

РАСЧЕТ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ

Мукимов Ш.С., Бойко В.В.

Стремительное развитие телекоммуникационной отрасли втягивает в этот вид деятельности значительные материальные и человеческие ресурсы. Резко увеличивается объём предоставляемых услуг, возрастают требования к качеству транспорта данных. Работа крупных распределённых корпораций, таких, например, как банки, торговые сети, страховые компании и других невозможна без надёжно работающих сетей передачи и обработки данных.

В то же время в связи с увеличением количества и разнообразия предоставляемых услуг резко увеличиваются требования к объёму и качеству транспорта данных, что зачастую приводит к неоправданно высоким затратам на построение сетей. При построении сетей крупных корпораций необходимо учитывать разнообразные источники трафика — такие, как трафик базы данных, файловый документооборот, IP-телефонию и IP-видеосвязь, и многие другие. Каждый вид трафика предъявляет свои требования к качеству транспорта и показателям пропускной способности. В то же время для расчета широко используется примитивный метод, основанный на простом арифметическом суммировании потоков данных от разных источников с учетом эмпирического «коэффициента взрывоподобности трафика» [1]. В саму методику не заложены показатели качества обслуживания, что не позволяет провести никакой оптимизации с целью уменьшения стоимости сети. Существуют работы, в которых рассматриваются вопросы проектирования сетей с учетом показателей качества, например [2], но в них не приводятся конкретных способов расчета, ориентированных на многообразие трафика.

В данной статье рассматривается упрощенный способ проектирования корпоративных сетей передачи данных на основе теории телетрафика, который позволит достичь компромисса между стоимостью сети и качеством предоставляемых услуг.

Логика проектирования включает следующие этапы. Задаются параметры абонентской нагрузки — размер группы, показатели трафика для каждого вида услуги, а также требуемые показатели качества. Затем каким-либо образом получается первое приближение для пропускной способности канала связи. Затем рассчитываются показатели качества — длина очереди и время задержки пакетов данных. Потом любым доступным методом проектировщик добивается наименьшей пропускной способности, при которой показатели качества еще остаются в пределах требований.

При расчете предполагается, что все услуги делятся на несколько классов по типу обслуживания — например, класс VoIP с мультимедийными требованиями, класс WEB с требованиями интерактивной загрузки контента, класс обмен с базой данных с оптимальной временем обработки транзакции и класс файловых загрузок с самыми низкими требованиями к качеству. При этом для каждого класса на коммуникационном оборудовании создается своя очередь обслуживания пакетов и назначаются приоритеты.

Постановка задачи расчет пропускной способности каналов связи

Рассмотрим задачу объединения нескольких каналов в один на примере участка корпоративной сети. В качестве примера построена региональная сеть города Куляба и прилегающие к ним районы, на основе топологии транспортной оптоволоконной сети ТаджикТелеком.



Рисунок 1.1 - Узел распределения «Куляб»

Таблица 1 — Параметры абонентской нагрузки для каждого класса услуг

Услуга	Максимальная скорость Кбит/с	Длительность сеанса связи (с)	Количество вызовов в час	Пачечность	Входная нагрузка Эрл
VoIP	95,2	150	3	1	0,125
Видеонаблюдение	1024	3600	1	1	1
Internet	1024	60	10	8	0,167
База данных	512	15	20	5	0,083
Файловый обмен	2048	30	3	10	0,025
Видеонаблюдение(банкомат)	384	3600	1	1	1

На основе параметры абонентской нагрузки (таблица 1), рассчитывается трафик, создаваемый разными классами услуг, а также пропускная способность полученный методом суммирования. Стоит отметить что, показатели абонентской нагрузки общедоступны и получены эмпирическим путем. В большинстве случаев трафик или пропускная способность рассчитывается именно этим методом[1]. Результат расчета представлен в таблице 2.

Таблица 1.2 – Трафик отделений и суммарный трафик

Название объекта	Число абонентов	Пропускная способность для услуг, Кбит/с					Суммарн. Трафик (Кбит/с)	Нагрузка создаваемой группы абонентов, Эрл.			
		VoIP	Интернет	База данных	Файлов. обмен	Трафик фипигала (Кбит/с)		VoIP	Интернет	База данных	Файлов. обмен
г.Куляб	27	329	576	236	138	1279	10423	3,00	3,86	2,07	0,66
р.Дангара	26	317	555	227	133	1232		2,89	3,72	1,99	0,63
р.Балджувон	24	292	512	210	123	1137		2,67	3,43	1,84	0,59
р.Фархор	24	292	512	210	123	1137		2,67	3,43	1,84	0,59
р.Восеъ	23	280	491	201	118	1090		2,56	3,29	1,76	0,56
р.Муъминобод	22	268	469	192	113	1042		2,44	3,15	1,69	0,54
р.Ховалинг	22	268	469	192	113	1042		2,44	3,15	1,69	0,54
р. Хамадони	26	317	555	227	133	1232		2,89	3,72	1,99	0,63
р. Шурабадский	26	317	555	227	133	1232		2,89	3,72	1,99	0,63

Трафик каждого отделения получен простым арифметическим суммирование по всем услугам, которые предоставляются абонентам этого отделения. А суммарный трафик всего узла распределения получен простым арифметическим суммированием необходимой пропускной способности каждого из отделений. Такой способ вычисления пропускной способности не учитывает нескольких важных показателей, что может привести к ошибке в расчетах как в большую, так и в меньшую сторону. Во-первых, чем большее число абонентов создают трафик, тем он более равномерный, так как маловероятно, чтобы большое количество абонентов одновременно потребовали обслуживания с максимальной скоростью. Во-вторых, пакеты от множества абонентов могут накапливаться в очереди на передачу, тем самым, трафик выравнивается еще больше — особенно этот эффект проявляется, когда передается регулярный трафик, например, голосовые или видео пакеты. С другой стороны, стояние в очереди вызывает задержку передачи пакетов, следовательно, ухудшает показатели качества транспорта. Следовательно, регулируя соотношение между суммарным трафиком всех отделений и пропускной способностью объединенного канала от Куляба к ядру, можно влиять на показатели качества, а следовательно, и на показатели стоимости канала, пропорциональные пропускной способности. Таким образом, ставится следующая задача: предложить методику расчета, учитывающую длину очереди так, чтоб время стояния пакетов не превышало допустимое, а пропускная способность была наименьшая.

Расчет показателей качества транспорта пакетов

Следующим шагом необходимо рассчитать показатели качества — а именно, задержку, обусловленную стоянием пакета в очереди и временем, потраченным на передачу. Поскольку для обслуживания пакетов IP-телефонии и других услуг используются разные очереди, то расчет будем вести отдельно, исходя из типичного размера пакета для каждого вида услуг. Ниже приведен подробный расчет для г. Куляб, а для других отделений результаты расчетов сведены в таблицу.

Для телефонии реальный размер пакета определен расчетным путем — 1904 бита. Пропускная способность канала — 0,857 Мбит/сек. Следовательно, время, необходимое для передачи 1 пакета, определяется так:

$$T_s = \frac{b_{\text{реальн}}}{B_{\text{канала}}} ; \quad T_s = \frac{1904}{0,857} = 2,22 \text{ мсек} \quad (1)$$

Поскольку расчетная нагрузка абонентской группы равна $Y_{ep}=3$ Эрланг, а интервал передачи пакетов каждым абонентом (время семпла) $t_s=20$ мс, то интенсивность передачи пакетов λ от всей группы будет рассчитана так:

$$\lambda = \frac{Y_{ep}}{t_s} ; \quad \lambda = \frac{3}{20 \cdot 10^{-3}} = 150 \text{ пак/сек} \quad (2)$$

Откуда определяем коэффициент утилизации ρ — показатель загруженности канала связи, который влияет на время стояния в очереди:

$$\rho = \lambda \cdot T_s ; \quad \rho = 150 \cdot 2,22 \cdot 10^{-3} = 0,333 \quad (3)$$

Из него, согласно [3], учитывая тот факт, что все пакеты телефонии имеют одинаковый размер, определяются следующие показатели качества. Общее число пакетов r , находящихся в системе:

$$r = \frac{\rho^2}{2 \cdot (1 - \rho)} + \rho ; \quad r = \frac{0,333^2}{2 \cdot (1 - 0,333)} + 0,333 = 0,417 \quad (4)$$

Из них в очереди на обслуживание находятся w пакетов:

$$w = \frac{\rho^2}{2 \cdot (1 - \rho)} ; \quad w = \frac{0,333^2}{2 \cdot (1 - 0,333)} = 0,0833 \quad (5)$$

Эта цифра может быть полезной при настройке очередей на оборудовании — в аппаратуре можно указывать максимальный размер очереди пакетов. В данном случае в системе на обслуживании меньше 1 пакета, значение достаточно условное; оно свидетельствует о том, что система работает с большим запасом по производительности. Но при дальнейшей оптимизации эта цифра будет уже гораздо более реальная.

Время стояния пакетов в очереди T_w :

$$T_w = \frac{\rho \cdot T_s}{2 \cdot (1 - \rho)} ; \quad T_w = \frac{0,333 \cdot 2,22}{2 \cdot (1 - 0,333)} = 0,556 \text{ мсек} \quad (6)$$

Полное время нахождения пакета в системе T_r , включая время обслуживания и

время стояния в очереди:

$$T_r = \frac{T_s \cdot (2 - \rho)}{2 \cdot (1 - \rho)} ; T_r = \frac{2,22 \cdot (2 - 0,333)}{2 \cdot (1 - 0,333)} = 2,778 \text{ мсек} \quad (7)$$

Как видно, это время значительно меньше, чем требуемый показатель качества 50 мсек для телефонии. Значит, можно уменьшить пропускную способность канала связи, и тем самым сэкономить затраты.

Расчет показателей качества для услуги обмена с интернет рассчитываются подобным образом. Средняя пропускная способность, необходимая для загрузки страниц, определена эмпирически в 1024 Кбит/сек, средний размер пакета — тоже эмпирически, 750 байт. Из этих данных можно определить средний интервал передачи пакетов t_s от одного абонента — по формуле:

$$t_s = \frac{b_{\text{реальн}}}{B_{\text{абон}}} ; t_s = \frac{6000}{1024} = 5,859 \text{ мсек}$$

Для пропускания нагрузки 3,86 Эрл требуется 10 каналов (из таблицы 2), что даст в сумме пропускную способность по формуле 8:

$$B_{\text{услуги}} = B_{\text{абонента}} \cdot V ; B_{\text{услуги}} = 1024 \cdot 10 = 10240 \text{ Кбит/сек} \quad (8)$$

Время обслуживания одного пакета — по формуле 1:

$$T_s = \frac{6000}{10240} = 0,586 \text{ мсек}$$

Интенсивность передачи пакетов от всей абон. группы по формуле 2:

$$\lambda = \frac{3,86}{5,859 \cdot 10^{-3}} = 659 \text{ пак/сек}$$

Коэффициент утилизации ρ — по формуле 3:

$$\rho = 659 \cdot 0,586 \cdot 10^{-3} = 0,386$$

Затем определяются показатели качества; но, в отличие от телефонии, пакеты имеют неодинаковую длину. В первом приближении можно считать, что размер пакетов подчиняется экспоненциальному распределению, хотя это и не совсем так. Для расчета показателей качества при экспоненциальном распределении используются следующие формулы [3, 4].

Число пакетов в системе:

$$r = \frac{\rho}{1 - \rho} ; r = \frac{0,386}{1 - 0,386} = 0,6297 \quad (9)$$

Число пакетов в очереди:

$$w = \frac{\rho^2}{1-\rho} ; w = \frac{0,386^2}{1-0,386} = 0,243 \quad (10)$$

Время стояния пакетов в очереди T_w :

$$T_w = \frac{\rho \cdot T_s}{1-\rho} ; T_w = \frac{0,386 \cdot 0,586}{1-0,386} = 0,369 \text{ мсек} \quad (11)$$

Полное время нахождения пакета в системе T_r , включая время обслуживания и время стояния в очереди:

$$T_r = \frac{T_s}{1-\rho} ; T_r = \frac{0,586}{1-0,386} = 0,955 \text{ мсек} \quad (12)$$

Обратим внимание, что время нахождения пакета обмена с интернет в системе намного меньше, чем то же время для телефонных пакетов, хотя требования к качеству транспорта телефонии намного выше, чем транспорта интернет. Резервов для экономии пропускной способности здесь намного больше.

Аналогично рассчитываются показатели для обмена с базой данных и файловым сервером. Результаты расчета приводятся в таблице 3.

Таблица 3 Расчет показателей качества

вид показателя	телефония	интернет	база данных	Файл. обмен	размерность
1) средняя проп. Способность для услуги	321,3	4617,2	1147,4	1382,4	Кбит/сек
2) общая нагрузка группы	3	3,86	2,07	0,66	Эрланга
3) средняя интенсивность передачи пакетов =	150	659,4	264,9	198,3	пак/сек
4) Число каналов по таблице Башарина	9	10	7	4	шт
5) общая проп. Способность для группы $V_{гр}$ =	856,8	10240	3584	8192	Кбит/сек
6) время обслуживания пакета T_s =	2,22	0,586	1,116	0,83	мсек
7) коэффициент утилизации ρ =	0,333	0,386	0,296	0,165	
8) количество пакетов в системе r =	0,417	0,6297	0,42	0,197	шт
9) количество пакетов в очереди w =	0,083	0,2433	0,124	0,032	шт
10) время нахожд. Пакета в системе T_r =	2,778	0,955	1,584	0,994	мсек
11) время стояния в очереди T_w =	0,556	0,369	0,468	0,164	мсек

Оптимизация пропускной способности каналов связи

Для более эффективного использования оплаченной пропускной способности канала можно уменьшить требуемую пропускную способность до величины, при которой задержка нахождения пакета в системе будет увеличена до допустимого значения [5]. Для телефонии это — 50 мсек, для услуг интернет, базы данных и файлового обмена — 500 мсек. Расчет по приведенной методике показывает, что

пропускную способность можно уменьшить до 306 Кбит/сек, при этом задержка составит не более 50 мсек. А для услуги доступа к интернет пропускную способность можно уменьшить до 3970 Кбит/с, при этом задержка составит не более 444 мсек при требовании не более 500 мсек. Для услуг базы данных эти цифры составят 1068 Кбит/с при задержке не более 468 мсек, а для файлового обмена — 1363 Кбит/с при задержке 475 мсек. Таким образом, приведенный расчет позволяет уменьшить оплаченную пропускную способность и улучшить экономические показатели работы сети. Результаты расчета оптимальной пропускной для филиала в г.Куляб показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты расчета для оптимизированной пропускной способности филиала в г. Куляб

вид показателя	телефония	интернет	база данных	Файл. обмен	размерность
оптимальная пропускная способность =	306	3970	1068	1363	Кбит/сек
1) средняя проп. Способность для услуги	285,6	3956,5	1147,392	1382,4	Кбит/сек
2) общая нагрузка группы	3	3,86	2,07	0,66	Эрланга
3) средняя интенсивность передачи пакетов =	150	659,4	264,9	198,3	пак/сек
5) общая проп. Способность для группы $V_{гр}$ =	306	3970	1068	1363	Кбит/сек
6) время обслуживания пакета T_s =	6,222	1,511	3,745	4,989	мсек
7) коэффициент утилизации ρ =	0,933	0,997	0,992	0,989	
8) количество пакетов в системе Γ =	7,467	292,7105	124,016	94,201	шт
9) количество пакетов в очереди w =	6,533	291,7139	123,024	93,212	шт
10) время нахожд. Пакета в системе T_{Γ} =	49,778	443,895	468,223	474,957	мсек
11) время стояния в очереди T_w =	43,556	442,384	464,478	469,968	мсек

Результаты расчета для других филиалов, входящих в региональный филиал Куляб, приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета для оптимизированной пропускной способности районов регионального филиала Куляб

Название объекта	Число абонентов	пропускная способность для услуг, Кбит/с				Трафик филиала (Кбит/с)	Суммарн. трафик (Кбит/с)
		Телефония	интернет	База Данных	Файловый Обмен		
г.Куляб	27	306	3970	1068	1363	6707	54692
р.Дангара	26	296	3822	1029	1313	6460	
р.Балджувон	24	275	3529	950	1213	5967	
р.Фархор	24	275	3529	950	1213	5967	
р.Восеъ	23	264	3383	911	1163	5721	
р.Муъминобод	22	254	3236	872	1113	5475	
р.Ховалинг	22	254	3236	872	1113	5475	
р. Хамадони	26	296	3822	1029	1313	6460	
р. Шурабадский	26	296	3822	1029	1313	6460	

Для оценки результатов расчета по предлагаемой методике интересно сравнить в одной таблице итоговые цифры необходимой пропускной способности сети, рассчитанные по разным методикам. Данные, просуммированные и приведенные к одинаковым единицам, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Сводная таблица пропускной способности, рассчитанной по разным методикам

Название объекта	Число абонентов	Пропускная способность методом суммирования (Кбит/с)	Пропускная способность методом оптимизации (Кбит/с)
г.Куляб	27	1279	6707
р.Дангара	26	1232	6460
р.Балджувон	24	1137	5967
р.Фархор	24	1137	5967
р.Восеъ	23	1090	5721
р.Муъминобод	22	1042	5475
р.Ховалинг	22	1042	5475
р. Хамадони	26	1232	6460
р. Шурабадский	26	1232	6460

Как видно из сравнения, метод суммирования дает показатели примерно в 5 раз больше чем оптимизация. Возникает вопрос, какие данные ближе к реальным цифрам, при какой пропускной способности абоненты будут получать услуги с гарантированным качеством? На основании практического опыта пользования цифровыми услугами в сети, рассчитанной методом простого суммирования, можно сделать вывод, что в час наибольшей нагрузки качество предоставляемых услуг будет неудовлетворительным. Поэтому предпочтительно пользоваться предлагаемой методикой расчета.

Выводы

Пропускная способность каналов, рассчитанная методом суммирования, значительно меньше той, которая рассчитана по оптимизированному варианту исходя из максимально допустимых задержек. Если попытаться рассчитать задержки доставки пакетов при такой же пропускной способности, то получатся отрицательные значения – это означает, что часть пакетов будет потеряна. Задача расчета потерь пакетов не ставилась в данной работе, но очевидно, что потери пакетов значительно ухудшат качество предоставляемых услуг. Поэтому оптимизация проводилась только исходя из задержек, и полученные цифры можно считать вполне достоверными для проектирования сети.

Литература

1. Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей АТМ. – М.: Изд-во «Горячая линия-Телеком», 2002. -256 с.
2. Вишневский В.М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей, Москва, 2003. – 506с.
3. Современные компьютерные сети. 2-е изд. / В.Столлингс. - Спб.: Питер, 2003. - 783 с.
4. Крылов В.В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. - Спб.: БХВ-Петербург, 2005. - 288 с.
5. Теорія телетрафіку: навч.посіб./ В.Я. Воропаєва, В.І. Бессараб, В.В. Турупалов, В.В. Червинський. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. –202 с.