

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение метода имитационного моделирования передачи двоичного корректирующего кода при заданной модели источника ошибок. Исследование корректирующей способности выбранного кода на основе результатов моделирования.

2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Описание модели источника ошибок

При выборе корректирующих кодов, составляющих основу методов повышения достоверности, необходимо знать статистическую картину искажений в канале связи.

Известно много моделей источников ошибок [1]. Применение какой из них определяет вид формул для расчетов вероятностей неправильного декодирования P_{nd} и стирания при декодировании P_{sd} .

В данной лабораторной работе исследуется модель Эдлинга [1] на модель источника ошибок есть обобщенная модель Гилберта [1] на основе процесса с мгновенным восстановлением. Последовательность ошибок $\{E_i\}$, являющаяся процессом с мгновенным восстановлением, полностью определяется функцией распределения $P(\ell)$ для интервалов между ошибками. В лабораторной работе $P(\ell)$ определяется по экспериментальным данным.

В схеме восстановления предполагав, что есть "хорошие" и "плохие" состояния канала, длительности которых описываются стохастическими распределениями. "Плохое" состояние определяет пакет ошибок. В "хорошем" состоянии вероятность искажения символа кода $\xi_0 = 0$, а в "плохом" состоянии $\xi_1 > 0$.

В лабораторной работе генерация помеховой обстановки в канале происходит по следующей схеме. Определяется дистанция до очередной помехи в соответствии с функцией распределения $F(d)$, а затем определяется длительность помехи по функции распределения $F(b)$. Амплитуда помехи определяется функцией распределения $F(a)$, полярность помехи — вероятностью $P_n(+)$ положительного напряжения помехи. Если напряжение помехи U_n больше порогового уровня сигнала $U_{пор}$, то она внесет искажения (если имеет разную полярность с сигналом).

На рис. 1 приведен пример статистической картины искажений. На передаваемый сигнал U_c влияет помеха и на выходе канала будет получен сигнал U_c' . Кодовые комбинации длиной t_k (шесть бит) имеют случайное число искаженных символов (q ошибок).

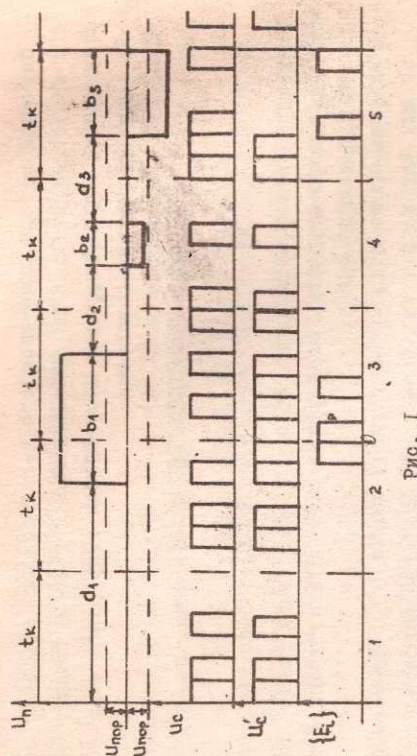


Рис. 1

2.2. Расчет помехоустойчивости кодов

Известно [2], что корректирующая способность линейных кодов определяется кодовым расстоянием. В лабораторной работе исследуется режим обнаружения r ошибок и режим исправления s ошибок (при этом $r = s$). Появление ошибок внутри помехи ("плохого" состояния) является событием независимым.

Вероятность появления g ошибок на фиксированных позициях кода длины n определяется

$$P_g = P_{\text{ош}}^g (1 - P_{\text{ош}})^{n-g} \quad (1)$$

где $P_{\text{ош}}$ - вероятность искажения одиночного символа кода.

Вероятность возникновения g ошибок на длине кода n определяется

$$P(g, n) = C_n^g P_{\text{ош}}^g (1 - P_{\text{ош}})^{n-g} \quad (2)$$

Среднее число ошибок на длине n равно

$$\bar{g} = \sum_{g=0}^n g P(g, n) \quad (3)$$

Для режима обнаружения r ошибок

$$P_{\text{но}} \approx \frac{1}{2^{n-m}} \sum_{g=r+1}^n C_n^g P_{\text{ош}}^g (1 - P_{\text{ош}})^{n-g} \approx \frac{1}{2^{n-m}} C_n^{r+1} P_{\text{ош}}^{r+1} \quad (4)$$

где m - число информационных символов кода,

$$P_{\text{ср}} \approx \sum_{g=1}^n C_n^g P_{\text{ош}}^g (1 - P_{\text{ош}})^{n-g} \approx n \cdot P_{\text{ош}} \quad (5)$$

Если код исправляет s -кратную ошибку, то его помехоустойчивость при $P_{\text{ср}} = 0$ определяется формулой

$$P_{\text{но}} = \sum_{g=s+1}^n C_n^g P_{\text{ош}}^g (1 - P_{\text{ош}})^{n-g} \approx C_n^{s+1} P_{\text{ош}}^{s+1} \quad (6)$$

2.3. Функциональные особенности имитационной модели

На рис. 2 приведена общая схема имитационной модели. Алгоритм содержит блоки, реализованные в виде следующих подпрограмм (ПП):

- ПП WWDQ предназначена для ввода начальных значений переменных и массивов, подготовки основной программы к работе;
- ПП GENP предназначена для имитации появления помех;
- ПП ANALO предназначена для моделирования искажений, вносимых помехой в последовательность $\{B\}$ передаваемых двоичных символов;
- ПП STATO предназначена для набора данных статистической картины искажений. В результате работы данной ПП будут получены частоты числа ошибок внутри помехи и частоты событий, состоящих в том, что длина интервала t между ошибками меньше либо равна заданному величинам границ оценок;
- ПП ANALK предназначена для моделирования искажений передаваемых кодовых комбинаций;
- ПП STATK предназначена для набора частот чисел ошибок в кодовых комбинациях, числа правильно принятых кодовых комбинаций KDN и числа неправильно декодированных комбинаций KDI;
- ПП WTW реализует вывод на экран дисплея результатов моделирования.

При моделировании рассматривается некоторое заданное число помех PZ .

На рис. 3 приведен алгоритм получения помех. В схеме моделирования случайных величин, исходя из числа x , равномерно распределенного в интервале $(0,1)$, ПП OPD генерирует случайную величину (CB) . В дистанции d_i до очередной i -й помехи, ПП OPRB генерирует СВ B - длительность i -й помехи, ПП OPRA определяет СВ A - амплитуду (напряжение) a_i i -й помехи, а ПП OPRZ определяет СВ $Z = \pm 1$. Если помеха положительного знака, или $Z = 0$ при помехе отрицательного знака.

Рассмотрим более детально реализации алгоритмов ПП ANALO, STATO, ANALK, STATK.

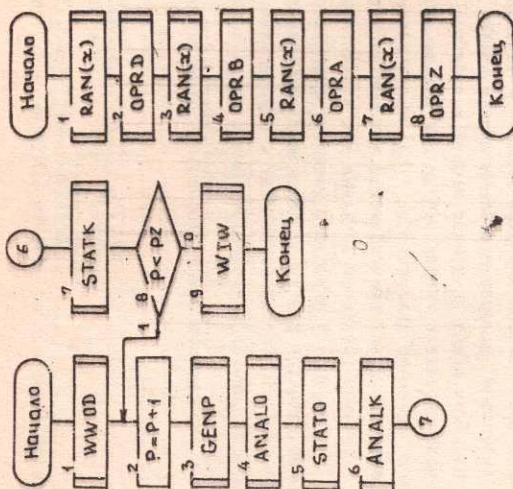


Рис. 2

3. АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3.1. Моделирование искажений двоичных последовательностей

На рис. 4 приведен алгоритм ПП ANALO, STATO, STATK. Работает алгоритм следующим образом.

Если на интервале D ошибок нет, то число неискаженных бит NB и длительность интервала до ошибки L увеличивается на величину D. Затем проверяется условие $A < UP$ - внесет ли помеха искажение? Если амплитуда помехи A меньше уровня порогового напряжения UP, то к величинам NB и L прибавляется длительность помехи B и осуществляется переход к подпрограмме STATIB, в которой величина счетчика C2(I) увеличивается на единицу. Счетчик C2(I) накапливает частоту событий, состоящих в том, что на всей длине помехи не было ошибок. Если $A > UP$, то происходит моделирование процесса наложения помехи на полезный сигнал в блоках 4 - 13. Вероятность появления единичного сигнала определяется идентификатором PE. Если ошибки нет, то число NB и величина L увеличивается на единицу. Если сигнал искажен, то число искаженных бит IB увеличивается на

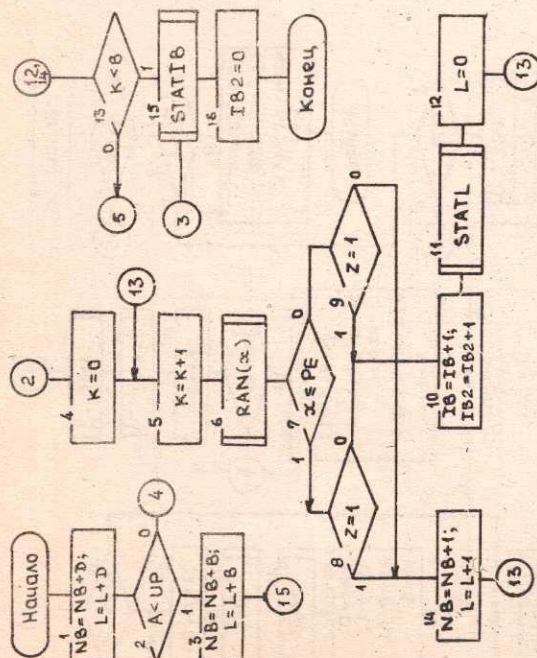


Рис. 4

единицу, а в ПП STATL счетчик CI(LJ) увеличивается на единицу при $L \leq J$. Счетчик IB подсчитывает общее число искаженных символов, а счетчик IB2 - число искаженных символов внутри помехи.

В результате работы алгоритма в счетчиках ПП STATL будут накапливаться частоты событий, состоящих в том, что длины интервалов между ошибками $L = 2$ меньше либо равны границам оценок LJ, введенным с экрана дисплея. В счетчиках C2(I) накапливаются частоты соответствующего числа ошибок внутри помехи.

3.2. Моделирование искажений кодовых комбинаций

На рис. 5 приведен алгоритм ПП ANALK и STATK. ПП STATK содержит две ПП - AN1 и AN2. ПП анализа числа ошибок на длине кода п AN1 приведена на рис. 6. ПП анализа выполнения условия обнаружения или исправления ошибок корректирующим кодом AN2 приведена на рис. 7. Алгоритм ПП AN1 моделирует искажения символов на длине последовательности NZ при признаке помехи P ($P = \{0,1\}$).

Идентификатором RS и ключом M определяются следующие ситуации при моделировании. Если окончание помех совпало с окончанием



кода, то $RS=0$. Если окончание предыдущей помехи не совпало с окончанием кодовой комбинации, то признак этого события $RS \neq 0$. Возможны два случая, которые определяются ключом M . Если недорассмотрена помеха, то $RS \neq 0$ и $M=0$. Если недорассмотрена кодовая комбинация, то $RS \neq 0$ и $M=1$.

В блоках I - I₄ (см. рис.5) моделируется ситуация, когда $A < UP$. На рис.6 приведены временные диаграммы, поясняющие возможные ситуации. Идентификатор КДР определяет целое число кодовых комбинаций, которые не были искажены.

При $A > UP$ моделируются всевозможные ситуации, которые приведены на рис.9. В табл. I приведен анализ возможных ситуаций при моделировании. Выявлены логические условия, которые отвечают какой из ситуаций. Если предшествующая помеха совпала с окончанием кода (см. рис.9, а, б, в, г, д, е, ж), то алгоритм моделирования будет работать по блокам I5 - 33 (см. рис.5). В блоке 34 проверяется условие $M=1$. Если условие выполнено, то это соответствует событию, когда осталась недорассмотренной часть кодовой комбинации (см. рис.9, с, т, у, ф, х). Алгоритм работает по блокам 35 - 51. Если $M \neq 1$, то это соответствует событию, когда недорассмотрена часть помехи (см. рис.9, з, и, к, л, м, н, о, п). Алгоритм работает по блокам 52 - 61.

4. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

Перед выполнением данной работы необходимо ознакомиться с основными понятиями модели источника ошибок канала связи, моделью Залиота (данный материал изложен в работе [1] на стр.136-139), а также методами расчета помехоустойчивых кодов, которые либо обнаруживают, либо исправляют ошибки (данный материал изложен в главе 4 работы [2]).

Изучите работу алгоритмов, приведенных в настоящем руководстве.

5. ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

В табл.2 приведены данные вариантов лабораторной работы.

В качестве исходных данных принимается вид функции распределения: экспоненциальная функция $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$; равномерное распределение $F(x) = \frac{x}{a-b}$; задается вероятность появления подмножества напряжений помехи $P_n(+)$, длина кода n и число исправляемых s либо обнаруживаемых R ошибок.

Значения интенсивностей λ , среднее квадратичного отклонения σ

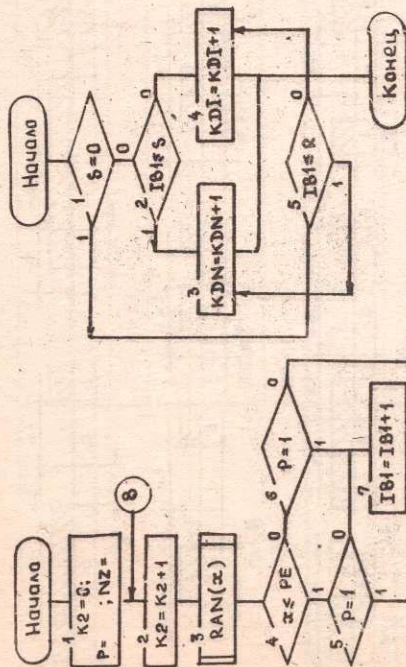


Рис.7

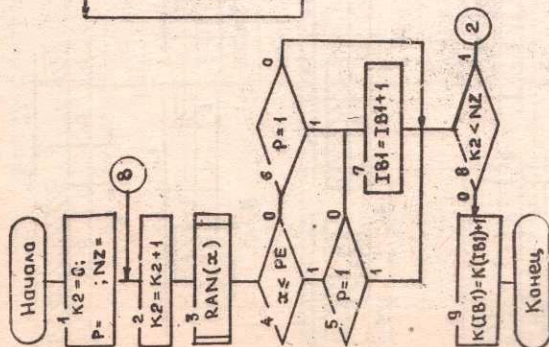
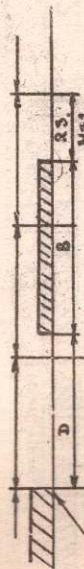
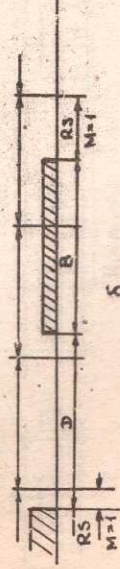


Рис.6



a



б



в

Рис.8

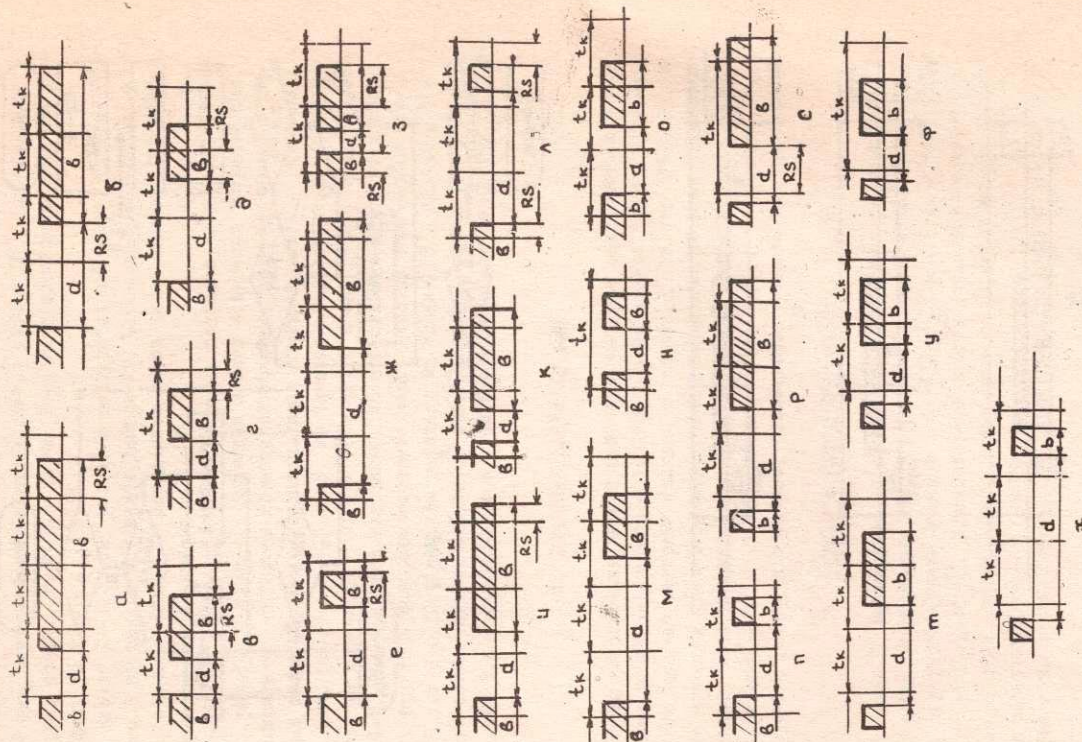


Рис. 9

Таблица I

Таблица анализа ситуаций моделирования

RS	D	B	Рис.
RS=0	D ≥ n	B + RS ≥ 2n	δ
		n ≤ B + RS < 2n	θ
		B + RS < n	е
	D < n	B + RS ≥ 2n	д
		n ≤ B + RS < 2n	б
RS ≠ 0 M=0	D + RS ≥ 2n	B + RS < n	з
		B + RS ≥ 2n	ж
		n ≤ B + RS < 2n	м
		B + RS < n	а
		B + RS ≥ 2n	и
RS ≠ 0 M=1	N ≤ D + RS < 2n	n ≤ B + RS < 2n	о
		B + RS < n	н
		B + RS ≥ 2n	к
	D + RS < n	n ≤ B + RS < 2n	з
		B + RS < n	л
		B + RS ≥ 2n	п
	D - RS ≥ n	n ≤ B + RS < 2n	м
		B + RS < n	х
		B + RS ≥ 2n	с
	D - RS < n	n ≤ B + RS < 2n	ч
		B + RS < n	ф
		D + B < RS	
	D < RS	D + B - RS < n	
		D + B - RS ≥ n	

Таблица 2

№ варианта	Варианты выполнения работы				
	Вид F(d)	Вид F(б)	Вид F(а)	$P_n (+)$	Длина кода n
1	эпр	эпр	эпр	0,5	7
2	р	эпр	эпр	0,4	6
3	эпр	р	эпр	0,6	8
4	р	р	р	0,5	7
5	эпр	эпр	р	0,4	9
6	р	эпр	р	0,6	9
7	эпр	р	эпр	0,5	10
8	р	р	эпр	0,4	10
9	эпр	эпр	эпр	0,6	11
10	р	эпр	р	0,55	11
11	эпр	р	р	0,5	12
12	р	р	р	0,5	11
13	эпр	эпр	эпр	0,45	13
14	р	эпр	эпр	0,45	12
15	эпр	р	эпр	0,45	14
16	р	р	р	0,5	14
17	эпр	эпр	р	0,5	15
18	р	эпр	р	0,5	15
19	эпр	р	эпр	0,6	16
20	р	р	эпр	0,6	16
21	р	эпр	эпр	0,55	17
22	эпр	эпр	р	0,65	17
23	р	р	р	0,45	18
24	эпр	р	р	0,5	18
25	р	эпр	эпр	0,4	19

и $U_{\text{пор}}$ для сигнала задается преподавателем в процессе исследования модели.

Число информационных символов m рекомендуется в виде следующих значений: $m=4$ для вариантов 1-5; $m=5$ для вариантов 6-9; $m=7$ для вариантов 10-12; $m=8$ для вариантов 13-21; $m=10$ для вариантов 22-25.

В табл. 2 обозначения "эпр" определяет экспоненциальный вид функции распределения, а обозначение "р" - равномерный вид функции распределения вероятностей.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В результате исследования следует получить следующие статистические данные:

- статистику длин l интервалов (в битах) между ошибками (счетчики I);
- статистику числа ошибок внутри помехи (счетчик C_2);
- число неискаженных бит информации N_B ;
- число искаженных бит информации N_B ;
- число неискаженных кодовых комбинаций KDN;
- число искаженных кодовых комбинаций KDI;
- статистику числа ошибок внутри кода (счетчики КК).

Планирование эксперимента с моделью состоит в следующем.

1. Студентом выбирается (по согласованию с преподавателем) параметры функций распределений $P(d)$, $P(b)$, $P(a)$, а также пять значений $U_{\text{пор}}$. Для каждого $U_{\text{пор}}$ осуществляется не менее двух раз процесс моделирования. Результаты моделирования следует свести в табл. 3.

2. По данным табл. 3 для одного из значений $U_{\text{пор}}$ необходимо построить эмпирическую функцию распределения вероятностей длин интервалов между ошибками $P(l)$ по данным счетчиков CI, эмпирическую функцию распределения вероятностей числа ошибок q внутри помехи $P(q)$ по данным счетчиков C2. Построить график изменения вероятности искажения одиночного сигнала $P_{\text{ош}}$ в зависимости от $U_{\text{пор}}$.

3. Для каждого значения $U_{\text{пор}}$ по формуле (1) определить величину P_d , используя эмпирические значения $P_{\text{ош}}$. По данным частот счетчиков КК определить вероятности q ошибок внутри кода P_q . Сравнить полученные значения с рассчитанными по формуле (1). По формуле (2) рассчитать вероятности $P(q, n)$ и определить q по формуле (3).

4. Для каждого значения $U_{\text{пор}}$, исходя из заданного варианта работы, определить вероятности по формулам (4), (5), (6). По данным счетчиков KDN и KDI рассчитать те же вероятности. Сравнить полученные результаты. Построить графики $P_{\text{ош}}(U_{\text{пор}})$, $P_d(U_{\text{пор}})$.

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе составляется каждым студентом самостоятельно на основе протокола, который ведется во время работы. Он должен содержать:

- цель и задачи работы;
- исходные данные варианта исследования;
- результаты моделирования, сведенные в таблицу;
- графики эмпирических функций распределений $P(\ell)$, $P(g)$ и функций $P_{\text{ош}}(U_{\text{пор}})$;
- результаты расчета вероятностей и графики функций $P_{\text{нд}}(U_{\text{пор}})$, $P_{\text{са}}(U_{\text{пор}})$.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните работу алгоритма, приведенного на рис. 4.
2. Объясните работу алгоритма, приведенного на рис. 5.
3. Какие модели поголов ошибок Вы знаете? Объясните сущность модели Эллиота.
4. Что такое кодовое расстояние и как оно связано с корректирующей способностью кода?
5. Объясните физический смысл формул (1), (2), (3).
6. Объясните физический смысл формул (5), (6).
7. Сделайте формальную постановку задачи моделирования в рамках данной работы.
8. Как оценить достоверность результатов моделирования?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блох Э.Л., Попов О.В., Турин В.Я. Модели источника ошибок в каналах передачи цифровой информации. М.: Связь, 1971. 312 с.
2. Кавчук А.А. Основы передачи непрерывных сообщений по дискретным каналам связи. Учебное пособие. Таганрог: ТГТИ, 1978. 127 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	3
2. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2.1. Описание модели источника ошибок	3
2.2. Расчет помехоустойчивости кодов	4
2.3. Функциональные особенности имитационной модели	5
3. АЛГОРИТМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	6
3.1. Моделирование искажений двоичных последовательностей	6
3.2. Моделирование искажений кодовых комбинаций	7
4. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ	10
5. ВАРИАНТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	10

Uпор	Uпор1	Uпор2	Uпор3
1	2	1	2
2	1	2	1
3	2	1	2
4	1	2	1
5	2	1	2
6	1	2	1
7	2	1	2
8	1	2	1
9	2	1	2
10	1	2	1
11	2	1	2
12	1	2	1
13	2	1	2
14	1	2	1
15	2	1	2
16	1	2	1
17	2	1	2
18	1	2	1
19	2	1	2
20	1	2	1
21	2	1	2
22	1	2	1
23	2	1	2
24	1	2	1
25	2	1	2
26	1	2	1
27	2	1	2
28	1	2	1
29	2	1	2
30	1	2	1
31	2	1	2
32	1	2	1
33	2	1	2
34	1	2	1
35	2	1	2
36	1	2	1
37	2	1	2
38	1	2	1
39	2	1	2
40	1	2	1
41	2	1	2
42	1	2	1
43	2	1	2
44	1	2	1
45	2	1	2
46	1	2	1
47	2	1	2
48	1	2	1
49	2	1	2
50	1	2	1
51	2	1	2
52	1	2	1
53	2	1	2
54	1	2	1
55	2	1	2
56	1	2	1
57	2	1	2
58	1	2	1
59	2	1	2
60	1	2	1
61	2	1	2
62	1	2	1
63	2	1	2
64	1	2	1
65	2	1	2
66	1	2	1
67	2	1	2
68	1	2	1
69	2	1	2
70	1	2	1
71	2	1	2
72	1	2	1
73	2	1	2
74	1	2	1
75	2	1	2
76	1	2	1
77	2	1	2
78	1	2	1
79	2	1	2
80	1	2	1
81	2	1	2
82	1	2	1
83	2	1	2
84	1	2	1
85	2	1	2
86	1	2	1
87	2	1	2
88	1	2	1
89	2	1	2
90	1	2	1
91	2	1	2
92	1	2	1
93	2	1	2
94	1	2	1
95	2	1	2
96	1	2	1
97	2	1	2
98	1	2	1
99	2	1	2
100	1	2	1

Исходные данные: $n =$; $s =$; $t =$; $P_n(+)$ = ; параметр $F(a) - \lambda(a) =$; параметр $F(b) - \lambda(b) =$; параметр $F(d) - \lambda(d) =$;

Статистические данные результатов моделирования

Таблица 3