

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Кафедра РТУ

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине “Передача дискретных сообщений”

**Расчет параметров системы передачи  
дискретных сообщений**

Выполнил: ст. гр. \_\_\_\_\_  
ФИО и подпись

Руководитель \_\_\_\_\_  
ФИО и подпись

Москва

2009

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходная скорость модуляции $V_{\text{зад}}$ :	4800 бод
Число служебных разрядов $n_{\text{сл}}$ :	9 байт
Способ модуляции:	фазовая
Допустимая вероятность ошибки единичных элементов $p_{\text{доп}}$ :	$5 \cdot 10^{-4}$
Вероятность ошибки в канале связи, $p$ :	$10^{-6}$
Длина линии связи $L$ :	250 км
Скорость распространения сигналов по каналу $V_p$ :	$25 \cdot 10^4$ км/с
объем передаваемого сообщения $N$ :	1000 байт

Используется модель дискретного канала с независимыми ошибками.

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНЫХ СООБЩЕНИЙ

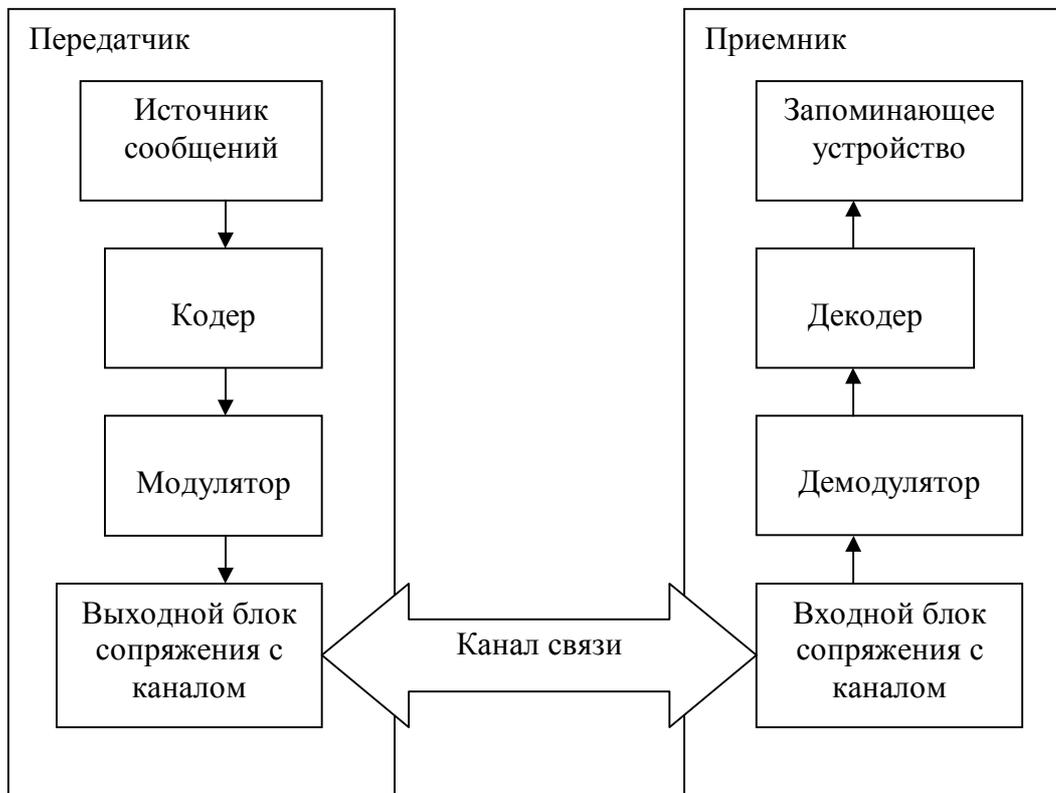


Рис. 1. Структурная схема дискретного канала системы передачи дискретных сообщений

*Источник сообщений* – устройства ввода передаваемой информации (например, клавиатура) или файловое хранилище.

*Кодер* – устройство преобразования исходного двоичного кода передаваемой информации в пакеты, содержащие помехоустойчивые коды информации и служебные данные.

*Модулятор* – устройство, преобразующее двоичный код пакетов в сигнал (модуляция амплитуды, частоты или фазы) для передачи по каналу связи.

*Выходной блок сопряжения с каналом* – устройство, обеспечивающее необходимые параметры сигнала для передачи по каналу связи (усиление, инвертирование и т.д.).

*Входной блок сопряжения с каналом* – устройство, обеспечивающее первичную обработку сигнала после передачи по каналу связи (усиление, ограничение, фильтрация и т.д.).

*Демодулятор* – устройство, преобразующее принятый сигнал в двоичный код со стандартными электрическими параметрами.

*Декодер* – устройство, проверяющее принятый двоичный код на наличие ошибок, исправляющее ошибки при их обнаружении и выделяющее информационную часть пакета.

*Запоминающее устройство* – хранилище принятой информации.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО КАНАЛУ СВЯЗИ С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ, ПРИ ОПРЕДЕЛЕННОМ СПОСОБЕ МОДУЛЯЦИИ**

В качестве основного параметра, характеризующего канал связи, используется вероятность ошибки  $p$  в зависимости от отношения  $h$  средних мощностей сигнала  $W_c$  и помехи  $W_n$ , где последняя представляет собой аддитивный белый шум:

$$h = \sqrt{W_c / W_n}$$

Зависимость  $p = f(h^2)$  представлена в виде графика на рис. 2, где по оси ординат в логарифмическом масштабе отложены значения вероятности ошибки  $p$  при приеме единичного элемента, а по оси абсцисс – значения отношения сигнал/помеха  $h^2$ , дБ, где:

$$h = 10 \lg \sqrt{W_c / W_n}$$

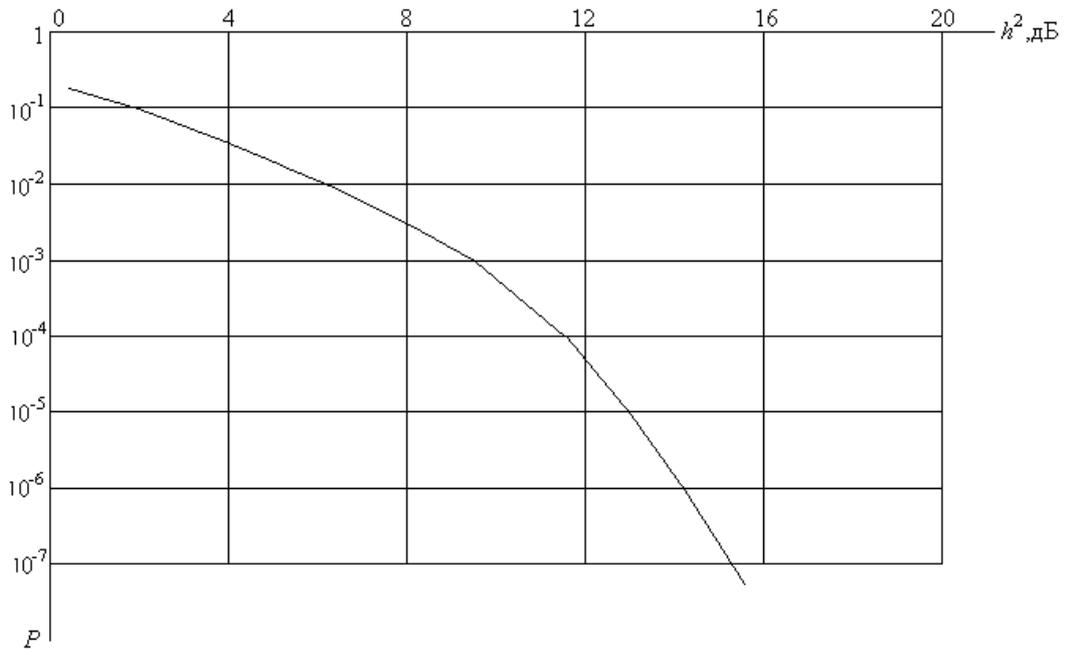


Рис. 2. Зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум при амплитудной модуляции

При построении графика  $p = f(h^2)$  для определенного вида модуляции используются формулы табл. 1, где  $\Phi(x)$  – функция Крампа, значения которой приведены в прил. 1.

Таблица 1

Способ модуляции	Оценка вероятности ошибки
АМ	$p = 0,5 \cdot [1 - \Phi(h\sqrt{2})]$
ЧМ	$p = 0,5 \cdot [1 - \Phi(h)]$
ФМ	$p = 0,5 \cdot [1 - \Phi(h\sqrt{2})]$

Если при передаче данных задана допустимая вероятность ошибки единичного элемента  $p_{\text{доп}}$ , то максимальную скорость  $V_{\text{max}}$  можно определить с помощью следующего выражения:

$$V_{\text{max}} = V_{\text{зад}} \cdot \left( \frac{h_1^2}{h_2^2} \right),$$

где  $V_{\text{зад}}$  – заданная скорость передачи;

$h_1^2, h_2^2$  – значения при  $p = 10^{-6}$  и заданной  $p_{\text{доп}}$ , соответственно, в дБ.

Значения  $h_1$  и  $h_2$  определяется по формулам табл. 1 с использованием таблицы приложения 1 путем подстановки величин  $p$  и  $p_{\text{доп}}$ :

$$(h_1)^2 = 14.21, \quad (h_2)^2 = 10.36$$

Тогда

$$V_{\text{max}} = 4800 \cdot (14.21/10.36) = 6583.78$$

Полученное  $V_{\text{max}}$  округляется до ближайшего значения из стандартного ряда МККТТ (1200, 1800, 2400, 3600, 4800, 7200, 9600, 14400, 19200, 28800 бод). Таким образом  $V_{\text{max}}$  принимается равным 7200 бод.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ СКОРОСТИ ПРИЕМА СИГНАЛОВ ДАННЫХ И ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ ПЕРЕДАВАЕМЫХ БЛОКОВ

Для обеспечения заданной достоверности при передаче данных применяют обратные связи и помехоустойчивое кодирование, использование которых приводит к появлению избыточности и, следовательно, к уменьшению скорости передачи данных.

Эффективная скорость  $V_{\text{эф}}$  зависит от состояния канала связи, оптимальной длины передаваемых блоков и числа служебных разрядов.

Блоки данных передаются пакетами, которые состоят из  $n_{\text{сл1}}$  (байт служебных разрядов),  $r$  (байт проверочных разрядов) и  $k$  (байт информационных разрядов). Обратная связь осуществляется с помощью управляющих кадров, которые состоят из  $n_{\text{сл2}}$  (байт служебных разрядов). При этом необходимо учитывать время распространения сигналов по каналу  $t_p$ .

Если в системе передачи данных используется модель дискретного канала с независимыми ошибками и обратной связью, то число служебных разрядов  $n_{\text{сл}} = (n_{\text{сл1}} + n_{\text{сл2}})$ , а эффективная скорость

$$V_{\text{эф}} = [(V_{\text{max}} \cdot k) / (k + r + n_{\text{сл}} + 3t_p \cdot V_{\text{max}})] \cdot [1 - P_{\text{ко}}(\geq 1, n)],$$

где  $n = k + r$  – число байт в принимаемом блоке;

$k, r$  – числа информационных и проверочных байт соответственно;

$P_{\text{ко}}(\geq 1, n) = n \cdot p_{\text{доп}}$  – вероятность ошибки в принятом блоке;

$p_{\text{доп}}$  – вероятность ошибки единичного элемента.

Для определения максимальной эффективной скорости приема данных и оптимальной длины передаваемых блоков данных необходимо построить график зависимости эффективной скорости от длины принимаемых блоков путем подстановки в выражение для  $V_{эф}$  значений  $k$ , которое может изменяться от 15 до 500 байт. Значение  $n_{сл}$  задано и равно 9 байт,  $r$  принимается равным 2,  $V_{max}$  определено ранее – 7200,  $t_p$  равно отношению длины канала  $L$  и скорости распространения сигнала по каналу  $V_p$ . Для заданных значений  $L$  и  $V_p$  это отношение равно 1 мс.

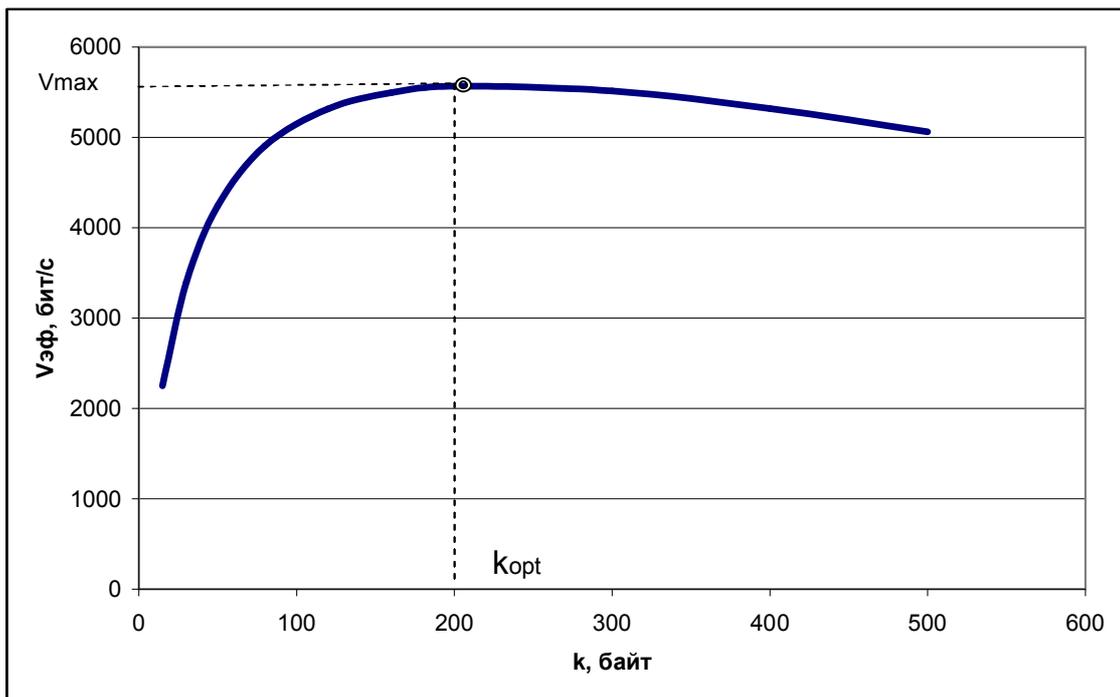


Рис. 3. Зависимость  $V_{эф} = f(k)$

Из анализа графика на рис. 3 определяются соответствующие максимуму построенной функции максимальная эффективная скорость ( $\sim 5500$  бит/с) и оптимальная длина принимаемого информационного блока  $k_{opt} = 198$ . Тогда

$$n_{opt} = k_{opt} + r = 198 + 2 = 200$$

## ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ

В связи с тем, что при приеме сообщений необходимо обеспечить вероятность ошибки не более  $10^{-6}$ , используются помехоустойчивые коды, исправляющая и обнаруживающая способности которых определяются их кодовым расстоянием  $d$  – минимальным расстоянием между комбинациями, входящими в код. Максимальная кратность обнаруживаемых ошибок при этом равно  $d - 1$ , максимальная кратность исправляемых ошибок  $d/2 - 1$  для четного  $d$  и  $(d - 1)/2$  для нечетных  $d$ .

В данной курсовой работе используется модель дискретного канала с независимыми ошибками, поэтому для определения вероятности необнаруженной ошибки  $P_{\text{но}}$  в принятом блоке при использовании циклического корректирующего кода можно воспользоваться следующим выражением:

$$P_{\text{но}} = (1/2^r) \cdot \sum_{i=t_{\infty}+1}^n C_n^i \cdot p_{\text{доп}}^i \cdot (1-p_{\text{доп}})^{n-i}$$

где:  $C_n^i$  – число сочетаний из  $n$  по  $i$ ,

$t_{\infty}$  – число ошибок, обнаруживаемых кодом;

Циклические коды получили широкое распространение вследствие удобства формирования этих кодов и их синдрома ошибки. Расчет  $P_{\text{но}}$  для рассматриваемых параметров дискретного канала ( $r = 2$ ,  $p_{\text{доп}} = 5 \cdot 10^{-4}$ ,  $n_{\text{opt}} = 200$ ,  $t_{\infty}$  принимается равным 2) дает величину  $3.81\text{E-}05$ , что выше установленной в задании величины  $10^{-6}$  для вероятность ошибки в канале связи. Поиск решения для формулы вероятности  $P_{\text{но}}$ , обеспечивающего величину  $10^{-6}$ , дает значения для  $n_{\text{opt}} = 58$ . При этом  $P_{\text{но}} = 9.46\text{E-}07$ , а эффективная скорость передачи  $V_{\text{эф}} = 4471$  бит/с.

Один из возможных вариантов аппаратурной реализации кодера для циклического кода изображен на рис. 4. вместе с последовательностью сигналов, подтверждающей получение тех же проверочных разрядов (010) на восьмом такте. Кодер представляет собой сдвиговый регистр с обратными связями, организуемыми с помощью элементов М2 (исключающее ИЛИ, сумматор по модулю 2). Структура обратных связей полностью определяется ненулевыми коэффициентами порождающего полинома. На первых восьми тактах ключ Кл. находится в верхнем положении, формируются проверочные разряды. Затем ключ Кл устанавливается в нижнее положение, что соответствует разрыву цепей обратных связей и передаче непосредственно в канал связи или на модулятор проверочных разрядов. Для временного хранения информационной части сообщения с целью последующей ее передачи вместе с проверочными разрядами кодер, очевидно, должен быть дополнен сдвиговым регистром длиной в  $k$  разрядов, ключами и соответствующими цепями управления. Однако в целом аппаратурные затраты при реализации кодеров в случае циклических кодов невелики – общее число триггеров и элементов М2 (исключая регистр временного хранения информационной части сообщения) не превышает  $2r$  и не зависит от длины информационной части сообщения.

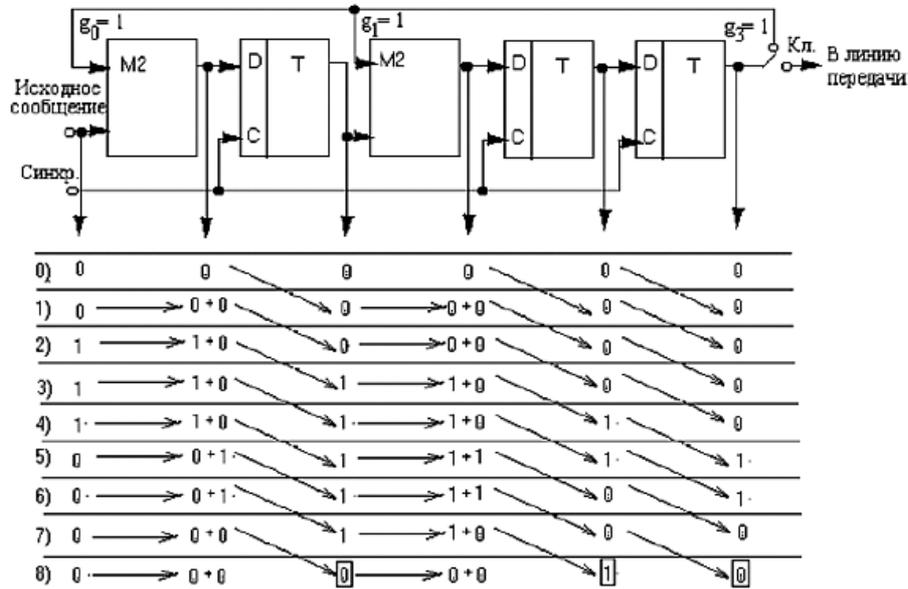


Рис. 4. Кодер циклического кода (сигнал обратной связи отличен от нуля на 5-м и 6-м тактах)

На рис. 5 представлена структурная схема декодера с исправлением ошибки. Принятый из канала код в параллельном виде записывается в сдвиговый регистр-приемник. Далее на его основе вычисляется синдром ошибки. При его ненулевом значении синдрома делается вывод о наличии ошибок и формируется вектор ошибки – параллельный код, содержащий 1 в разрядах, где была обнаружена ошибка, который фиксируется в регистре вектора ошибки. Далее на регистр-приемник и регистр вектора ошибки подаются сдвигающие тактовые импульсы и осуществляется поразрядное сложение их содержимого на схеме ИЛИ, на выходе которой формируется исправленный код принятого сообщения.

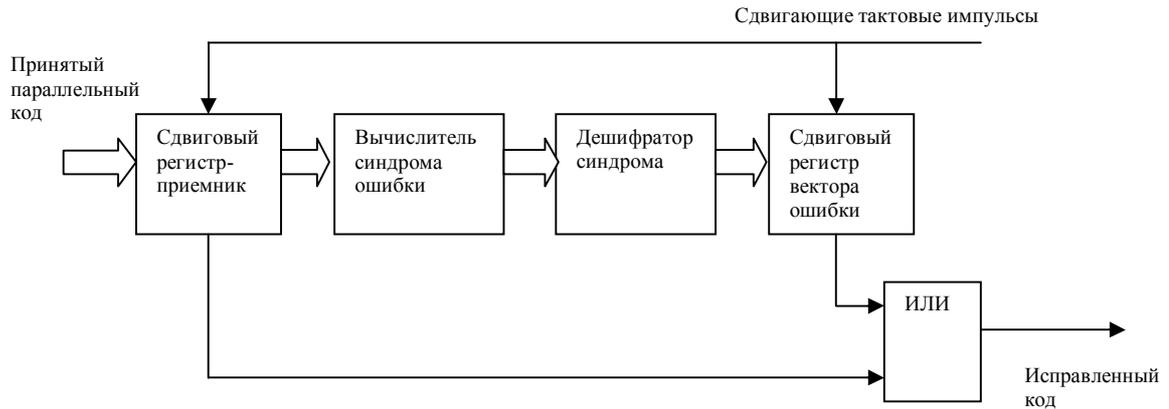


Рис. 5. Декодер корректирующего кода

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ ДОСТАВКИ СООБЩЕНИЯ ПОЛУЧАТЕЛЮ

Время доставки сообщения  $T_d$  получателю складывается из времени установления цикловой  $t_{цс}$  синхронизации, времени передачи сообщения  $t_{пр}$ , времени распространения сигналов по каналу  $t_p$  и некоторых других временных интервалов, которыми можно пренебречь в силу их относительной малости.

$$T_d = t_{цс} + t_{пр} + t_p$$

Время установления цикловой синхронизации

$$t_{цс} = 5 \cdot n_{opt} / V_{max}$$

Время передачи

$$t_{пр} = N / V_{эф}$$

где  $N$  – объем передаваемого сообщения.

Время распространения

$$t_p = L / V_p.$$

Для рассматриваемой системы передачи дискретных сообщений:

$$t_{цс} = 5 \cdot 58 / 7200 = 0.0403 \text{ с}$$

$$t_{пр} = 1000 \cdot 8 / 4471 = 1.7893 \text{ с}$$

$$t_p = 250 / 25 \cdot 10^4 = 0.001 \text{ с}$$

Тогда

$$T_d = 0.0403 + 1.7893 + 0.001 = 1,8309 \text{ с}$$

## Литература

1. Передача дискретных сообщений: учебник для вузов/Под ред. В. П. Шувалова. М.: Радио и связь, 1990.
2. Чернега В.С. и др. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1990.
3. Когновицкий О.С. Основы циклических кодов: учеб. пособие. / ЛЭИС. Л., 1990.
4. Абдулаев В. А., Арипов М. Н. Передача дискретных сообщений в задачах и упражнениях: учеб. пособие. М.: Радио и связь, 1985.
5. Коржик В.И. и др. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: справочник. М.: Радио и связь, 1981.

Приложение 1.

Таблица значений функции Крампа

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-t^2/2} dt$$

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0.00	0.0000	1.25	0.7887	2.50	0.9876	3.75	0.99982
0.05	0.0399	1.30	0.8064	2.55	0.9892	3.80	0.99986
0.10	0.0797	1.35	0.8230	2.60	0.9907	3.85	0.99988
0.15	0.1192	1.40	0.8385	2.65	0.9920	3.90	0.99990
0.20	0.1585	1.45	0.8529	2.70	0.9931	3.95	0.99992
0.25	0.2051	1.50	0.8664	2.75	0.9940	4.00	0.999937
0.30	0.2358	1.55	0.8789	2.80	0.9949	4.05	0.999949
0.35	0.2737	1.60	0.8904	2.85	0.9956	4.10	0.999959
0.40	0.3108	1.65	0.9011	2.90	0.9963	4.15	0.999967
0.45	0.3377	1.70	0.9109	2.95	0.9968	4.20	0.999973
0.50	0.3824	1.75	0.9199	3.00	0.99730	4.25	0.999979
0.55	0.4177	1.80	0.9281	3.05	0.99771	4.30	0.999983
0.60	0.4515	1.85	0.9357	3.10	0.99807	4.35	0.999986
0.65	0.4843	1.90	0.9426	3.15	0.99837	4.40	0.999989
0.70	0.5161	1.95	0.9488	3.20	0.99863	4.45	0.999991
0.75	0.5467	2.00	0.9545	3.25	0.99946	4.50	0.999993
0.80	0.5763	2.05	0.9596	3.30	0.99903	4.55	0.999995
0.85	0.6047	2.10	0.9643	3.35	0.99919	4.60	0.999996
0.90	0.6319	2.15	0.9684	3.40	0.99933	4.65	0.9999967
0.95	0.6579	2.20	0.9722	3.45	0.99944	4.70	0.9999974
1.00	0.6827	2.25	0.9756	3.50	0.99954	4.75	0.9999980
1.05	0.7063	2.30	0.9786	3.55	0.99962	4.80	0.9999984
1.10	0.7287	2.35	0.9812	3.60	0.99968	4.85	0.9999988
1.15	0.7499	2.40	0.9836	3.65	0.99974	4.90	0.9999990
1.20	0.7699	2.45	0.9857	3.70	0.99978	4.95	0.9999999