

В.М. Виноградов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕДУР ПРОТОКОЛА X.25/2 ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СОВРЕМЕННЫХ СЕТЯХ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ НАУК О ЗЕМЛЕ

V.M. Vinogradov

THE USAGE OF X.25/2 PROTOCOL PROCEDURES TO INCREASE SPEED AND RELIABILITY OF DATA TRANSMISSION PROCESS IN MODERN NETWORKS OF OBSERVATION STATIONS IN EARTH SCIENCES

В данной статье обосновывается возможность использования процедур X.25/2 для повышения скорости и достоверности процесса передачи данных по каналам низкого качества в условиях отсутствия каких-либо аппаратных и программных средств его улучшения. Даются общие рекомендации использования этой технологии для повышения качества сбора и анализа данных в распределенных информационных системах, использующих измерительные станции и пункты мониторинга состояния окружающей среды.

Ключевые слова: сбор данных, качество канала связи, процедуры передачи данных, достоверность передачи данных, стек протоколов

In this article the possibility of using the X.25/2 procedures is justified for increasing speed and reliability of data transfer process through the channels of low quality in the absence of any hardware and software to improve it. The basic recommendations are given for use of this technology to improve quality of data collection and analysis in distributed information systems, which use measuring stations and centers of environmental monitoring.

Keywords: data collection, data transmission channel quality, data transmission procedures, data transmission validity, protocol stack

Известно, что наблюдения являются одним из важнейших составляющих любой современной науки о земле. Каждая из них – гидрология, экология, океанология, метеорология, геология получает необходимые данные для исследований и решения текущих задач через специализированную сеть наблюдательных станций. Специфика накопления статистики предполагает размещение большого количества наблюдательных станций и постов на обширной территории.

Такая наблюдательная система (или сеть) иерархически упорядочена, и в общем случае состоит из наблюдательных постов и станций, как обслуживаемых людьми, так и полностью автономных, с которых непосредственно получают информацию о состоянии среды посредством организованной системы наблюдений и измерений, и центров обработки, куда стекается полученные данные. В нашей стране центры обработки данных чаще всего размещаются в областных и районных центрах. Кроме того, система наблюдений часто объединяет в себе и базу данных. Центры обработки систематизируют данные и используют их в различных целях. Например, по данным, полученным с метеостанций, делаются прогнозы погоды.

Одним из ярких примеров такой системы является Единая система информации о Мировом океане (ЕСИМО). В нее, помимо наблюдательной сети, входит также и базы данных, в которых хранится статистика многолетних наблюдений и результаты исследований.

Современный этап развития технологий сборки, доставки и анализа данных в наблюдательных сетях наук о земле характеризуется повышением точности и оперативности измерений, связанными с совершенствованием измерительных методик и оборудования, значительным увеличением получаемых и анализируемых объемов информации и ростом количества и плотности измерительных станций. Все эти тенденции являются прямым следствием повышения требований к достоверности прогнозов с использованием этой информации. В нашей стране эти тенденции выражены особенно ярко после периода застоя, длившегося с 1991 г. [gis-lab.info].

Однако развитие наблюдательных сетей наук о земле в России имеет свои проблемы. Данные наблюдений с постов и станций передаются в центры обработки различными способами. Чаще всего связь организуется посредством кабельных линий или по радио, менее популярна спутниковая связь. Как правило, используются уже существующие каналы имеющихся телекоммуникационных систем (ТКС). Разные линии связи обеспечивают неодинаковую достоверность доставки информации.

Самой дешевой, популярной и доступной в любом уголке России линией связи были и остаются обычные телефонные линии (в некоторых местах - ТЧ-каналы). Значительная часть парка государственной телефонной сети общего пользования (ТфОП) сильно изношена, что снижает и без того не блестящие характеристики с точки зрения передачи данных (ПД).

В труднодоступных районах в условиях отсутствия телефонных линий, ввиду нецелесообразности или невозможности их прокладки, используются еще более плохие по своему качеству радиоканалы, преимущественно коротковолнового диапазона – (КВ-каналы). Скорость передачи данных по таким каналам существенно ниже, чем по телефонным линиям. В таких случаях передача данных осуществляется через КВ-модем (при его наличии) с корректирующими кодами, повышающий качество канала связи примерно на порядок.

Сегодня для ПД широко используется стек протоколов TCP/IP (сетевой и транспортный уровень эталонной 7-уровневой модели OSI/ISO), что является следствием повсеместного распространения вычислительной техники (в особенности компьютеров) как в конструкции измерительных средств, так и средств анализа со встроенной поддержкой этого протокола. Однако, как показывает практика, использование «голого» протокола TCP/IP (без средств повышения качества канала) в каналах низкого качества неэффективно. Значительный объем «кванта» информации, – блока TCP/IP - становится ненужной роскошью. А большой объем служебной информации в заголовке увеличивает вероятность её искажения. Итогом является невозможность передачи информации посредством TCP/IP по таким каналам без применения специальных средств. Складывается парадоксальная ситуация – канал есть, но передать по нему что-либо практически невозможно. Часто осложняет ситуацию и то, что современные импортные измерительные комплексы просто не рассчитаны на работу с такими каналами. Качество каналов в Западной Европе и Америке на порядок-два

превосходит отечественные. По подсчетам специалистов только в ТфОП России лишь чуть больше 10% нового современного каналообразующего оборудования [Зубовский, 1997], так что улучшения качества наших каналов связи в ближайшем будущем ожидать не приходится.

Наиболее очевидным выходом из данной ситуации, при использовании для ПД стека протоколов ТСП/IP, может быть дополнительное использование средств повышения качества канала. Но реализация алгоритмов в такой аппаратуре осуществляется на аппаратном уровне, что делает такие устройства довольно дорогими.

Ещё одним способом повышения качества ПД представляется использование протокола, обладающего меньшей избыточностью.

Одним из известных и хорошо проработанных протоколов ПД является протокол X.25/2. Анализ процедур протоколов, использующих методы восстановления информационного потока (X.25/2 и ТСП/IP) **показал схожесть их алгоритма восстановления**. И для ТСП, и для X.25 можно выделить несколько аналогичных состояний, образованных всевозможными сочетаниями двух независимых процессов: передающего («Передача» (П), «Временная выдержка» (В), «Приостанов» (Пр)) и приемного («Прием» (Пм), «Блокировка» (Б), «Занято» (З)) [Давыдов, 1990а].

Состояние П передающего процесса процедуры X.25 **характеризуется либо передачей** блоков с «новой» информацией от источника, либо повторной передачей «старых» блоков с вероятностью либо готовностью передачи при отсутствии входного потока. [Давыдов, 1990а] В ТСП аналогом выступает подсостояние основного состояния ESTABLISHED, когда ТСП ведет обмен данными через соединение [Малых, 1981б].

Состояние В передающего процесса процедуры X.25 **характеризуется действиями** по устранению неопределенности, возникшей в результате неприема команды подтверждения или команды запроса информационного блока в течение некоторого времени (тайм-аут T_1). В этом состоянии передача информационных блоков не производится. Оно возникает в результате воздействия ошибок на блоки в канале связи [Давыдов, 1990а]. Одно из подсостояний основного состояния ESTABLISHED ТСП предусматривает аналогичные процедуры по устранению неопределенности и вызывается такими же причинами [Малых, 1981б].

Состояние Пр передающего процесса процедуры X.25 и его аналог - подсостояние состояния ESTABLISHED для ТСП **характеризуются также отсутствием передачи** информационных блоков в результате приема блока остановки передачи. Пр возникает в результате дефицита памяти на удаленной станции звена ПД [Давыдов, 1990а; Малых, 1981б].

Состояние Пм приемного процесса характеризуется действиями по обработке и выдаче информационной области принятого без ошибок из канала связи блока получателю либо готовности к такой выдаче при отсутствии входного потока на удаленной станции [Давыдов, 1990а]. Одно из подсостояний ESTABLISHED предусматривает такие действия [Малых, 1981б].

Состояние Б приемного процесса процедуры характеризуется действиями по инициации повторения информационных блоков, принятых с ошибками. В состоянии Б выдача получателю информационных областей других правильно принятых блоков не разрешается. Следует отметить, что факт приема информационного блока с ошибками определяется в результате приема без ошибок информационного блока

с номером, не равным ожидаемому [Давыдов, 1990а]. В случае односторонней передачи, приемный ТСР в состоянии ESTABLISHED также посылает служебный блок передающему ТСР, инициирующий повторную передачу [Малых, 1981б].

Состояние 3 характеризуется также запретом выдачи информационной области блока, принятого без ошибок, в результате внутренних ограничений на станции (например, при дефиците памяти). [Давыдов, 1990а] При дефиците памяти на приемной стороне передающий ТСР тоже останавливает передачу и повторяет ее периодически через определенное время. Дефицит памяти на передающей стороне блокирует передачу с помощью ТСР/IP полностью [Малых, 1981б].

Исходя из идентичности состояний для процедур X.25 и ТСР/IP можно сделать вывод о применимости в отношении последнего выражений для относительной эффективной скорости процедур синхронного протокола, основанных на математической модели процедур протокола X.25.

С целью выявления возможностей осуществления ПД на каналах низкого качества с помощью процедур X.25/2 (далее X.25) канального уровня и ТСР/IP (далее ТСР/IP) сетевого и транспортного уровня модели OSI проведем оценку эффективности процесса ПД.

Достоверность информации является одной из важнейших характеристик, определяющих качество информационного обмена по данному каналу. Для её оценки чаще всего используется коэффициент ошибок по единичным элементам (кодовым комбинациям). Однако его применение целесообразно лишь на каналах с распределением ошибок, близким к независимому. В то же время, анализ распределения ошибок в каналах показывает наличие группирования ошибок, что является следствием взаимосвязи искажений отдельных элементов. Поэтому использование только коэффициента ошибок по единичным элементам ведет к значительным ошибкам контроля [Морозов, 1977]. С целью учета группирования ошибок в канале связи воспользуемся моделью, предложенной Пуртовым [Пуртов, 1972], в которой наряду с вероятностью ошибки $P_{\text{ош}}$ на бит введен коэффициент группирования ошибок α . Чем качественнее канал, тем меньше $P_{\text{ош}}$; при $\alpha=0$ распределение ошибок случайно, при $\alpha=1$ всегда наблюдается несколько следующих друг за другом искаженных бит (пакетные ошибки).

Для оценки эффективности передачи информации будем использовать понятие относительной эффективной скорости передачи. Под *относительной эффективной скоростью* понимается отношение средней скорости выдачи информации потребителю (эффективная скорость) к скорости передачи данных по каналу [Малых, 1981а]. Относительная эффективная скорость определяет отношение количества бит, принятых от источника данных и переданных получателю данных, к общему количеству бит, потребовавшихся для успешной передачи (включая и повторные передачи).

Как протокол ТСР/IP, так и X.25 передает информацию в канал блоками (сегментами) разной длины. С целью обнаружения ошибок используются циклические коды, обнаруживающие хотя бы одну ошибку в блоке. Осуществляется повторение блоков с обнаруженными ошибками, тем самым сохраняется достоверность передаваемой информации [Малых, 1981б].

Вероятность обнаружения ошибки $P_{\text{оо}}$ в блоке (кадре) длиной \bar{V} в канале связи с вероятностью ошибки $P_{\text{ош}}$ на бит и коэффициентом группирования α согласно модели Пуртова определяется из выражения:

$$P_{oo} = \begin{cases} P_{ош} \overline{V^{1-\alpha}}, P_{ош} \overline{V^{1-\alpha}} < 1, \\ \rightarrow 1, P_{ош} \overline{V^{1-\alpha}} \geq 1. \end{cases}$$

При повторении искаженных блоков увеличивается задержка передачи или, что то же самое, снижается эффективная скорость.

Определены следующее выражение для относительной эффективной скорости для процедур синхронного протокола, основанное на математической модели процедур протокола X.25 [Давыдов, 1990а, с.38]:

$$R_K = \frac{K_H P_{II} (\lambda_3)}{(KO+1)(1-P_{oo})^2 - KO} + K_H (1-P_{oo})(1-P_{II}) P_{II} (\lambda_3),$$

где $P_{II} = \frac{P_{обс}}{1 + \eta_{II} P_{обс}}$ - вероятность передачи новых кадров в состоянии «Передача» (II) [Давыдов, 1990в, с.64];

$P_{II} = \frac{P_{обс}}{1 + \eta_{II} P_{обс}}$ - вероятностью приема кадра без ошибки в состоянии «Приём» (IIМ),

KO – количество блоков данных, повторяемых по сигналу запроса;

K_H – коэффициент избыточности.

В свою очередь, коэффициенты η_{II} и $\eta_{II}М$:

$$\eta_{II} = \frac{P_{oo} e^{-\lambda(T_1-t_u)}}{(1-P_{оок})(1-P_{оок}^K)}; \quad \eta_{II}М = \frac{P_{oo} (1-P_{oo}) [1 - e^{-\lambda(T_1-t_u)}]}{1 - (P_{oo} + P_{оок} - P_{oo} P_{оок})^K},$$

где λ_3 – интенсивность входного потока пакетов;

$P_{оок}$ – вероятность искажения супервизорного блока;

t_u – время распространения сигнала по кабелю, в худшем случае $\approx 0,6$ сек.

$$K = \frac{T_1}{T_2},$$

где T_1 – тайм-аут ожидания ответа;

T_2 – тайм-аут допустимого перерыва в процессе передачи данных.

Вероятность обслуживания входящего блока $P_{обс}$:

$$P_{обс} = \frac{(1-\rho)\rho^{m+1}}{1-\rho^{m+2}},$$

где m – количество мест в очереди ожидания обработки блока (СМО типа M|M|1|m) [Давыдов, 1990б];

$\rho = \lambda_3 / \mu$ - интенсивность обслуживания;

$$\mu = \frac{\bar{V}}{C},$$

где C — скорость передачи информации по каналу связи, входящему в состав звена передачи данных.

Коэффициент $K_{и}$ в выражении для R_k определяет степень снижения эффективности передачи за счет избыточности, формируемой в блоке (служебная информация протокола или заголовок блока). Для процедуры X.25 эта избыточность составляет 64 бита, поэтому:

$$K_{и} = 1 - \frac{64}{\bar{V}}.$$

Для процедуры TCP/IP эта избыточность в среднем будет равна длине заголовка IP плюс заголовок TCP - 320 бит [Малых, 1990а; Малых, 1990б]. Кроме того, избыточность передачи увеличивается в среднем на 112 бит при использовании на канальном уровне протоколов PPP или Ethernet. Таким образом, $K_{и}$ окончательно определяется выражением:

$$K_{и} = 1 - \frac{432}{\bar{V}}.$$

Примем следующие упрощения:

- 1) данный канал связи полностью характеризуется величинами $P_{ош}$ на бит и α и однороден по свойствам по всей длине;
- 2) средняя длина пакета варьируется $V=0..10000$ бит (от 0 до ≈ 1500 байт);
- 3) количество блоков, повторяемых по сигналу запроса для обоих протоколов $KO=7$;
- 4) скорость ПД по данному каналу $C=9600$ бит/с;
- 5) минимальный размер буфера как у передатчика, так и у приемника $K3=3$;
- 6) $K = T_2 / T_1 = 3$;
- 7) максимальный размер заголовка блока для X.25 составляет 64 бита, для TCP/IP - 432 бита;
- 8) $m=1$.

Выберем такую интенсивность входного потока пакетов λ_3 , при которой вероятность ожидания передачи блоков при отсутствии потока пакетов $P_o \rightarrow 0$. В этом случае в среднем канал связи будет загружен полностью, тогда:

$$\lambda_3 = \frac{C}{\bar{V}},$$

где \bar{V} —средняя длина пакета (блока), бит.

Графики зависимости относительной эффективной скорости от средней длины блока при различной вероятности ошибки в канале связи и коэффициенте группирования приведены на рисунках.

Условные обозначения:

-  X.25 · график для процедуры X.25
-  TCP/IP · график для процедуры TCP/IP

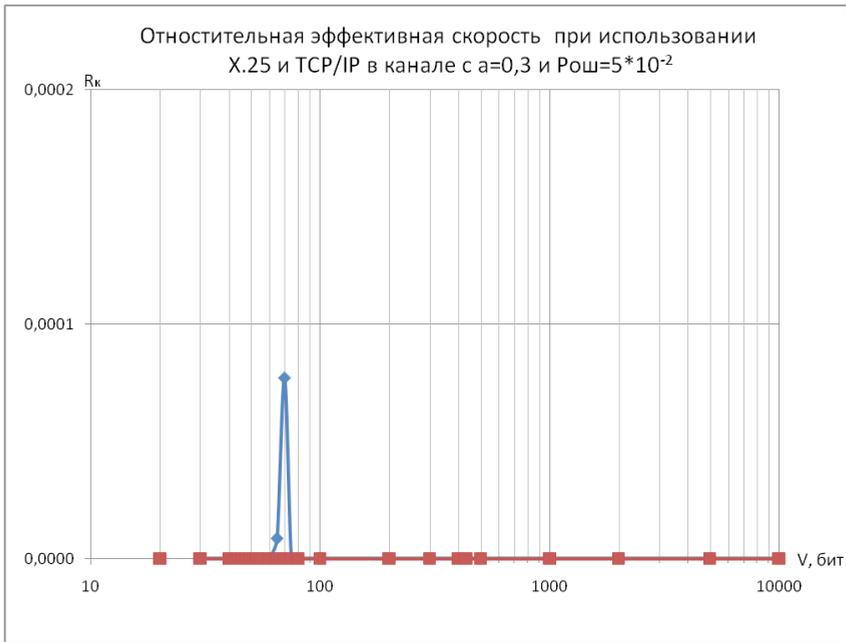


Рис.1. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,3$ и $Roш=5 \cdot 10^{-2}$



Рис.2. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,3$ и $Roш=10^{-2}$

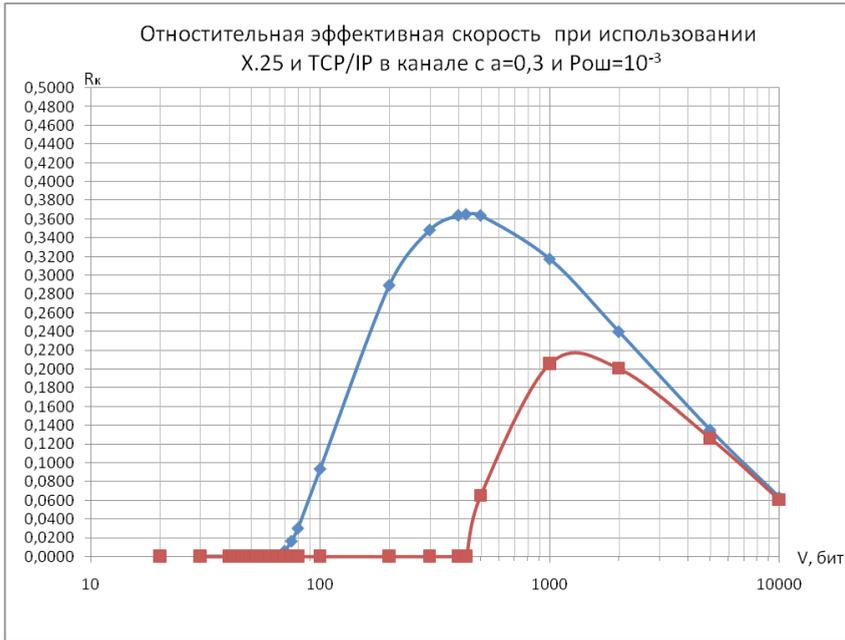


Рис.3. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,3$ и $Roш=10^{-3}$

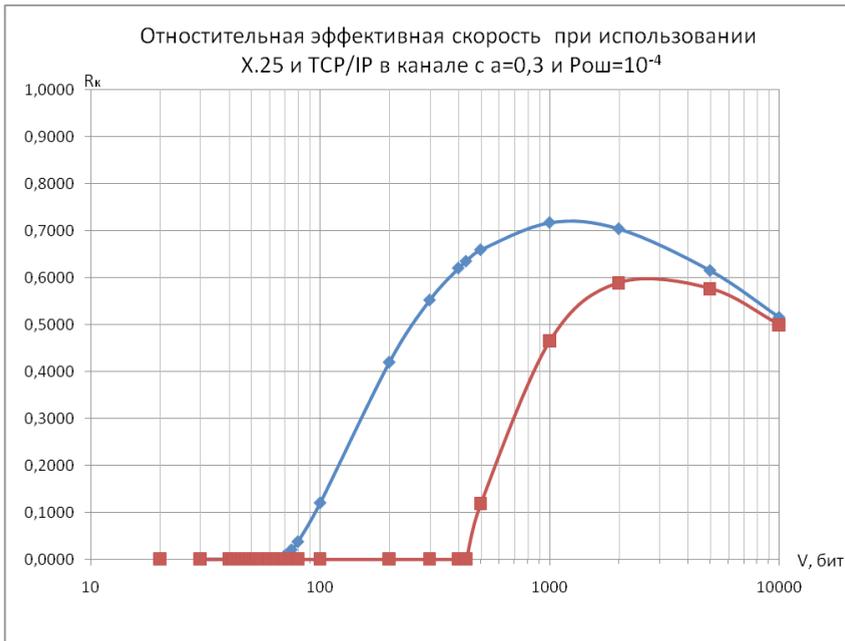


Рис.4. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,3$ и $Roш=10^{-4}$

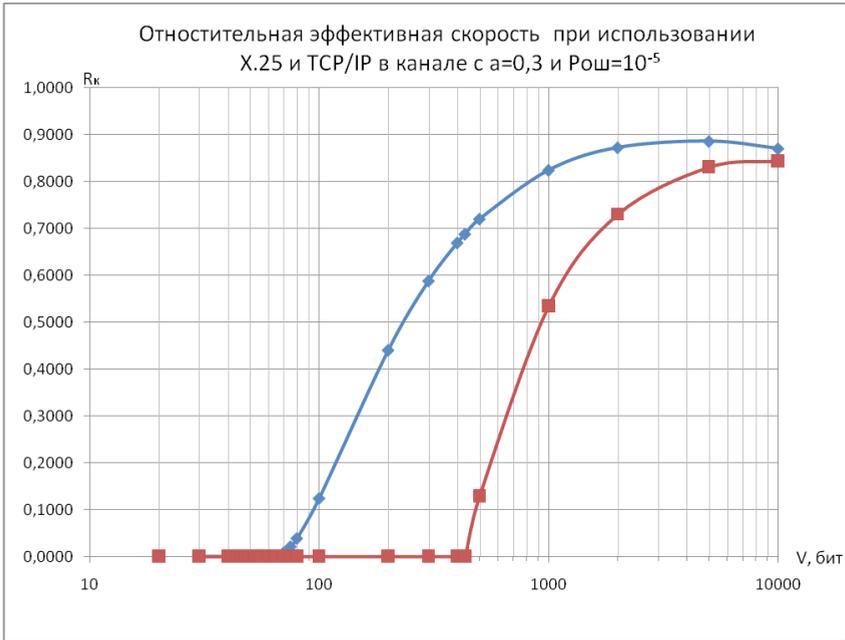


Рис.5. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,3$ и $Roш=10^{-5}$

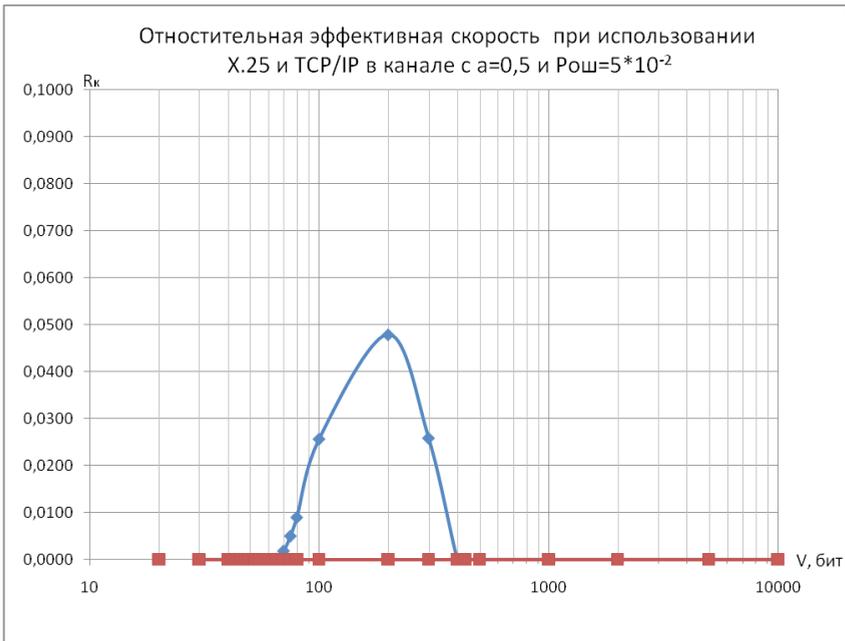


Рис.6. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,5$ и $Roш=5 \cdot 10^{-2}$

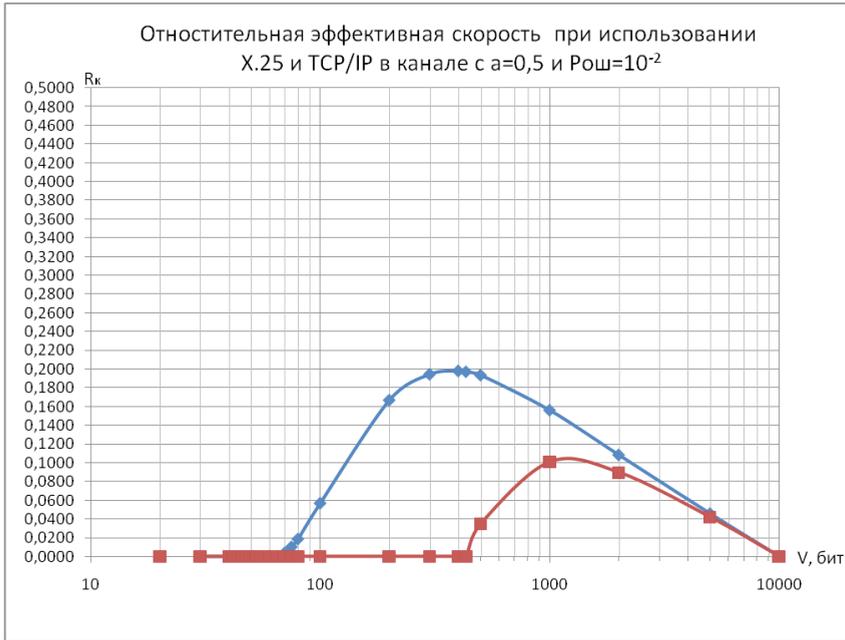


Рис.7. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,5$ и $\text{Рош}=10^{-2}$

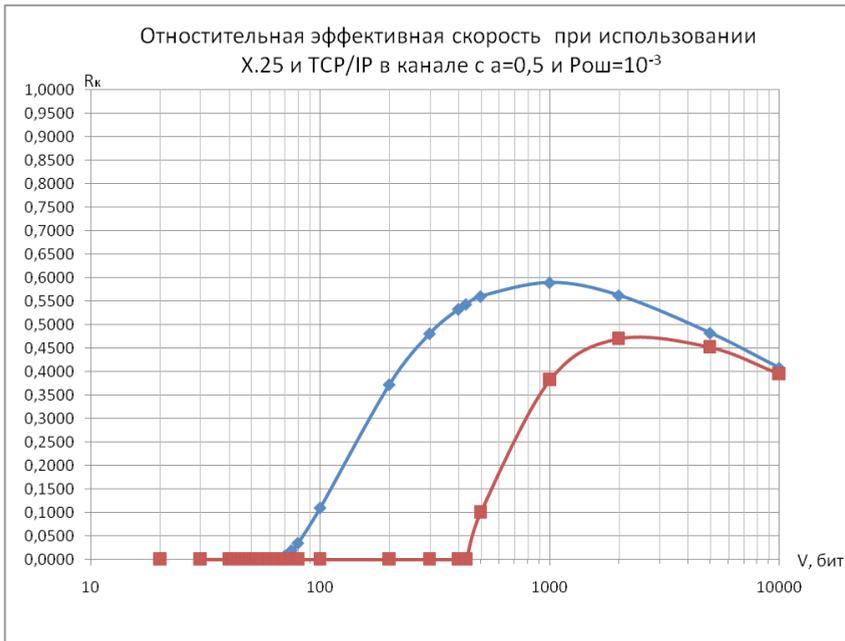


Рис.8. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,5$ и $\text{Рош}=10^{-3}$

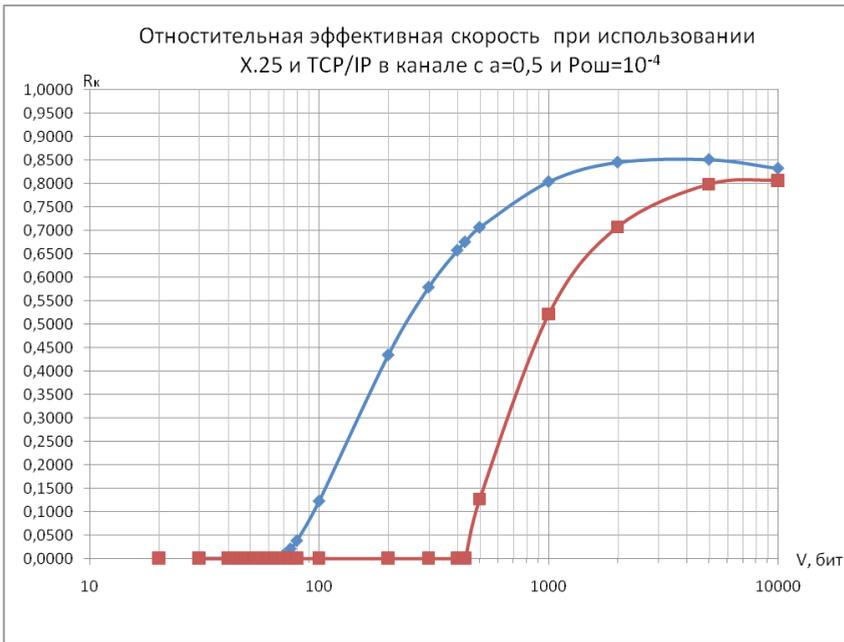


Рис.9. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,5$ и $Roш=10^{-4}$

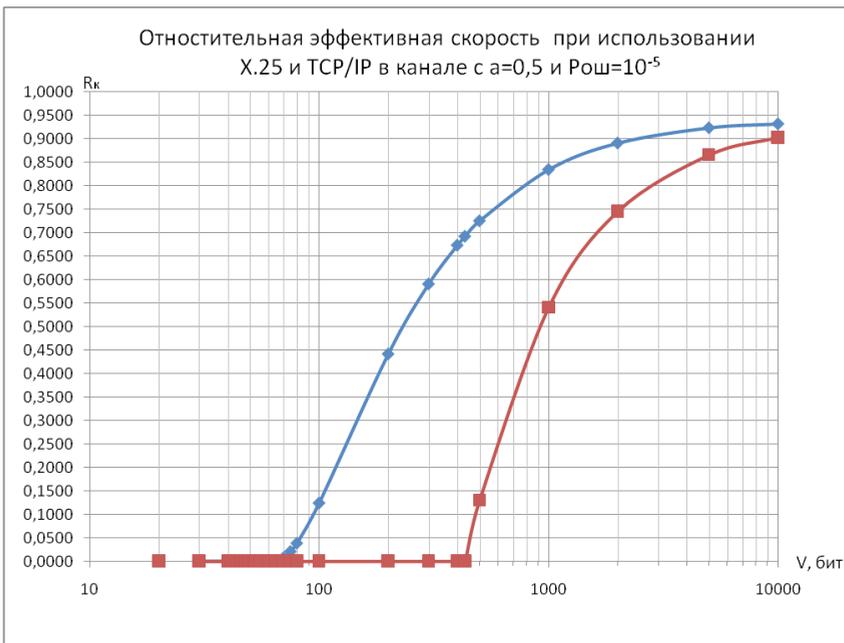


Рис.10. Относительная эффективная скорость в каналах с $\alpha=0,5$ и $Roш=10^{-5}$

Анализ графиков показывает, что зависимость относительной эффективной скорости R_k от длины блока данных V представляет собой куполообразную форму, имеющую выраженный максимум. Качественно такую форму зависимости R_k от V можно пояснить следующим образом. Эффективность передачи определяется двумя основными факторами: наличием в блоке служебной информации и поражением блоков ошибками, приводящим к повторной передаче. В случае первого фактора, чем больше длина блока, тем эффективнее передача (т.к. меньше доля служебной информации в блоке). Для второго фактора — с увеличением длины блока увеличивается вероятность ошибки в нем (и, следовательно, вероятность повторной передачи), что приводит к снижению эффективности передачи. В диапазоне малых длин блока эффективность передачи снижается за счет первого фактора, в диапазоне больших — за счет второго фактора.

Максимум графика определяет некоторую оптимальную длину блока протокола, обеспечивающую наивысшую эффективность и наилучшую достоверность передачи информации в данном канале связи.

Анализ графиков также показывает, что:

- чем ниже качество канала связи, тем меньше максимальная эффективность передачи;
- чем ниже качество канала связи, тем меньше оптимальная длина блока и тем меньше диапазон длин блоков, при которой может быть вообще осуществлена передача какой-либо информации;
- чем больше коэффициент группирования ошибок α при одной и той же вероятности ошибки в канале связи, тем выше эффективность передачи и больше оптимальная длина блока.

Для каналов с вероятностью ошибки $P_{\text{ош}} = 5 \cdot 10^{-2}$ и коэффициентом группирования ошибок $\alpha = 0,3$ вероятность успешной передачи при использовании процедуры X.25 практически равна нулю (рис. 1). При той же вероятности ошибки и $\alpha = 0,5$ относительная эффективность процедуры X.25 значительно увеличивается (рис. 6), но все еще очень мала. Это объясняется тем, что оптимальная длина блока (кадра) при таких условиях почти равна минимальной длине его заголовка — 3 байта и передача даже заголовка блока процедуры X.25 становится невозможной.

Для каналов с $P_{\text{ош}} = 10^{-2}$ и $\alpha = 0,3$ относительная эффективная скорость передачи очень низка и при скорости ПД, равной 9600 бит/с, составляет около 0,09 (860 бит/с), а оптимальная длина блока — чуть больше 25 байт (рис. 2). Более половины длины блока приходится на заголовок.

При той же вероятности ошибки, но $\alpha = 0,5$ эффективность процесса ПД с использованием X.25 увеличивается и составляет уже около 0,2 (1920 бит/с), а оптимальная длина блока достигает 63 байт (рис. 7).

Следует заметить, что передача посредством TCP/IP на каналах такого качества невозможна в принципе. Для любых α , эффективность достоверной передачи для TCP/IP равна нулю (рис. 1, 2 и 6). Это объясняется тем, что в таких каналах ошибками поражаются служебные области почти всех блоков, отправленных в канал, не говоря уже об информации пользователя в таких блоках. Механизм восстановления TCP, использующий повторную передачу искаженных блоков, в таких условиях неэффективен. Очевидно, что при таком качестве канала связи практическое использование для передачи информации процедур стека TCP/IP невозможно.

Только для каналов с $P_{\text{ош}} = 10^{-2}$ и $\alpha = 0,5$ эффективность достоверной передачи при использовании ТСР/IP составляет лишь чуть больше 0,1 при оптимальной длине блока более 125 байт (рис. 7).

Для каналов с $P_{\text{ош}} = 10^{-3}$ в принципе возможно использование для передачи информации с помощью процедур стека ТСР/IP при любом α . Однако эффективная скорость все ещё довольно низкая. X.25 показывает хорошую скорость - в среднем на треть выше (рис. 3, 8).

Только для каналов с вероятностью ошибки $P_{\text{ош}} = 10^{-4}$ и ниже возможно относительно комфортное использование для передачи информации процедур стека ТСР/IP. Эффективная скорость ПД при этом становится выше 0,5. Хотя и здесь процедура протокола X.25 показывает свое преимущество (рис. 4, 5, 9, 10).

На основании приведенных результатов можно сделать вывод о возможности использования процедур X.25 на каналах с вероятностью ошибки на бит не более 10^{-2} и практически при любом коэффициенте группирования ошибок.

Использование процедур X.25 на каналах с вероятностью ошибки больше 10^{-2} теоретически возможно, однако нуждается в дополнительной экспериментальной проверке с использованием соответствующего аппаратного имитатора каналов или непосредственной передачи по таким каналам (КВ-радиоканалы).

Оценка также подтверждает возможность более выгодного использования процедур X.25 по сравнению с ТСР/IP на КВ-каналах с вероятностью ошибки больше 10^{-3} с использованием специальных средств, уменьшающих вероятность ошибок или их коэффициент группирования. Например, КВ-модемов, повышающих качество канала связи с $5 \cdot 10^{-2}$ до 10^{-3} на бит применением кодов, исправляющих ошибки.

Вывод

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о возможности передачи информации по участкам ТКС с каналами связи низкого качества ($P_{\text{ош}} = 10^{-2}$ и $\alpha = 0,3$) путем использования методов инкапсуляции информации пользователя из сегментов IP в блоки X.25/2, и дальнейшей ее передачи в блоках X.25/2 по участку. Размещение таких средств предполагается на границах участков с каналами разного качества (рис. 11).

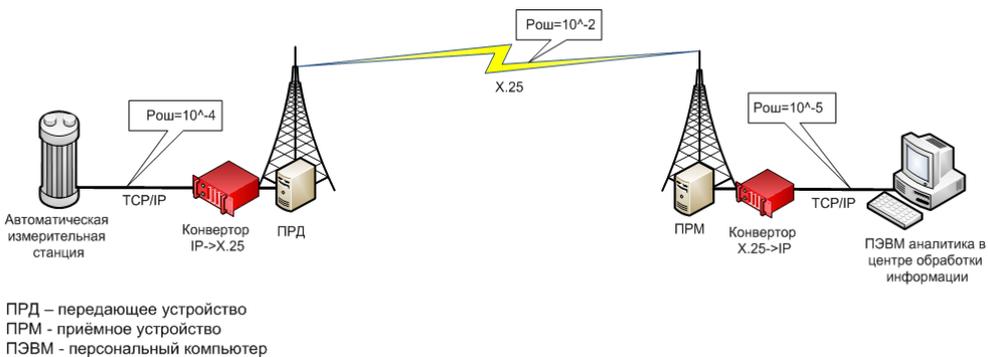


Рис. 11. Пример размещения средств инкапсуляции ТСР/IP в X.25

Использование протоколов стека ТСР/IP для ПД без дополнительной инкапсуляции возможно только на каналах с $P_{\text{ош}}$ менее 10^{-3} , и путем настройки длины протокольного блока в соответствии с качеством имеющегося канала передачи. Этот путь представляется более экономичным. К сожалению, как показывает вышеприведенная оценка, этот путь не годится для каналов с $P_{\text{ош}}$ более 10^{-3} , т.к. по ним передача посредством ТСР/IP невозможна в принципе.

Предлагаемая технология передачи информации по участкам ТКС с каналами связи низкого качества может быть использована для повышения качества сбора информации, и для повышения достоверности их передачи как в государственных сетях наблюдательных станций (например, метеорологических, океанологических, геологических), так и в распределенных информационных системах государственных структур (например, МЧС). Достоинством технологии является возможность использования для передачи информации практически любых имеющихся на месте каналов связи, за счет чего технология позволяет увеличить число используемых измерительных станций и, следовательно, повысить достоверность прогноза.

Литература:

1. *Гуров В.С., Емельянов Г.А., Етрухин Н.Н., Осипов В.Г.* Передача дискретной информации и телеграфия - М.: Связь, 1974. — 526 с.
2. *Давыдов Б.М.* Математическая модель процедуры уровня звена данных // Техника средств связи, сер. ТПС, 1990, №1, с 36 – 47.
3. *Давыдов Б.М.* Математическая модель процедур сетевого уровня центра коммутации пакетов // Техника средств связи, сер. ТПС, 1990, №1, с 49 – 60.
4. *Давыдов Б.М.* Анализ временных характеристик процедуры уровня звена данных, // Техника средств связи, сер. ТПС, 1990, №1, с 61 – 68.
5. *Зубовский Л.И., Пасковатый А.О.* Нормирование и система измерений качества коммутируемых телефонных каналов, 1997, <http://greenobl.analytic.ru/library/arxiv/>
6. *Малых Н.* Перевод спецификации стандарта Министерства обороны США для протокола IP (RFC-791), 1981. — 16 с.
7. *Малых Н.* Перевод стандарта Министерства обороны США для протокола управления передачей ТСР (RFC-793), 1981. — 33 с.
8. *Морозов В.Г.* и др. Метод и средства натурно-машинного исследования характеристик каналов передачи данных // РИПОРТ, Деп. рук. №3-5014, 1977, №6.
9. *Пуртов Л.И.* и др. Элементы теории передачи дискретной информации. - М.: Связь, 1972. — 232 с.
10. Российская сеть метеостанций и их отчетность, gis-lab.info