

сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

5309 / 2-80

3/41-80

13-80-489

А.П.Крячко, Као Дак Хьен

ДОСТОВЕРНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ  
В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ  
НА ЛИНИИ С ЭВМ

1980

Крячко А.П., Као Дак Хьен

13-80-489

Достоверность передачи данных в физических экспериментах на линии с ЭВМ

Приводятся определения параметров, характеризующих достоверность передачи данных, и показана их связь с отношением сигнал/шум и индикаторной диаграммой, называемой также глаз-диаграммой. Рассмотрены вопросы точности и сделана оценка необходимого времени измерений. Приводятся сведения по обработке результатов измерений. Дается обоснование допустимых значений коэффициента ошибок для физических экспериментов на линии с ЭВМ; представлена структура информации таких экспериментов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Kryjachko A.P., Cao Dac Hien

13-80-489

The Data Transmission Reliability in On-Line Physics Experiments

Definitions of parameters characterizing the reliability of the data transmission are given. Their rela-

## 1. СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. ИХ КАЧЕСТВО

Согласно определению Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии /МККТТ/ "передача данных - это область электросвязи, целью которой является передача информации для обработки ее машиной или уже обработанной ею" <sup>1,2/</sup>. В непрерывных /аналоговых/ системах передачи данных передаваемые сигналы являются непрерывными функциями дискретных сообщений. В цифровых системах сигналы являются дискретными как по времени, так и по амплитуде <sup>1,3,4/</sup>.

В телеграфии и телефонии передаваемые сообщения обладают большой внутренней избыточностью. Поэтому если они подвергаются искажениям, то в большинстве случаев могут быть восстановлены получателем по смыслу. В системах передачи данных информация обычно не имеет логического смысла, и если она не закодирована избыточным кодом, то приемное устройство и получатель не смогут отличить правильный код от искаженного. В то же время даже редкие ошибки, возникающие при передаче, могут обесценить результаты вычислений или привести к искажению управляющих команд, направляемых к исполнительным устройствам <sup>1,5,6/</sup>. Поэтому достоверность передачи является одной из важнейших характеристик качества таких систем.

Качество систем передачи данных характеризуется также надежностью. Причем отказом здесь следует считать не только невозможность осуществления функции передачи и приема, но также и случай, когда информация передается с недостаточной достоверностью <sup>1/</sup>. Коэффициент ошибок в системах передачи данных находится в пределах  $10^{-6} - 10^{-12}$  <sup>1,2,5,7,8/</sup>.

## 2. ПОМЕХИ

Термины "помехи" и "шумы" в данной работе являются синонимами. Помехой называется стороннее возмущение, действующее в системе передачи и препятствующее правильному приему сигналов <sup>9/</sup>. По месту образования помехи можно разделить на внутреннее, обусловленные различного рода флуктуациями, и внешние: взаимные влияния в многопарных кабелях, импульсные помехи различного происхождения <sup>2,3,7,9-12,14/</sup>. По характеру воздействия на передаваемый сигнал различают аддитивные и

и мультипликативные помехи <sup>/9,14/</sup>. Помехи и сигналы обычно считают статистически независимыми или некоррелированными. Иногда помехи не только коррелированы с сигналами, но и полностью ими обусловлены. В этом случае говорят об искажениях. Искажение - всякое детерминированное преобразование сигнала, известное по теоретическим или экспериментальным данным. Искажения, в отличие от аддитивных помех, имеют место только при наличии сигнала. Искажение сигнала и наложение статистических помех - два крайних случая. Возможны аддитивные помехи, коррелированные с сигналами <sup>/9/</sup>.

Параметрами, характеризующими случайные шумы, являются закон вероятностного распределения амплитуд и частотная или временная зависимости. Задание последних исчерпывающим образом определяет гауссов процесс; во многих случаях этого достаточно и для процессов с распределением, отличным от нормального <sup>/2,3,9,12/</sup>. Распределение вероятности дает относительное время пребывания напряжения шума в определенном интервале уровней <sup>/3/</sup>.

Частотная зависимость дается спектральными плотностями мощности  $G(\omega)$  или  $A(f) : A(f) = 2\pi G(\omega)$ . Спектральную плотность мощности часто называют энергетическим спектром <sup>/9,13,14/</sup>, который может быть измерен или найден аналитически, если известен механизм образования случайного процесса <sup>/3,11,14/</sup>. В работе <sup>/13/</sup> отмечается, что определение спектра через функцию корреляции более экономно с точки зрения требуемых измерительных и вычислительных операций, чем прямое измерение спектра.

Функция автокорреляции характеризует временную зависимость шумового сигнала между его значениями в любые два момента времени. Функция автокорреляции и спектральная плотность мощности связаны между собой преобразованием Фурье <sup>/9,10,13,14/</sup>.

Определение статистических характеристик  $\sigma$  и  $\sigma^2$  для нормального распределения выполняется на основе их известных зависимостей от спектральной плотности мощности или функции автокорреляции <sup>/9,12-14/</sup>. Гауссовым распределением характеризуются тепловой, дробовой и низкочастотный шумы. Однако их спектральные и корреляционные функции различны. Эти флуктуационные шумы обусловлены в конечном счете дискретной структурой строения вещества <sup>/3,11,14/</sup>.

Спектральные плотности мощности теплового и дробового шума практически не зависят от частоты. Шум, имеющий равномерный по частоте спектр, называют белым. Поэтому действующее значение напряжения белого шума при нормальном распределении и средняя мощность не зависят от частоты. Во всей полосе частот при постоянном уровне сигнала будет сохраняться постоянным и отношение сигнал/шум. Нормированная функция автокорреляции  $b(r)$

белого шума равна 1 при  $r = 0$  и 0 - при всех остальных ненулевых значениях  $r$ . Белый шум в силу неограниченности своего спектра мешает на любых частотах <sup>/11/</sup>. Другие виды шумов имеют корреляцию, не равную 0, и, следовательно, ограниченный спектр <sup>/9,10/</sup>. Так, спектральная плотность мощности низкочастотного шума растет с уменьшением частоты. При этом растут действующее значение его напряжения и средняя мощность. Этот шум возникает как в ламповых, так и в полупроводниковых приборах <sup>/3/</sup>.

В работах <sup>/10,15/</sup> показано, что сигнал заданной средней мощности переносит наибольшее количество сведений, если его функция подчинена нормальному распределению. Белый шум, имея такое распределение, является самым вредным. Это обстоятельство, а также распространенность белого шума и простота его математического описания оправдывают его широкое использование при расчетах. При этом расчет будет проведен для наихудшего случая <sup>/10/</sup>.

### 3. ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ШУМ И ВЕРОЯТНОСТЬ ОШИБКИ

В цифровых системах передачи данных как тепловые, так и вызванные взаимным влиянием /большое число пар в кабеле с независимо изменяющимися сигналами/ шумы имеют нормальное распределение со средним значением, равным нулю. Действующее или эффективное значение напряжения такого шума равно среднеквадратичному отклонению  $\sigma$ , а средняя мощность - дисперсии  $\sigma^2/3,9-14,17/$ .

Внешние импульсные помехи могут иметь широкий спектр. Количество возникновений шумовых импульсов практически расходится с пуассоновским распределением и описывается логарифмически нормальным распределением <sup>/32/</sup>. Часто эти помехи действуют одновременно с шумами, вызванными переходными влияниями <sup>/2,3/</sup>.

Ошибки в приеме происходят, если в момент регистрации мгновенное значение напряжения шума превысит допустимую величину. Для двухуровневого сигнала допустимая величина составляет половину его амплитуды  $A/2$ . При этом воздействие напряжения шума стремится изменить уровень сигнала на противоположный. Вероятность этого для помех с нормальным законом распределения амплитуд определяется интегралом вероятностей. Вероятность двустороннего превышения этой величины или порога равна <sup>/2,9/</sup>

$$P_{\text{ош}} = \frac{2}{\sqrt{2\pi} U_{\text{эфф}}} \int_{0,5A/U_{\text{эфф}}}^{\infty} \exp(-u^2/2U_{\text{эфф}}) du. \quad /1/$$

Отсюда видно, что вероятность ошибки зависит от отношения амплитуды сигнала  $A/2$  к эффективному значению напряжения

шума, т.е. от отношения сигнал/шум. Справедливо и обратное утверждение: отношение сигнал/шум является функцией вероятности возникновения ошибки, численно равной коэффициенту ошибок. По заданному коэффициенту ошибок можно рассчитать требуемое отношение сигнал/шум для разных видов шумов и линейных кодов. Результаты таких расчетов могут быть представлены в виде таблиц <sup>/2,15/</sup> или графиков <sup>/3,12,16,17/</sup>. Коэффициент ошибок от совместного действия шумов взаимного влияния и импульсных помех можно считать равным сумме коэффициентов ошибок от каждого шума в отдельности. Тепловые шумы в симметричных кабелях обычно не учитываются <sup>/2/</sup>.

Для двоичного двуполярного сигнала со случайным появлением импульсов различной полярности вероятность ошибок  $10^{-6}$ – $10^{-10}$  обеспечивается величиной отношения пикового сигнала к среднеквадратичному значению гауссова шума в 15–16 дБ. При небольшом увеличении этого отношения /выше 15 дБ/ вероятность ошибки резко уменьшается. Это явление в цифровых системах передачи называется пороговым эффектом <sup>/3,16,17/</sup>.

#### 4. ИНДИКАТОРНАЯ ДИАГРАММА

Величина сигнала /амплитуда/, входящая в отношение сигнал/шум, определяется из идеальной глаз-диаграммы <sup>/2,3,17/</sup>. Другое ее название – индикаторная диаграмма <sup>/4/</sup>. Она представляет собой картину наложения всех возможных импульсных последовательностей на промежутке времени из двух тактовых интервалов в месте приема <sup>/3,21/</sup> и может быть получена при наблюдении на экране осциллографа случайной последовательности импульсов линейного кода, для синхронизации которой используются тактовые импульсы с передающего конца <sup>/17,18/</sup> или выделенные из самой случайной последовательности <sup>/19,20/</sup>.

Передаваемый сигнал после прохождения через систему с ограниченной полосой пропускания растягивается на несколько тактовых интервалов <sup>/21,22/</sup>. После коррекции принятый импульс остается растянутым обычно на 2–3 тактовых интервала <sup>/3,21,22/</sup>. Таким образом, он будет перекрывать соседние тактовые интервалы. Суммарные межсимвольные помехи в данном тактовом интервале складываются из остатков импульсов всех предшествующих и последующих тактовых интервалов <sup>/3/</sup>. Однако можно считать, что каждый принятый импульс принципиально подвержен влиянию только импульса из предшествующего и последующего тактовых интервалов <sup>/21/</sup>.

При случайной последовательности импульсов имеют место все возможные случаи межсимвольной интерференции. Картина на экране осциллографа и инерционность зрения позволяют наблюдать

одновременно несколько огибающих цифрового сигнала за несколько тактовых интервалов времени. Индикаторная диаграмма также может быть зафиксирована на фотопленке <sup>/4,17,20/</sup>. Вследствие амплитудных и временных искажений вертикальный раскрыв /амплитуда сигнала/ и горизонтальный раскрыв индикаторной диаграммы уменьшаются по сравнению с идеальной. Для того чтобы вероятность ошибки при наличии шума не отличалась от ее значения для идеальной системы, необходимо увеличить отношение сигнал/шум на величину отношения вертикальных раскрывов идеальной и реальной индикаторных диаграмм, выраженную в децибелах <sup>/3/</sup>.

Здесь под шумом понимается напряжение помех, оказывающих в зависимости от конкретного случая определяющее влияние, приводящее к ограничению длины линии или скорости передачи при сохранении допустимого коэффициента ошибок <sup>/2,3/</sup>. Взаимные влияния между парами являются основными источниками помех в симметричных кабелях. При однокабельной системе передачи, доминирующим источником помех являются переходные влияния на ближнем конце. Использование 2-кабельной системы передачи или несмежных пучков кабеля для различных направлений позволяет исключить или уменьшить этот вид помех. Тогда на первый план могут выйти помехи, возникающие вследствие переходного влияния на дальнем конце <sup>/2,3/</sup>.

Коаксиальные пары лучше защищены от внешних помех, чем симметричные. Здесь мощность шума вследствие взаимного влияния не превышает мощности тепловых шумов, которые могут стать основным источником помех <sup>/2,3,18/</sup>. В работе <sup>/21/</sup> приводится изменение раскрыва индикаторной диаграммы в зависимости от переходного затухания на ближнем конце, а в работах <sup>/2,22,24/</sup> – распределение ее раскрыва от различного вида помех.

Индикаторные диаграммы используются при определении качества как аналоговых <sup>/20/</sup>, так и цифровых каналов связи <sup>/19/</sup>. Оперативный контроль может быть проведен по одному из параметров индикаторной диаграммы: вертикальному раскрыву, краевым искажениям или апертуре, так как каждый из них является интегральным. Этот метод позволяет быстро и просто определить пригодность канала связи для передачи импульсной информации <sup>/19,20/</sup>. На основе наблюдения за индикаторной диаграммой получаем моментальную информацию об эффективности выравнивания частотной характеристики канала для передачи цифровых сигналов <sup>/12/</sup>. Коэффициент ошибок также служит обобщающим показателем качества цифровой линии связи. По изменению его величины можно судить об эффективности средств, применяемых при конструировании приемно-передающей аппаратуры <sup>/23/</sup>.

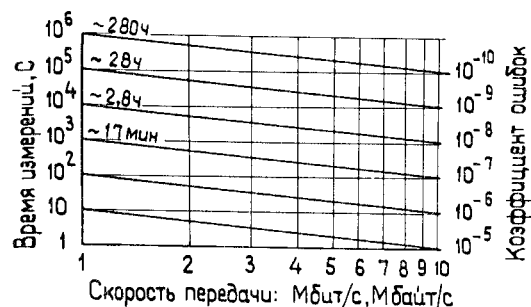


Рис.1. Время регистрации для определения частоты ошибок.

### 5. КОЭФФИЦИЕНТ ОШИБОК

Принципиальной мерой качества передачи цифровых сигналов является ее достоверность. Она характеризуется частотой или вероятностью появления ошибок <sup>5,8/</sup>. Количественные оценки могут быть получены методом непосредственной регистрации ошибок при передаче данных, который заключается в следующем. Эталонный код подается на испытываемую систему.

С ее выхода цифровой поток поступает на вход детектора ошибок. Здесь происходит его поэлементное сравнение со свободным от ошибок эталонным кодом. Какое-либо различие регистрируется как ошибка. Коэффициент /частота/ ошибок  $p_{\text{ош}}$  определяется как <sup>7/</sup>  $p_{\text{ош}} = n/N$ , где  $n$  - количество неправильно принятых знаков за определенный промежуток времени,  $N$  - общее количество знаков, переданных за это же время. В пределе при увеличении  $N$  коэффициент /частота/ ошибок переходит в вероятность ошибочного приема или вероятности ошибки <sup>1,24/</sup>. Различают ошибки в приеме отдельных посылок или разрядов и ошибки в приеме блоков. Поэтому  $n$  и  $N$  могут быть выражены числом бит или блоков информации.

Достоверность передачи можно выразить через отношение числа правильно принятых битов, блоков  $k$  общему числу переданных или как  $p_{\text{ош}} = 1 - p_{\text{ош}}^{\text{пр}}$  <sup>6,9/</sup>. Однако количественную меру достоверности  $S$  принятого сигнала удобнее определить как  $S = 1/p_{\text{ош}} = 1/(1 - p_{\text{пр}})$ . Так, если коэффициент ошибок  $10^{-6} - 10^{-12}$ , то это соответствует верности  $S = 6 - 12^{\text{пр}}$  <sup>9,10/</sup>.

### 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА /ЧАСТОТЫ/ ОШИБОК

Точность оценки. Оценки сделаны в предположении, что вероятность появления ошибки подчиняется закону Пуассона. Если в сеансе измерений зарегистрировано  $n$  ошибок, то относительная погрешность равна  $1/\sqrt{n}$ . По заданному значению относительной погрешности можно определить число ошибок, которое необходимо зарегистрировать независимо от времени измерения <sup>25/</sup>. Для статистической погрешности одного измерения в 10% находим, что  $n = 100$ .

Время регистрации ошибок. Считая, что вероятность появления ошибки  $p_{\text{ош}}$  постоянна, оценим время, необходимое для регистрации  $n = 100$  ошибок. Время регистрации  $t$  будет зависеть как от величины вероятности ошибки, так и от периода следования или скорости передачи данных:

$$t = nT/p_{\text{ош}} = n/p_{\text{ош}} F \text{ [с]}, \quad /2/$$

где  $T$  - период следования в секундах,  $F$  - скорость передачи Мбит/с для побитной и Мбайт/с для побайтной передачи. Результаты расчетов представлены в виде графика на рис.1.

Практически коэффициент ошибок определяется за определенное число периодов следования  $N$ . Если при этом зарегистрированное число ошибок  $n \geq 100$ , то результат считается статистически значимым:  $p_{\text{ош}} = n/N, n \geq 100$ . Типичные значения  $N = 10^6 - 10^{10}$ .

### 7. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Получаемая с помощью формулы  $p_{\text{ош}} = n/N$  вероятность ошибки является усредненной, за определенный отрезок времени, и не позволяет полностью оценить качество приема информации. Точная оценка возможна, если известно распределение случайной величины вероятности ошибки  $p_{\text{ош}}$  во времени. Знание статистических свойств потока ошибок необходимо при применении методов повышения достоверности передачи при введении избыточности в передаваемое сообщение <sup>7/</sup>. Одиночные ошибки являются независимыми. Появление такой ошибки не сопровождается ошибкой в соседних разрядах. Групповые или серийные ошибки считают коррелированными, т.к. весь пакет ошибок вызван одной общей причиной, например, всплеском импульсных помех <sup>1/</sup>. Основные определения различных типов ошибок в соответствии с методикой статистических испытаний, рекомендуемой МККТТ, приводятся в работе <sup>7/</sup>. В общем случае бывает необходимо расчленить поток ошибок на пачки, найти распределение длин пачек, длин безошибочных интервалов, плотность ошибок в пачке и разделить ошибки по их характеру <sup>1,7/</sup>. Поэтому при измерении достоверности передачи могут быть получены полные или частичные сведения. Полные сведения должны содержать данные о порядковых номерах ошибочно принятых разрядов, характере каждой ошибки  $1 \rightarrow 0$  или  $0 \rightarrow 1$  за сеанс. Частичные сведения - это частота ошибок без указания о распределении их во времени за сеанс. При этом желательно подразделить ошибки на типы, знать количество ошибочных блоков различной длины и т.д. <sup>7/</sup>. Материал по методике исследования статистики ошибок при передаче цифровой информации содержится в книге <sup>31/</sup>.

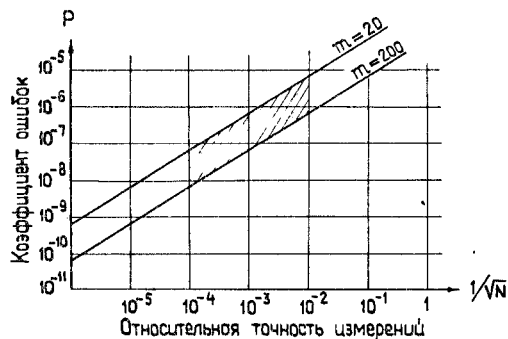


Рис. 2. Коэффициент ошибок при передаче данных в физических экспериментах.

байта или бита может обесценить все событие. Предположим, что вероятность искажения информации о событии при передаче в ЭВМ составляет  $p_{\text{ош}}$ . Тогда число искаженных событий равняется  $N_1 = p_{\text{ош}} N 8m$ , где  $m$  - число байтов в событии. В первом приближении можно считать, что искаженные события увеличат общую ошибку измерений, которая теперь составит

$$\Delta N_1 = \sqrt{N + N_1^2} = \sqrt{N + N(p_{\text{ош}} 8m)^2}.$$

Чтобы дополнительные ошибки, вносимые системой передачи данных, не увеличивали значительно ошибку измерений, необходимо выполнить условие

$$p_{\text{ош}}^2 N (8m)^2 \ll 1 \quad \text{или} \quad p_{\text{ош}} \ll 1/8m\sqrt{N},$$

где  $1/8m$  - вероятность искажения одного бита информационного массива события. Будем считать, что достаточным является выполнение условия  $p_{\text{ош}} \leq 0,1/8m\sqrt{N}$ . На основании последнего неравенства построим графики допустимой вероятности ошибок при передаче информации о событиях в зависимости от относительной точности измерений /рис. 2/. Рассмотрены случаи, когда событие состоит из 20 и 200 байтов. На графике заштрихована область наиболее часто встречающихся в практике условий экспериментов. Видно, что коэффициент ошибок системы передачи данных для физических экспериментов на линии с ЭВМ должен лежать в пределах  $10^{-6} - 10^{-9}$ . Коэффициент ошибок для цифровых линий связи различных физических центров длиной 1-2 км при скоростях на линии 1-5 Мбит/с находится в пределах  $10^{-8} - 10^{-10}$  /23, 33, 34/. Таким образом, требования к достоверности передачи данных для физических экспериментов совпадают с общими требованиями к таким системам.

## 8. ДОСТОВЕРНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ В ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Если результат физических измерений составляет в наборе  $N$  событий, то статистическая точность оценки эффекта определится как  $\Delta N = \sqrt{N}$ , а его относительная точность составит  $1/\sqrt{N}$ . Одно событие может содержать от десятков до сотен байтов или от сотен до тысяч бит информации. Причем искажение хотя бы одного

Таблица

Параметры	Установка				
	"Альфа" /26/	БИС-2 /27/	"Кристалл" /28/	ДИСК-2 /29/	СЯО /30/ /предпол./
Событий/цикл ускорения	50-100	50	60-250	200-1000	1000
Байтов/событие=элементарн. блок	200	500	240	10	10
Кбайтов/цикл ускорения	18	20-30	15-60	2-10	10
Часов/на ленту	3	3-2	4-1	30-6	6
Лент/в сутки	8	8-12	6-24	0,8-4	4

В таблице приводится структура информации физических экспериментов Лаборатории высоких энергий на линии с ЭВМ. Данные таблицы получены для цикла ускорения, равного 10 с; длины ленты - 750 м, плотности записи - 32 байта/мм, скорости протяжки - 2 м/с. Расстояние между массивами равно  $2 \text{ м/сх} 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ с} = 11,5 \text{ мм}$ .

Цифровым системам передачи посвящена также недавно вышедшая книга /85/.

В заключение авторы выражают благодарность за обсуждения и консультации С.Г.Басиладзе, В.А.Белякову, А.И.Голохвастову, Л.В.Краснову, П.К.Маньякову, В.А.Никитину, Н.М.Пискунову, М.И.Подгорецкому, В.Н.Садовникову, С.А.Хорозову; за подготовку в печать Л.Г.Булаевой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев Л.Н. Принципы построения аппаратуры для передачи дискретной информации. "Связь", М., 1972.
2. Маевский В. и др. Цифровые системы передачи /пер. с польск./ "Связь", М., 1979.
3. Системы передачи сообщений /пер. с англ./ "Связь", М., 1976.
4. Дэвис Д., Барбер Д. Сети связи для вычислительных машин /пер. с англ./ "Мир", М., 1976.
5. Мешков А.А. и др. Измерение телефонных каналов, предназначенных для передачи данных. "Связь", М., 1967.
6. Зелигер Н.Б. Основы передачи данных. "Связь", М., 1974.

7. Брусиловский К.А. Измерения искажений импульсов в системах передачи дискретной информации. "Наука", М.-Л., 1965.
8. Сети ЭВМ /под ред. В.М.Глушкова/. "Связь", М., 1977.
9. Харкевич А.А. Борьба с помехами. "Наука", М., 1965.
10. Харкевич А.А. Очерки общей теории связи. Госиздат техн.-теорет. лит-ры, М., 1955.
11. Харкевич А.А. Теоретические основы радиосвязи. Госиздат техн.-теорет. лит-ры, М., 1957.
12. Bennett W.R., Davey J.R. Data Transmission. McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1965.
13. Харкевич А.А. Спектры и анализ. Госиздат техн.-теорет. лит-ры, М., 1957.
14. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. "Советское радио", М., 1971.
15. Теория информации и ее приложения /сборн. переводов под ред. А.А.Харкевича/. Госиздат физ.-мат. лит-ры, М., 1959.
16. Стейн С., Джонс Дж. Принципы современной теории связи и их применение к передаче дискретных сообщений. "Связь", М., 1971.
17. Зингеренко А.М. и др. Системы многоканальной связи. "Связь", М., 1980.
18. Кривошеев М.И. и др. Цифровое телевидение. "Связь", М., 1980.
19. Передача цифровой информации /пер. с англ. под ред. С.И.Самойленко/. ИЛ, М., 1963.
20. Михневич Н.Г. Контроль широкополосного канала связи по глазковой диаграмме. Электросвязь, 1975, №6.
21. Mayo J.S. A Bipolar Repeater for Pulse Code Modulation Signals. BSTJ, 1962, vol.XLI, No.1.
22. Davis J.H. T2: A 6,3 Mb/s Digital Repeated Line. IEEE International Conference on Communications, USA, 1969.
23. Joosten J.M. High Speed Data Transmission System for CERN Data Links. Int. Symp. on Nucl. Electr., France, 1968.
24. Гуревич В.Э. и др. Импульсно-кодовая модуляция в многоканальной телефонной связи. "Связь", М., 1973.
25. Левин В.Е., Хамьянов Л.П. Регистрация ионизирующих излучений. Атомиздат, М., 1973.
26. Аблеев В.Г. и др. Однолучевой магнитный спектрометр установки "Альфа". ПТЭ, 1978, №2.
27. Садовников В.Н., Крячко А.П., Ким Ю Зем. ОИЯИ, 10-11624, Дубна, 1978.
28. Говорун Н.Н. и др. ОИЯИ, P10-12968, Дубна, 1980.
29. Аверичева Т.В. и др. ОИЯИ, 1-11317, Дубна, 1978.
30. Булилов В.А. и др. ОИЯИ, 13-8898, Дубна, 1975.
31. Статистика ошибок при передаче цифровой информации /пер. с англ. под ред. С.И.Самойленко/. "Мир", М., 1966.
32. Шор Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надежности. "Сов. радио", М., 1962.
33. Kameyama A., Yamanaka K. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 159, pp.7-19.
34. Fergus P.J.B. System Design of the A.E.R.E. Fast (880 Kbit/sec) Data Transmission System for Computer-to-Computer Communication AERE-R6970. Harwell, England, 1972.
35. Былянский П., Ингрэм Д. Цифровые системы передачи. "Связь", М., 1980.

Рукопись поступила в издательский отдел  
10 июля 1980 года.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ  
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники