отсутствие метки в позиции  $P4$  говорит о том, что в данный момент буфер занят.

Однако данная модель не представляет практической ценности, т. к. состоит из бесконечного источника требований, который способен генерировать одно требование каждую единицу времени, очереди неограниченного размера и буфера системы, обладающего бесконечно большой производительностью, который, забирая по одному требованию из очереди, мгновенно их обслуживает. В приведенной модели не хватает информации о параметрах СМО.

Таким образом, необходимо данную сеть Петри преобразовать в *стохастическую*.

*Во-первых*, добавим информацию о характере входного потока требований (вызовов). Для этого в переходе  $T1$  следует записать математическую модель поступающего потока вызовов (например, пуассоновский).

*Во-вторых*, нужна информация о времени обслуживания – она заносится в переход  $T3$ . А к позиции  $P2$  можно добавить ограничение на длину очереди или на время пребывания в ней требований.

В результате получаем модель, в которой переход  $T1$  по заданному закону генерирует требования, далее требования поступают в очередь  $P2$ , и если система имеет свободные входы, то обслуживаются и попадают в обслуженные требования.

### Литература, которая использовалась для подготовки раздела Д.1

1 Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения./ В.В. Крылов, С.С. Самохвалова – СПб, ВНУ-Санкт-Петербург, 2005 – 288.

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

ААЛ	-	аналоговая абонентская линия,	
АЛ	-	абонентская линия,	
АМ	-	абонентский модуль,	
АМТС	-	автоматическая телефонная станция,	
ВАМ	-	выносной абонентский модуль,	
ВКМ	-	выносной коммутационный модуль,	
ГТ	-	групповой тракт,	
ГТС	-	городская телефонная сеть,	
ДО	-	дисциплина обслуживания,	
ЗСЛ	-	заказно-соединительная линия,	
КС	-	коммутационная система,	
МЦК	-	международный центр коммутации	
ОКС-7	-	общеканальная система сигнализации,	
ОПТС	-	опорно-транзитная телефонная станция,	
РАТС	-	районная автоматическая телефонная станция,	
СЛМ	-	соединительная линия междугородняя,	
СМО	-	система массового обслуживания,	
СРИ	-	система распределения информации,	
ТА	-	телефонный аппарат,	
УВС	-	узел входящих сообщений,	
УР	-	узловой район,	
УСС	-	узел спецслужб,	
ФСЛ	-	физическая соединительная линия,	
ЦКП	-	цифровое коммутационное поле,	
ЦСК	-	цифровая система коммутации,	
ЦСЛ	-	цифровая соединительная линия,	
ЦСП	-	цифровая система передач,	
ЧНН	-	час наибольшей нагрузки,	
ADM	-	<i>Add/Doop Multiplexer</i>	мультиплексор ввода/вывода,
dial-up	-		коммутируемый доступ к <i>Internet</i> по абонентской линии,
DTMF	-	<i>Dual-Tone Multi-Frequency</i>	двухтоновая частотная абонентская сигнализация,
IN	-	<i>Intelligent Network</i>	интеллектуальная сеть
IPOP	-	<i>Internet Point of Presence</i>	пункт присутствия <i>Internet</i> ,
SAN	-	<i>Switch Access Node</i>	узел коммутации и доступа,
SDH	-	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>	синхронная цифровая иерархия,
SSP	-	<i>Service Switching Point</i>	пункт коммутации интеллектуальных услуг,
TMN	-	<i>Telecommunication Management Network</i>	сеть управления телекоммуникациями,

**П.1 – Пропускная способность полnodоступного пучка емкостью V линий при обслуживании простейшего потока вызовов с явными потерями**

V	У, Эрл при потерях		
	0,0001	0,001	0,005
1	0,0001	0,001	0,005
2	0,014	0,046	0,105
3	0,087	0,194	0,347
4	0,235	0,439	0,698
5	0,452	0,761	1,126
6	0,73	1,15	1,61
7	1,05	1,58	2,15
8	1,42	2,05	2,72
9	1,83	2,56	3,32
10	2,26	3,09	3,94
11	2,72	3,65	4,59
12	3,21	4,23	5,25
13	3,71	4,83	5,93
14	4,24	5,44	6,63
15	4,78	6,07	7,34
16	5,34	6,72	8,06
17	5,91	7,37	8,79
18	6,50	8,04	9,53
19	7,09	8,72	10,28
20	7,70	9,40	11,04
21	8,32	10,1	11,8
22	8,95	10,8	12,6
23	9,58	11,5	13,3
24	10,2	12,2	14,1
25	10,9	13,0	14,9
26	11,5	13,7	15,7
27	12,2	14,4	16,5
28	12,9	15,2	17,3
29	13,6	15,9	18,1
30	14,2	16,7	18,9

V	У, Эрл при потерях		
	0,0001	0,001	0,005
31	14,9	17,4	19,8
32	15,6	18,2	20,6
33	16,3	18,9	21,4
34	17,0	19,7	22,2
35	17,8	20,5	23,1
36	18,5	21,3	23,9
37	19,2	22,1	24,7
38	19,9	22,8	25,6
39	20,6	23,6	26,4
40	21,4	24,4	27,2
41	22,1	25,2	28,1
42	22,8	26,0	28,9
43	23,6	26,8	29,8
44	24,3	27,6	30,6
45	25,1	28,4	32,5
46	25,8	29,2	32,4
47	26,6	30,0	33,2
48	27,3	30,8	34,1
49	28,1	31,7	34,9
50	28,9	32,5	35,8
51	29,6	33,3	36,7
52	30,4	34,1	37,5
53	31,2	34,9	38,4
54	31,9	35,8	39,3
55	32,7	36,6	40,2
56	33,5	37,4	41,0
57	34,3	38,3	41,9
58	35,1	39,1	42,8
59	35,8	39,9	43,7
60	36,6	40,8	44,5

V	У, Эрл при потерях		
	0,0001	0,001	0,005
61	37,4	41,6	45,4
62	38,2	42,4	46,3
63	39,0	43,3	47,2
64	39,8	44,1	48,1
65	40,6	45,0	48,9
66	41,4	45,8	49,8
67	42,2	46,6	50,7
68	43,0	47,5	51,6
69	43,8	48,3	52,5
70	44,6	49,2	53,4
71	45,4	50,0	54,3
72	46,2	50,9	55,2
73	47,0	51,7	56,1
74	47,8	52,6	57,0
75	48,6	53,5	57,9
76	49,4	54,3	58,8
77	50,2	55,2	59,7
78	51,1	56,0	60,6
79	51,9	56,9	61,5
80	52,7	57,8	62,4
81	53,5	58,6	63,3
82	54,3	59,5	64,2
83	55,1	60,3	65,1
84	56,0	61,2	66,0
85	56,8	62,1	66,9
86	57,6	62,9	67,8
87	58,4	63,8	68,7
88	59,3	64,6	69,6
89	60,1	65,5	70,5
90	60,9	66,4	71,4

Продолжение таблицы П.1

v	Y, Эрл при потерях		
	0,0001	0,001	0,005
91	61,8	67,3	72,3
92	62,6	68,2	73,2
93	63,4	69,0	74,1
94	64,2	69,9	75,0
95	65,1	70,8	75,9
96	65,9	71,7	76,9
97	66,8	72,5	77,8
98	67,6	73,4	78,7
99	68,4	74,3	79,6
100	69,3	75,2	80,5
102	70,9	76,9	82,3
104	72,6	78,7	84,2
106	74,3	80,4	86,0
108	76,0	82,2	87,9
110	77,7	84,0	89,7
112	79,4	85,7	91,6
114	81,1	87,6	93,3
116	82,8	89,4	95,2
118	84,5	91,2	97,0
120	86,2	92,9	98,9
122	87,9	94,6	100,7
124	89,6	96,4	102,6
126	91,3	98,2	104,5
128	93,1	100,0	106,3
130	94,8	101,8	108,2
132	96,5	103,6	110,0
134	98,2	105,6	111,8
136	100,0	107,2	113,7
138	101,7	109,0	115,6
140	103,4	110,8	117,4
310	255,5	267,7	278,6
320	264,7	277,1	288,2
330	273,9	286,5	297,8
340	283,1	295,9	307,4
350	292,3	305,4	317,1
360	301,5	314,8	326,7
370	310,7	324,2	336,3
380	319,9	333,7	346,0
390	329,1	343,2	355,7
400	338,4	352,7	365,4

v	Y, Эрл при потерях		
	0,0001	0,001	0,005
142	105,1	112,6	119,3
144	106,9	114,4	121,2
146	108,6	116,2	123,0
148	110,4	118,0	124,9
150	112,1	119,8	126,8
152	113,8	121,7	128,7
154	115,6	123,5	130,5
156	117,3	125,3	132,3
158	119,1	127,1	134,2
160	120,8	128,9	136,1
162	122,6	130,7	138,0
164	124,3	132,6	139,9
166	126,1	134,4	141,8
168	127,9	136,2	143,6
170	129,6	138,0	145,5
172	131,4	139,8	147,4
174	133,1	141,7	149,3
176	134,9	143,5	151,1
178	136,7	145,3	153,0
180	138,4	147,2	154,0
182	140,2	149,0	156,8
184	142,0	150,8	158,7
186	143,7	152,6	160,6
188	145,5	154,4	162,5
190	147,3	156,2	164,4
192	149,1	158,1	166,2
194	150,8	159,9	168,1
196	152,6	161,7	170,0
198	154,4	163,6	171,8
200	156,2	165,4	173,7
410	347,7	362,1	375,0
420	356,9	371,6	384,7
430	366,3	381,1	394,4
440	375,5	390,6	404,0
450	384,8	400,1	413,7
460	394,1	409,6	423,4
470	403,4	419,1	433,1
480	412,7	428,6	442,8
490	422,0	438,2	452,5
500	431,4	447,8	462,2

v	Y, Эрл при потерях		
	0,0001	0,001	0,005
202	158,0	167,3	175,6
204	159,7	169,1	177,5
206	161,5	171,0	179,5
208	163,3	172,8	181,4
210	165,1	174,6	183,3
212	166,9	176,5	185,2
214	168,7	178,3	187,1
216	170,5	180,2	189,0
218	172,3	182,0	190,8
220	174,0	183,9	192,7
222	175,8	185,7	194,6
224	177,6	187,6	196,5
226	179,4	189,4	198,4
228	181,2	191,3	200,3
230	183,0	193,1	202,2
232	184,8	195,0	204,1
234	186,6	196,9	206,1
236	188,4	198,7	208,0
238	190,2	200,6	209,9
240	192,0	202,4	211,8
242	193,8	204,3	213,7
244	195,6	206,1	215,5
246	197,4	208,0	217,4
248	199,2	209,9	219,3
250	201,0	211,7	221,3
260	210,0	221,0	230,8
270	219,1	230,3	240,3
280	228,2	239,6	249,8
290	237,3	248,9	259,4
300	246,4	258,3	269,0
550	478,2	495,6	510,8
600	525,2	543,4	559,5
650	572,3	591,4	608,3
700	619,5	639,5	657,1
750	666,8	687,7	706,0
800	714,3	735,9	754,9
850	761,8	784,2	803,9
900	809,4	832,5	852,9
1000	904,8	929,4	951,1
1100	1001	1027	1050

## П.2 Коэффициент $\alpha$ для расчета полнодоступных включений по методу БПВ

D	$p$	
	0,001	0,005
7	2,68	2,13
8	2,37	1,94
9	2,15	1,80
10	1,99	1,70
11	1,87	1,62
12	1,78	1,56
13	1,70	1,50
14	1,64	1,46
15	1,58	1,42
16	1,54	1,39
17	1,50	1,37
18	1,47	1,34
19	1,44	1,32

D	$p$	
	0,001	0,005
20	1,41	1,30
21	1,39	1,29
22	1,37	1,27
23	1,35	1,26
24	1,33	1,25
25	1,32	1,24
26	1,30	1,23
27	1,29	1,22
28	1,28	1,21
29	1,27	1,20
30	1,26	1,19
31	1,25	1,19
32	1,24	1,18

D	$p$	
	0,001	0,005
33	1,23	1,17
34	1,23	1,17
35	1,22	1,16
36	1,21	1,16
37	1,21	1,15
38	1,20	1,15
39	1,19	1,15
40	1,19	1,14
41	1,18	1,14
42	1,18	1,13
43	1,17	1,13
44	1,17	1,13
45	1,17	1,12

# СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ. . . . .	3
ПЕРЕЧЕНЬ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ СТУДЕНТА . . . . .	3
ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИЙ. . . . .	4
ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. . .	5
1 ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ. . . . .	6
1.1 Методические указания к выполнению СРС . . . . .	8
1.1.1 Анализ существующей аналого-цифровой сети с коммутацией каналов .	8
1.1.2 Прогнозирование абонентского структурного состава и расчет абонентской нагрузки сети с коммутацией каналов. . . . .	13
1.1.3 Распределение межстанционной нагрузки на ГТС. Коэффициенты тяготения. . . . .	19
1.1.4 Определение количества соединительных линий между ОПТС, ВКМ и существующими РАТС ГТС. . . . .	21
1.1.5 Расчет числа ГТ и пропускной способности транспортного кольца SDH...	26
2 КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ. . . . .	28
2.1 Телекоммуникационные сети и системы как системы массового обслуживания..	28
2.2 Потоки вызовов как случайный процесс. . . . .	29
2.3 Потоки вызовов без последействия. Простейший поток вызовов. . . . .	32
2.4 Потоки вызовов с простым последействием. Примитивный поток вызовов .	33
2.5 Потоки вызовов с ограниченным последействием. Рекуррентный поток вызовов. Поток Пальма. Самоподобный поток . . . . .	33
2.6 Дисциплины обслуживания вызовов в системах распределения информации	34
2.7 Базовая модель СМО по Кендаллу . . . . .	36
2.8 Аналитические методы расчета в теории телетрафика. Марковские модели для исследования пропускной способности . . . . .	37
2.9 Полнодоступная система массового обслуживания с явными потерями при обслуживании простейшего потока вызовов $M/M/m;v$ . Первая формула Эрланга.	40
2.10 Полнодоступная система массового обслуживания с явными потерями при обслуживании примитивного потока вызовов $M/M/m;v$ . Формула Энгсета. .	42
2.11 Полнодоступная система массового обслуживания с ожиданием при об служивании простейшего потока вызовов $M/M/m:v/N$ . Вторая формула Эрланга..	43
2.12 Полнодоступная система массового обслуживания с приоритетным обслуживанием $M/M/m:v/N$ . . . . .	45
2.13 Нагрузка коммутационной системы и ее виды. Суточные колебания нагрузки. . . . .	47
ПЕРЕЧЕНЬ И ТЕМАТИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ. . . . .	51
ПЕРЕЧЕНЬ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ СТУДЕНТА . . . . .	51
ЗАДАНИЯ-ТЕСТЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ЗНАНИЙ И УМЕНИЙ . . . . .	52
ПРИЛОЖЕНИЕ . . . . .	56
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ . . . . .	59
ТАБЛИЦА П.1 . . . . .	60
ТАБЛИЦА П.2 . . . . .	62

Учебное пособие  
Барабаш Татьяна Николаевна  
Соловская Ирина Николаевна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ**

**Учебное пособие**

**Часть 1**

***Модуль 4.1 – Проектирование  
телекоммуникационных сетей***

Редактор – Якубовская А.Г.  
Компьютерная верстка – Кирдогло Т.В.