

«Цифровизация» мира - опутывание его локальными сетями, каналами Интернет и, наконец, IP-телефонии - стала возможной только после того, как на физическом уровне удалось реализовать каналы передачи данных с требуемыми показателями качества (оптические каналы с вероятностью ошибки  $10^{-12}$  ...  $10^{-15}$ ) и практически неограниченной емкостью. Еще 10 лет назад, в эпоху «медных» каналов, об IP-телефонии никто и не слышал, хотя все составляющие компоненты современных систем/сетей уже существовали (вокодеры, коммутаторы, мультиплексоры и т.д.).

Стремительный рост узлов доступа к цифровым сетям привел к тому, что, во-первых: стало не хватать мощностей коммутации, а во-вторых: все больше стал проявляться эффект "нулевого трафика", когда абонент занимает канал, а активной информации не передает.

Для решения этих проблем в настоящее время активно используются принципы статистического уплотнения и коммутации пакетов. Однако ясно, что способы адресации, применяемые в современных сетях, не эффективны, и ряд фирм (например, Ericsson) предлагают использовать для трансляции пакетов метод виртуальной адресации виртуальных каналов.

Сказанное относится к проблемам верхнего уровня - проблемам организации/построения сети связи, а не собственно каналов, которые и так достаточно хороши. Можно утверждать, что данные, посланные из Москвы по цифровой сети, несколько раз обойдя земной шар, вернутся в Москву без изменений. Это, несомненно, является решающим аргументом во всех современных "цифровых играх".

К сожалению, ВЧ каналы такими не будут никогда... Часто мы вообще не знаем: дойдет ли информация до противоположного конца линии или нет. Не приходится говорить и о вероятностях ошибки  $10^{-9}$  ...  $10^{-15}$ , реализовать которую можно, но какими затратами, на каких скоростях и на каких линиях?

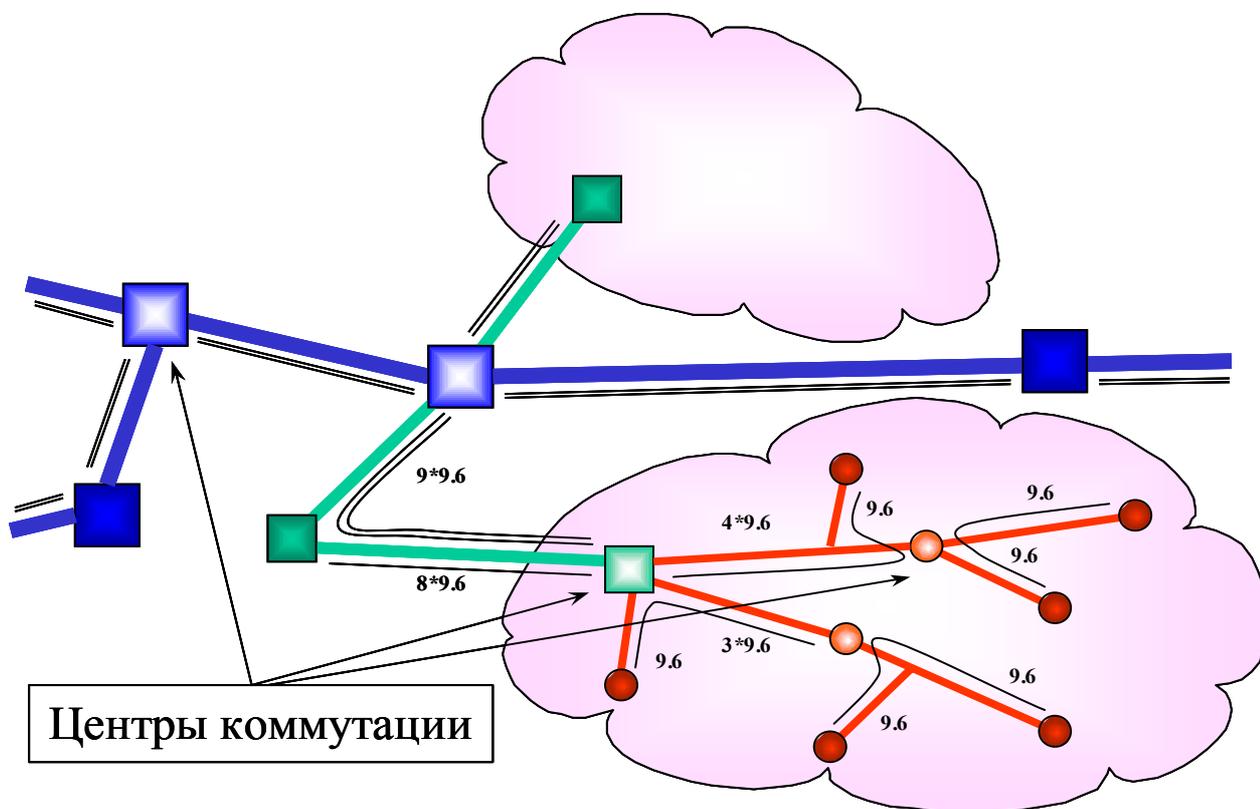
Тем не менее, попытки строить цифровые сети на ВЧ каналах были и, конечно, еще будут, но окажутся они, скорее всего, менее удачными, чем медные и оптические сети: уж больно неоднородна и не стабильна сама среда передачи, сами физические каналы.

Собственно, именно различие в природе физических каналов и определяет не сопоставимость характеристик и подходов к проектированию оптических/медных и ВЧ распределенных информационных сетей. По своим свойствам цифровые ВЧ каналы очень близки к тем, на которых 15 ... 25 лет назад строились сети X.25, и по которым передавать трафики с QoS принципиально невозможно!

Можно поставить вопрос ребром: если по ВЧ каналам не возможно доставить цифровой информационный поток 19.2 Кбит/с из Пскова во Владивосток с вероятностью ошибки  $10^{-9}$ , временем передачи 100 мс и суммарной готовностью соединения  $\sim 0.01$ , то цифровые сети ВЧ связи строить нельзя. Если это можно сделать в пределах Смоленской области, значит, в Смоленской губернии можно построить цифровую ВЧ сеть, но перед этим необходимо продумать вопрос ее совместимости и стыковки с цифровой ВЧ сетью томичан, где, конечно, построят свою сеть. Хорошо, если эти сети будет делать один производитель или поставщик, а если разные? А если принципы формирования цифровых потоков окажутся не совместимыми?

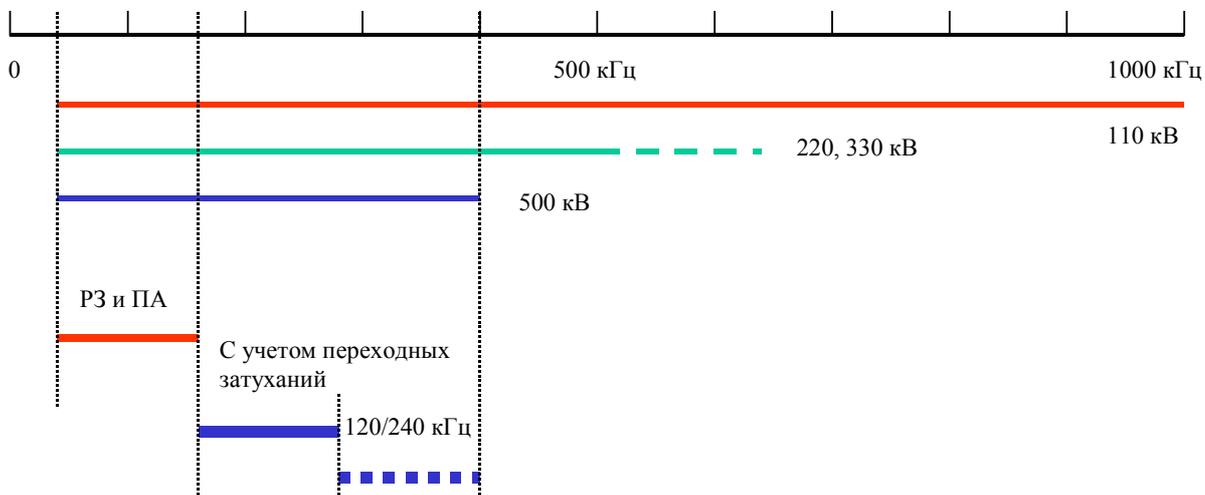
При этом следует иметь в виду, что построение однородной сети (в смысле равноправности обслуживания абонентов) возможно только при равенстве скоростей передачи (и других параметров передачи/приема) во всех ее первичных сегментах. Поэтому емкость сети будет определяться наихудшим из ее участков и вряд ли превысит 9.6 ... 12 Кбит/с на ВЧ канал.

А это всего! один телефонный канал + 1.2 ... 2.8 Кбит/с данных. При качественном ухудшении телефонных трактов из-за перебоев и возрастающих времен передачи (+180 ... 350 мс на ВЧ участок/сегмент, в лучшем случае на телефонное соединение, поскольку цифровой ВЧ канал традиционно реализуется на модемах + вокодерах).



Другой способ организации цифровых ВЧ каналов (за рубежом интерес к нему, кроме одной двух фирм, уже пропал. В Германии признан не эффективным) состоит в использовании широкополосной модуляции DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) или FHSS (79 частот).

Для DSSS обычно используется 11-разрядный код Баркера 11100010010, то есть происходит расширение спектра (или соответствующее уменьшение уровня шума на приемной стороне) в 11 раз.



Для ВЛ каждого уровня напряжения существует допустимый к использованию диапазон частот, например для линий 500 кВ – это 20 ... 400 кГц. Традиционно частоты до 160 кГц используются для целей РЗ и ПА. Тогда для ШС остается диапазон частот 240 кГц. Допустим с учетом переходных затуханий частоты каналов на соседних ВЛ необходимо разносить. Тогда для ШС остается диапазон частот 120 кГц. При этом максимальная скорость передачи в таком канале составит  $120/11 = 10,9$  кБит/с, что не сильно отличается от полученной ранее цифры 9.6 кБит/с (в полосе одного ВЧ канала). Посмотрим, что получится с точки зрения энергетики.

Для чувствительности приемника  $-45$  дБм и скорости 10,9 кБит/с

	PEP, дБм	S-value	Pline, дБм	SN треб.	ProcesNoise reduce	SN прм.	Перекрываемое затухание		
							110 кВ	220 кВ	500 кВ
DSSS	46	109	5.26	12	-20.8	-8,8	49,8	40,4	34,4
V.34	46	3.3	35.63	20.8	0	20.8	48,5	37,1	26,2

Причем, для канала V.34 учитывался пик-фактор шума короны. Влияние этого шума на DSSS сигналы еще не изучено, и поэтому не учитывалось. Таким образом, ни с точки зрения скорости передачи, ни с точки зрения энергетического потенциала ВЧ линии (разница значений в таблице обусловлена пик-фактором шума короны), широкополосная технология преимуществ не дает.

Кроме того, для внедрения широкополосных технологий необходимо изучить их реакцию на:

- Сложные и неоднородные АЧХ и ФЧХ ВЧ каналов
- ВЛ с переменными во времени АЧХ и ФЧХ ВЧ каналов
- Запрещенные к использованию на ВЛ диапазоны частот

Третье решение состоит в распараллеливании цифровых потоков, передаваемых по ВЧ каналам. Его идея состоит в том, чтобы забирать информацию с вокодеров не в последовательном формате, как принято, а в параллельном разрядностью  $N$ , где  $N$  – число одновременно используемых

цифровых ВЧ каналов. Тогда выражение для задержки времени передачи одного телефонного сигнала  $T_{ТЛФ}$  примет вид:

$$T_{ТЛФ} = \frac{T_{coder}}{N \cdot VAD} + T_{MUX} + \frac{T_{Modem}}{N} + T_{PLC} + T_{Line} + T_{PLC} + \frac{T_{Modem}}{N} + T_{DeMUX} + \frac{T_{decoder}}{N \cdot VAD}$$

- $T_{coder}$  - время кодирования речевого сигнала в вокодере
- $T_{decoder}$  - время декодирования речевого сигнала в вокодере
- VAD - коэффициент эффективности системы распознавания занятости канала – заполнения пауз
- $T_{MUX}$  - время формирования цифрового потока и протокола сети
- $T_{DeMUX}$  - время распаковки цифрового потока и протокола сети
- $T_{Modem}$  - время обработки цифрового потока модемами
- $T_{PLC}$  - время обработки сигналов в аппаратуре ВЧ связи
- $T_{Line}$  - время распространения сигнала по ВЛ

Которое дает возможность получить оценку задержки времени передачи одного телефонного сигнала для типовых кодеков G.729, модемов V.34 и аппаратуры ВЧ связи с цифровой обработкой сигналов:

		$T_{voc}$	$T_{mux}$	$T_{mod}$	$T_{plc}$	$T_{line}$	$T_{plc}$	$T_{demod}$	$T_{demux}$	$T_{voc}$	Sum min	Sum max	Trakt	Voc	Buffer	V / 1 ch, kB/s
<b>t, ms</b>		35	5	90	4		2	103	6	45						
<b>VAD</b>	<b>1</b>	35	5	90	4		2	103	6	45	<b>290,0</b>	<b>290,0</b>				<b>9,8</b>
<b>N</b>	<b>1</b>	35	5	90	4		2	103	6	45	<b>290,0</b>	<b>290,0</b>	210	80		9,8
	<b>2</b>	18	5	45	4		2	52	6	22,5	<b>153,5</b>	<b>193,5</b>	114	40	40	4,9
	<b>3</b>	12	5	30	4		2	34	6	15	<b>108,0</b>	<b>161,3</b>	81	27	53	3,3
	<b>4</b>	8,8	5	23	4		2	26	6	11,25	<b>85,3</b>	<b>145,3</b>	65	20	60	2,5
	<b>5</b>	7	5	18	4		2	21	6	9	<b>71,6</b>	<b>135,6</b>	56	16	64	2

при пассивной системе заполнения пауз

		$T_{voc}$	$T_{mux}$	$T_{mod}$	$T_{plc}$	$T_{line}$	$T_{plc}$	$T_{demod}$	$T_{demux}$	$T_{voc}$	Sum min	Sum max	Trakt	Voc	Buffer	V / 1 ch, kB/s
<b>t, ms</b>		35	5	90	4		2	103	6	45						
<b>VAD</b>	<b>2</b>	18	5	90	4		2	103	6	22,5	<b>250,0</b>	<b>250,0</b>				<b>9,8</b>
<b>N</b>	<b>1</b>	18	5	90	4		2	103	6	22,5	<b>250,0</b>	<b>250,0</b>	210	40		9,8
	<b>2</b>	8,8	5	45	4		2	52	6	11,25	<b>133,5</b>	<b>153,5</b>	114	20	20	4,9
	<b>3</b>	5,8	5	30	4		2	34	6	7,5	<b>94,7</b>	<b>121,3</b>	81	13	27	3,3
	<b>4</b>	4,4	5	23	4		2	26	6	5,625	<b>75,3</b>	<b>105,3</b>	65	10	30	2,5
	<b>5</b>	3,5	5	18	4		2	21	6	4,5	<b>63,6</b>	<b>95,6</b>	56	8	32	2

при активной системе заполнения пауз.

Из полученных данных видно, что:

- При пассивной системе VAD только 4 параллельно включенных ВЧ канала могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс. Величина буфера, компенсирующего джиттер, должна быть не менее 60 мс.
- При активной системе VAD 3 параллельно включенных ВЧ канала могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс. Величина буфера, компенсирующего джиттер, должна быть не менее 27 мс.
- При пассивной системе VAD только 11 параллельно включенных ВЧ каналов могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс при двух пролетном цифровом ВЧ канале (1 пункт регенерации). Величина буфера, компенсирующего джиттер, должна быть не менее 73 мс.
- При активной системе VAD 5-6 параллельно включенных ВЧ канала могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс при двух пролетном цифровом ВЧ канале (1 пункт регенерации). Величина буфера, компенсирующего джиттер, должна быть не менее 33 мс.
- При активной системе VAD 10 и 19 параллельно включенных ВЧ канала могут обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс при трех и четырех пролетном цифровом ВЧ канале (2 и 3 пункта регенерации). Величина буфера, компенсирующего джиттер, должна быть не менее 38 мс.

С точки зрения запаса по перекрываемому затуханию данное решение значительно уступает первым двум:

	PER, дБм	S-value	Pline, дБм	SN треб.	ProcesNoise reduce	SN прм.	Перекрываемое затухание		
							110 кВ	220 кВ	500 кВ
3 PLC	46	9,9	26,1	20,8	0	20,8	38,0	26,6	15,6
4 PLC	46	13,2	23,6	20,8	0	20,8	35,5	24,1	13,1

Причем, для канала V.34 учитывался пик-фактор шума короны.

Обобщая сказанное, можно сделать следующие выводы:

- Одноканальные цифровые ВЧ тракты не пригодны для построения ВЧ сетей из-за больших задержек распространения (до 350 мс на участок)
- Многоканальные цифровые ВЧ тракты позволяют обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс, но имеют ограниченные энергетические возможности
- Широкополосные цифровые ВЧ тракты (модуляция в полосе 12 ... 16 кГц) позволяют обеспечить нормированное время задержки передачи сигнала телефонии 150 мс, но уступают многоканальным трактам с точки зрения устойчивости к временным неоднородностям канала
- Шумоподобные цифровые ВЧ тракты требуют тщательного исследования, но, по крайней мере, с точки зрения энергетики больших преимуществ перед традиционными трактами ждать не следует

- Построение цифровой ВЧ сети возможно только при полной совместимости оборудования (вокодеров) различных производителей, иначе вместо внятной речи получим «хрюканье». Соответствие вокодеров одним и тем же международным стандартам еще ни о чем не говорит
- Построение цифровой ВЧ сети возможно только при полной совместимости сетевых протоколов различных производителей, иначе придется придумывать устройства стыковки протоколов
- Для однородной цифровой ВЧ сети скорость передачи определяется наихудшим из ее участков и, вряд ли, превысит 9.6 кБит/с
- Построение цифровой ВЧ сети возможно только при уменьшении времени установления соединения с 7 ... 15 сек до менее 1 сек, когда каждый пробой изоляции, или другая мощная помеха, или коммутация на ВЛ, или еще что-то вызывает долговременное отключение каналов
- Построение цифровой ВЧ сети возможно только при решении проблемы синхронизации, когда один вышедший из строя тракт не будет влиять на другие (не вызовет лавину переустановки соединений)

Но все же допустим, что в пределах сетевого предприятия создается цифровая ВЧ сеть. Она связывается с другой такой же сетью по волокну, и таким образом строится сеть АО, и т.д., хоть сеть всей России. Пусть даже решены все проблемы совместимости оборудования различных производителей. Но: сколько это будет стоить, сколько времени займет, сколько времени уйдет на воспитание специалистов для обслуживания такой сети, кто ей будет управлять? и т.п.

К вопросу о стоимости... Во времена социализма энергетики тратили на развитие/поддержание ведомственной сети связи 100 ... 150 млн. долл./год. Сейчас тратится 25, будет – 60 млн. долл./год. По «Концепции развития...» до 2015 г. на «Оптику» должно быть израсходовано порядка 1.2 млрд. долл., то есть примерно 80 млн. долл./год. Причем, в эти деньги не входит стоимость сетеобразующего оборудования (коммутаторы, мультиплексоры и т.д.). Не входит и стоимость АТС. А еще надо развивать радиорелейную и транкинговую связь (не дешевую ТЕТРА), спутниковую связь и т.д. Так на какие деньги будет поддерживаться, а тем более модернизироваться и развиваться сеть ВЧ связи?