

А. Т. Нурматов, Ю. Р. Селихов (Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Россия),
Е. В. Нурматова, канд. техн. наук (Московский технологический университет, Москва, Россия);
e-mail: nurmatova@mirea.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА СВЯЗИ

Представлены этапы разработки информационной системы оценки состояния нестационарного дискретного канала связи. Используются различные имитационные модели источников ошибок, типов кода и процедур оценки канала. Приведены результаты моделирования в разработанной системе источников ошибок для дискретного канала без памяти, а также моделей каналов с памятью Гильберта, Эллиота–Гильберта, Беннета–Фройлиха.

Ключевые слова: метод моделирования дискретного канала связи; модель и источник ошибки; алгоритм оценки состояния канала связи; численное исследование состояния канала связи.

A. T. Nurmatov, Yu. R. Selikhov (Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia),
E. V. Nurmatova (Moscow Technological University, Moscow, Russia)

NON-STATIONARY DISCRETE COMMUNICATION CHANNEL STATE ASSESSMENT SYSTEM DESIGN

The results of the development of information system of assessing the state of the non-stationary discrete communication channel are described. The research was performed on the basis of several sources of error, simulation models, the code type and channel assessment procedures. Descriptions of the block diagram of the algorithm assessing the state of a discrete communication channel without memory, models of Hilbert and Bennet–Froylih algorithms are given. The results of the modeling errors in the communication channel depending on the sample size and the probability of error are shown. The decision-making Wald truncated sequential procedures, and procedures equivalent to the probabilities of Neumann – Pearson error criterion are illustrated. In view of the chosen procedure, channel estimation algorithm for violations of the parity of each word in the frame of telemetry data was developed. The modeling error probability in a discrete channel using model with three stationary states and linear transition from one state to another was performed. Application programming interface consisting of a channel estimation module, a graphical display of channel status and module of statistical data processing are described. The initial type of coding system can accept random code, control over the odd-parity the amount of characters in words and dual control. Implemented functionality allows to take into account the probability of the channel transition to the bad/good condition and the risk of errors in the communication channel in these states. As numerical indicators, program displays the absolute and relative channel status indicators in the summary tables and the number of errors. The results are interpreted in graphical form. For clarity, the user receives three graphs: the channel status, the result of state evaluation, color display of the communication channel. With applications modeled errors sources for a discrete memoryless channel, and the Hilbert, Elliott–Gilbert Bennett–Froylih models channel with memory. In some cases, the program can be used for experiments in selecting the optimal method of controlling the data link status, and based on it to make the analysis of the model.

Keywords: Communication discrete channel modeling method; Model and source of error; Algorithm of communication channel state assessment; Numerical study of communication channel state.

Статья поступила в редакцию 29.07.2016 г.

Введение

Для контроля качества и повышения достоверности передаваемой по каналу связи (КС) информации применяют помехоустойчивые коды. Выделяемый поток ошибок служит лишь статистической

оценкой степени соответствия принятого и переданного сообщений.

На практике используют приборы, с помощью которых контролируют различные параметры входящих множеств помех и сигналов, а также

автоматизируют процессы выделения, оценки и обработки выбранных характеристик. Решение задачи оценки состояния КС с источником ошибок возможно с помощью применения современных средств микропроцессорной техники и разработки принципиальных схем и алгоритмов функционирования отдельных узлов устройства. В работе [1] исследован один из способов оценки КС информационно-измерительных систем на базе нескольких имитационных моделей с участием помехозащитных кодов в каналах: двоичном симметричном и использующем аддитивный белый гауссовский шум.

Недостаток известных систем контроля качества передачи данных – осуществление оценки по параметрам на физическом уровне модели взаимодействия открытых систем.

Цель работы – разработка программного приложения для моделирования передачи данных, оценки состояния канала связи и передачи результата источнику сообщений для своевременной реакции на возникновение ошибок [2].

Универсальность предлагаемого метода оценки заключается в возможности работы на канальном уровне и независимости от среды передачи данных, способа манипуляции несущей и других факторов. Разработка моделей источников ошибок рассмотрена в [1, 3]. Математическая модель описывает узкий класс каналов, поэтому для оценки состояния канала по отношению к различным типам ошибок при проведении имитационных экспериментов используют несколько моделей источников ошибок. На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма оценки состояния дискретного КС без памяти.

Исходные данные включают вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$ и длину выборки N , т.е. число формируемых источником битов за одну реализацию. В блоке 4 формируется очередной символ входного алфавита $a_i = 0,1, i = 1, \bar{N}$. Вероятность $p(a_i = 1) = p(a_i = 0) = 0,5$, в иных случаях источник будет окрашенным. Блок 5 – генератор ошибок, где RND – библиотечная функция, результат выполнения которой – псевдослучайное число, равномерно распределенное в интервале $(0..1)$. В блоках 6 и 7 формируются значения a_i в зависимости от наличия ошибок в КС в данный момент времени. В блоке 8 осуществляется сбор статистики, в простейшем случае – подсчет ошибок. В блоке 9 вычисляется оценка вероятности $p_{\text{ош}}$. Блок 10 отвечает за вывод на печать полученных результатов.

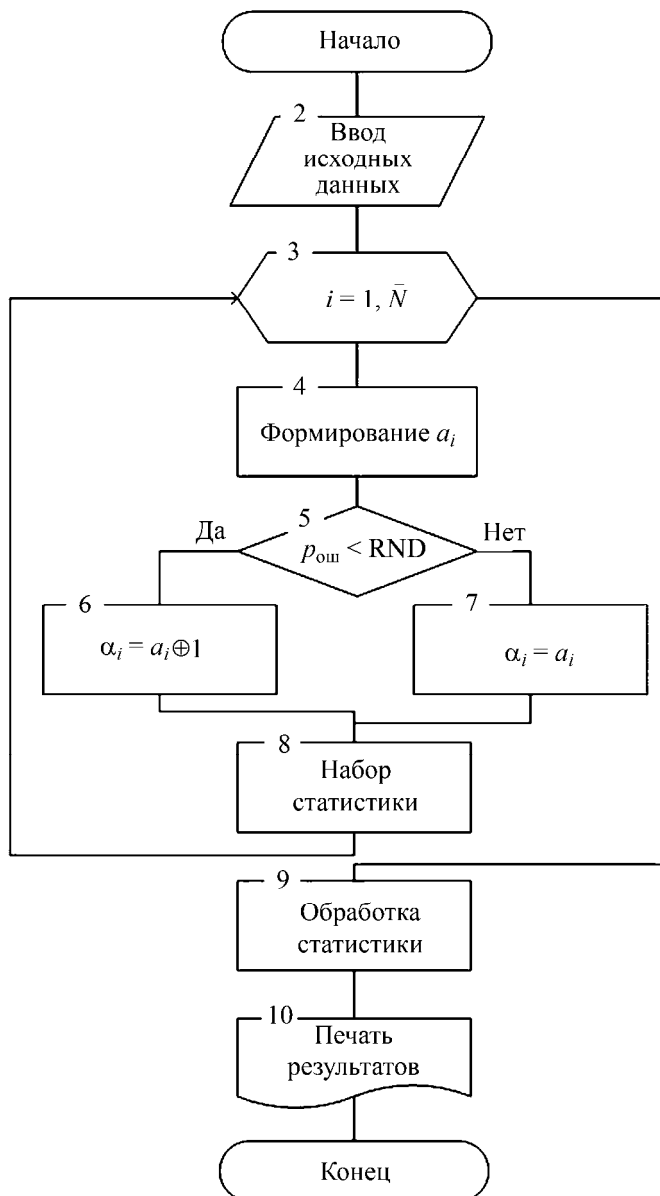


Рис. 1. Блок-схема алгоритма оценки состояния дискретного канала связи без памяти:

α_i – вероятность ошибки первого рода для i -го шага

Разработка алгоритма оценки состояния дискретного канала связи

В табл. 1 представлено число ошибок по результатам моделирования в КС без памяти в зависимости от длины выборки N и вероятности $p_{\text{ош}}$. С увеличением вероятности $p_{\text{ош}}$ для получения приемлемого результата требуется меньшая длина выборки N . Точное значение N для достижения требуемой верности $p_{\text{ош}}$ возможно определить аналитически, и моделирование в КС без памяти носит исключительно методический характер.

1. Число ошибок по результатам моделирования в канале связи без памяти в зависимости от длины выборки N и вероятности $p_{\text{ош}}$

Вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$	Длина выборки N				
	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6
10^{-2}	2	8	114	987	10 047
10^{-3}	0	1	11	107	1019
10^{-4}	0	0	0	9	91
10^{-5}	0	0	0	2	13
10^{-6}	0	0	0	0	1

В реальных условиях каналы связи имеют память, вследствие чего далее будут рассматриваться три математические модели, которые описывают реальный канал на удовлетворяющем цели исследования уровне: модель Гильберта, модель Элиота-Гильберта и модель Беннета-Фройлиха.

Блок-схема алгоритма модели Гильберта представлена на рис. 2. В блоке 2 задаются исходные данные: вероятности ошибки $p_{\text{ош}}^2$, перехода из первого состояния во второе p_{12} и обратно p_{21} , а также длина выборки N . В блоке 3 формируется состояние КС S в начальный момент времени. В блоке 6 определяется значение состояния канала S в текущий момент, в зависимости от которого процесс следует по одной из двух возможных ветвей. В блоках 8, 9 (13, 14) формируется состояние канала в следующий момент времени. Блок 15 отвечает за набор статистических данных. В блоках 16 и 17 производится обработка экспериментальных данных и представление результатов. Модель Гильберта сводится к каналу без памяти при соответствующих значениях исходных данных: $p_{\text{ош}}^2 = p_{\text{ош}}$, $p_{21} = 0$, p_{12} – произвольное число, в блоке 3 всегда формируется состояние $S = 2$.

Алгоритм модели Элиота-Гильберта отличается от алгоритма модели Гильберта (см. рис. 2) в следующих позициях: в блоке ввода исходных данных 2 присутствует вероятность ошибки $p_{\text{ош}}^1$; в ветви, соответствующей состоянию $S = 1$ (блок 10), добавляются блоки 7, 8, и 9, в которых выполняется моделирование возникновения ошибок в КС, находящемся в хорошем состоянии. Алгоритм сводится к алгоритму модели Гильберта путем задания $p_{\text{ош}}^1 = 0$.

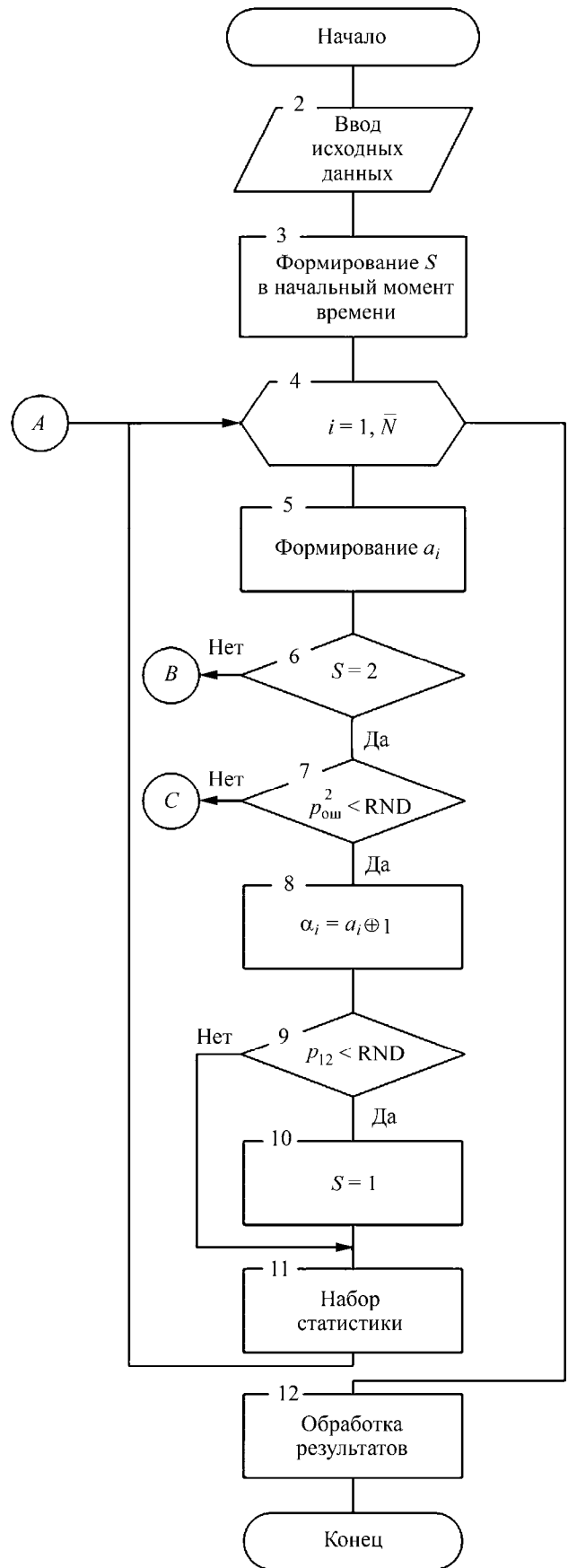


Рис. 2. Блок-схема алгоритма модели Гильберта

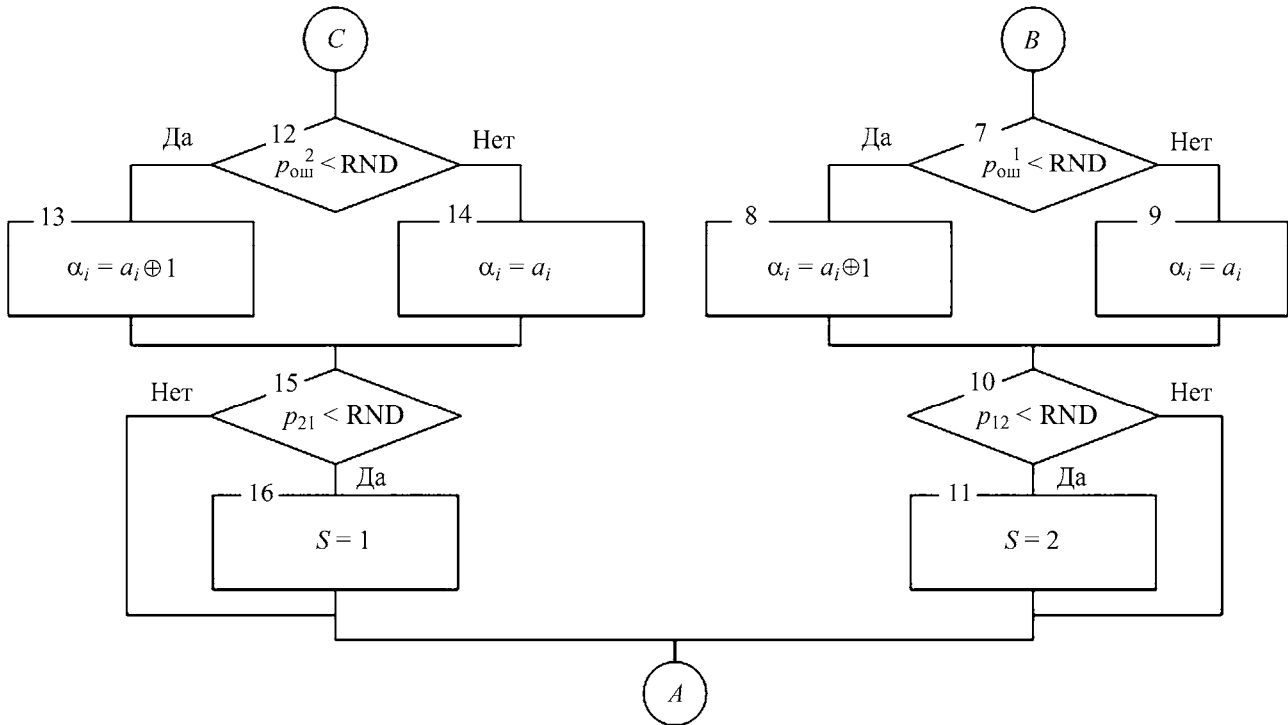


Рис. 2. Окончание

Блок-схема алгоритма модели Беннета–Фройлиха представлена на рис. 3. В блоке 2 задаются исходные данные: $p_{ош}^2$, p_{12} , p_{21} и длина выборки N . В блоке 3 определяется число пакетов k в начальный момент времени, аналогично формированию состояния канала S моделях Гильберта и Эллиота–Гильберта. В блоках 6 – 8, в зависимости от числа пакетов k в канале в текущий момент, формируется символ a_i . В блоках 10 – 14 формируется число пакетов в канале в k следующий момент времени. Блоки 15 – 18 соответствуют аналогичным в представленных выше моделях.

Выполнены численные исследования оценки состояния дискретного КС с применением последовательной процедуры Вальда для случая независимой выборки, суть которой также состоит в сравнении отношения правдоподобия на каждом шаге испытаний с двумя порогами. Для реальных систем целесообразно применение усеченной модифицированной процедуры Вальда, поскольку принятие решения значительно упрощается при незначительном увеличении времени оценки [3].

Численные исследования оценки состояния дискретного канала связи

Для численного исследования оценки состояния дискретного КС с независимыми ошибками на основе последовательной процедуры Вальда использованы известные соотношения для биномиального

распределения. Области принятия решений определены неравенствами:

- допустимая область браковки канала G_0 :

$$k_{ош} \geq vK_0 + K_1,$$

где $k_{ош}$ – число ошибок в принятой последовательности длиной v ;

K_0, K_1 – числа ошибок, определяемые по формулам:

$$K_0 = \frac{\ln((1 - p'_{ош}) / (1 - p''_{ош}))}{\Theta},$$

$$K_1 = \frac{\ln B}{\Theta},$$

$$\Theta = \ln\left(\frac{p''_{ош}}{p'_{ош}}\right) - \ln\left(\frac{1 - p''_{ош}}{1 - p'_{ош}}\right),$$

где $p'_{ош}$ и $p''_{ош}$ – соответственно первая и вторая производные вероятности ошибок $p_{ош}$;

- критическая G_1 (область принятия решения об исправном состоянии канала): $k_{ош} \leq vK_0 + K_2$,
 где

$$K_2 = \frac{\ln A}{\Theta};$$

- продолжения испытаний G :

$$vK_0 + K_2 < k_{ош} < vK_0 + K_1.$$

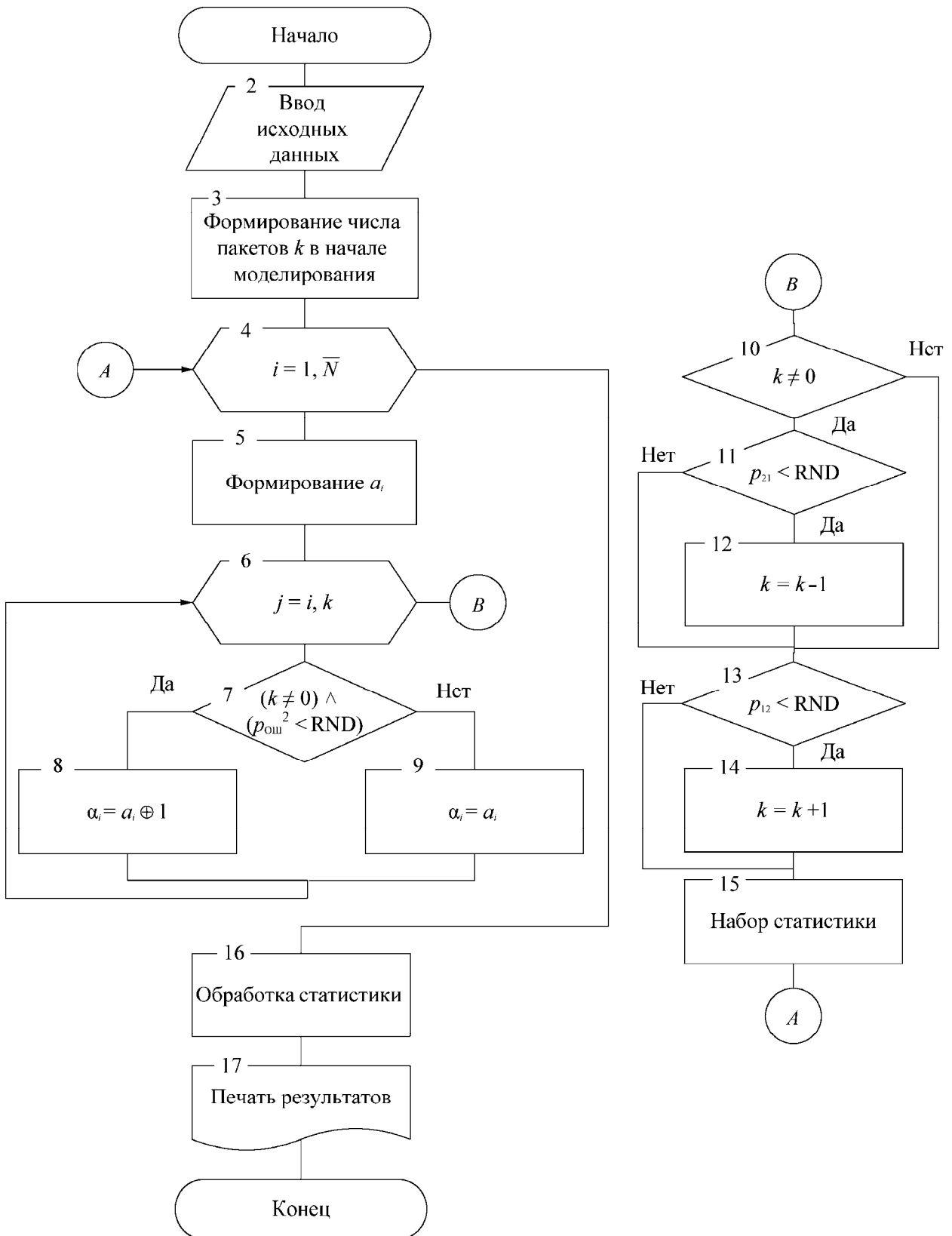


Рис. 3. Блок-схема алгоритма модели Беннета–Фройлиха

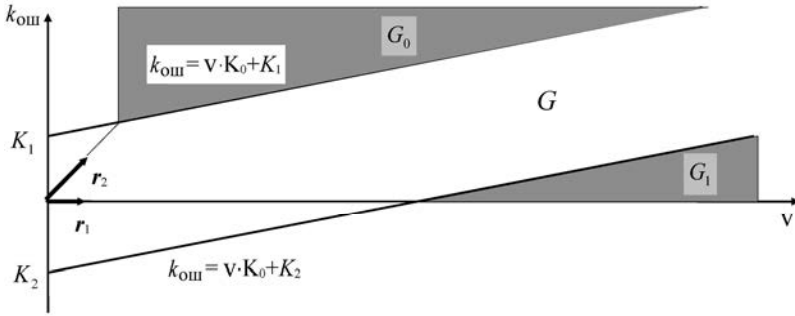


Рис. 4. Области принятия решений для процедуры Вальда

Области принятия решений для процедуры Вальда представлены на рис. 4 в виде перемещения частицы по плоскости $(k_{\text{ош}}, v)$, разбитой на области G_0 , G_1 и G . Возможные элементарные перемещения частицы при единичном изменении координаты v представлены в виде векторов одношаговых переходов $r_1 = (0, 1)$, $r_2 = (1, 1)$, приводящих к завершению процедуры.

Усеченные последовательные процедуры, эквивалентные по вероятностям ошибок критерию Неймана–Пирсона, гарантируя заданный уровень значимости и вероятность ошибки второго рода, отличаются от последнего необходимостью меньшего числа испытаний. Области принятия решений для усеченной последовательной процедуры представлены на рис. 5.

При выполнении практической оценки состояния дискретного КС рекомендуется применять модифицированную последовательную процедуру [3], эквивалентную по вероятностям ошибок критерию Неймана–Пирсона. Для данной процедуры используют следующие правила принятия гипотез:

$$\begin{cases} H_1 : k_{\text{ош}} > k' + 1, \text{ при } k' + 1 < v < n, \\ H_2 : k_{\text{ош}} < k', \text{ при } v = n. \end{cases}$$

Области принятия решений для модифицированной последовательной процедуры представлены на рис. 6. Техническая реализация модифицированной процедуры требует меньших аппаратных затрат ввиду простого правила принятия гипотезы H_2 .

Полная вероятность окончания модифицированной процедуры определяется по формуле

$$\sum_{v=k'+1}^n P(H_1 : p_{\text{ош}}, v) + P(H_2 : p_{\text{ош}}, n) = 1.$$

В процедуре оценки состояния дискретного КС индикатором ошибки рекомендуется считать нарушение четности в словах. Это позволяет получить

лучшие вероятностно-временные соотношения при оценке КС. Признак четности может нарушаться из-за наличия ошибок в канале. При использовании накопленных ошибок в принятых словах возможно оценить вероятность ошибки в приеме единичного символа.

При формировании общих аналитических выражений для оценки состояния дискретного КС первоначально определили зависимость вероятности нарушения четности $p_{\text{ош.ч}}$ в слове от вероятности $p_{\text{ош}}$ в приеме единичного символа. Нарушения признака четности возникают при наличии в слове нечетного числа ошибок.

$$p_{\text{ош.ч}} = \sum_{i=1}^k C_{I+1}^{2i+1} p_{\text{ош}}^{2i+1} (1 - p_{\text{ош}})^{I-2i-1},$$

где I – число символов в слове; $k_{\text{ош}} = \text{int}(I/2) + 1$ – число ошибок нечетное. Задавая $p_{\text{ош}}$, можно найти вероятность появления m нарушений четности в принятых L словах (число m распределяется по биномиальному закону):

$$P\left(\frac{m}{L}\right) = C_L^m p_{\text{ош}}^m (1 - p_{\text{ош}})^{L-m}.$$

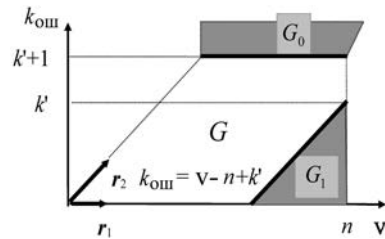


Рис. 5. Области принятия решений для усеченной последовательной процедуры:

k' – первая производная числа ошибок в принятой последовательности длиной v ; n – длина контрольной последовательности процедуры по критерию Неймана–Пирсона

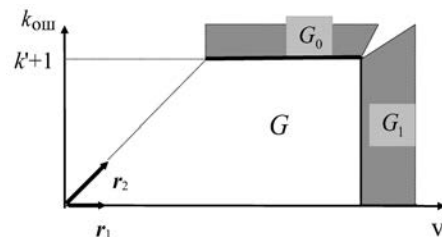


Рис. 6. Области принятия решений для модифицированной последовательной процедуры

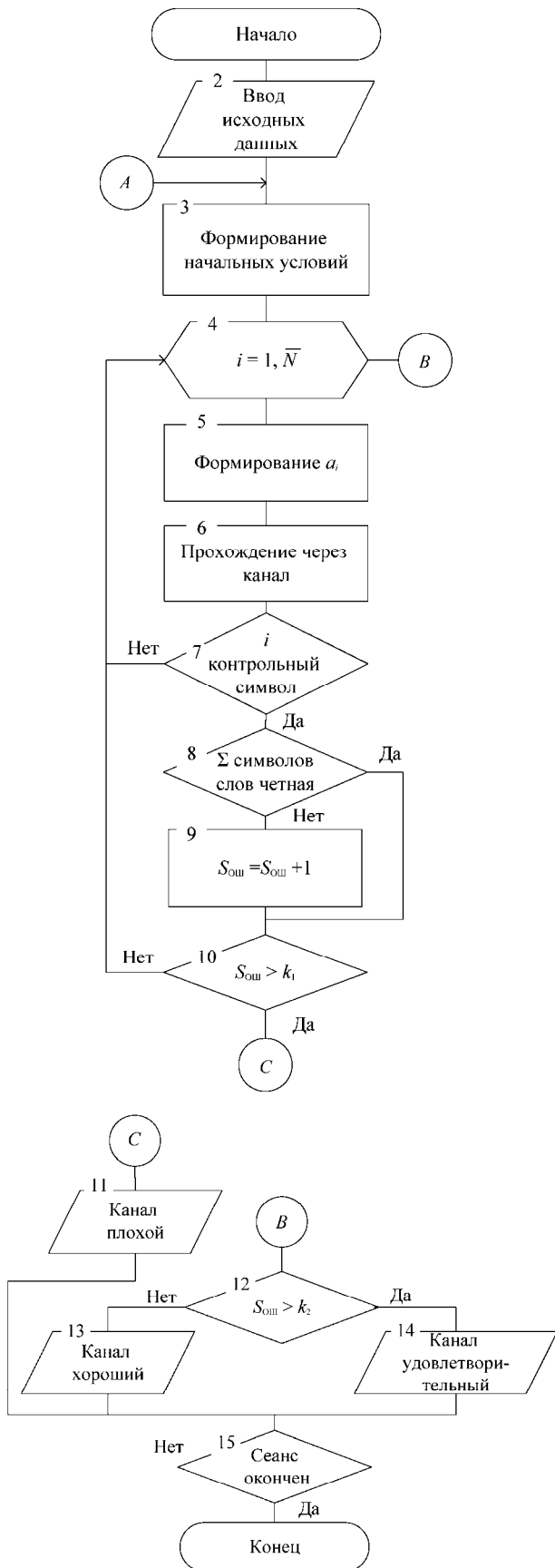


Рис. 7. Блок-схема алгоритма оценки состояния канала по нарушениям четности в словах

На рис. 7 представлена блок-схема алгоритма оценки состояния КС по нарушениям четности в словах. С помощью данного алгоритма возможно собрать большой объем статистических данных за сравнительно малый промежуток времени [4]. Например, при символьной скорости передачи 10^6 Бод, достигнутой в современных телеметрических системах, величина выборки за одну секунду при проверке на четность (нечетность) достигает нескольких тысяч слов.

Результаты проектирования информационной системы оценки состояния дискретного канала связи

При проектировании системы оценки состояния нестационарного дискретного КС на языке программирования C# разработаны модули: оценки и графического отображения состояния канала, статистической обработки полученных данных, а также пользовательский интерфейс. На рис. 8 приведен интерфейс задания исходных параметров для оценки состояния КС, в котором пользователю доступен выбор типа исходного кода, модели ошибок дискретного канала и процедуры оценки. На рис. 9 представлены интерфейсы отображения результатов оценки состояния КС в численном и графическом виде.

Светло-серый и темно-серый цвета в отображении КС (рис. 9, б) (в экранном окне, соответственно, красный и синий) представляют ошибки первого и второго родов. Появление ошибок первого рода означает падение канала в «плохое» состояние и бездействие процедуры оценки. Ошибки второго рода – «ложная тревога» системы: канал находился в «хорошем», однако, процедура оценки сообщила о переходе в «плохое» состояние.

Оценка погрешности может быть получена на основе имитационного моделирования усеченной процедуры Вальда на ЭВМ. В качестве числа усечений использована длина контрольной последовательности процедуры n , порога срабатывания – 1. По результатам проведенного моделирования и сравнения вероятностно-временных характеристик процедур Вальда и Неймана–Пирсона определено, что для процедуры Вальда – значение средней длины выборки \bar{v} вследствие усечения редко превосходит расчетные значения \bar{v} [4]. В табл. 1 представлены результаты сравнения вероятностно-временных характеристик процедур Вальда и Неймана–Пирсона.

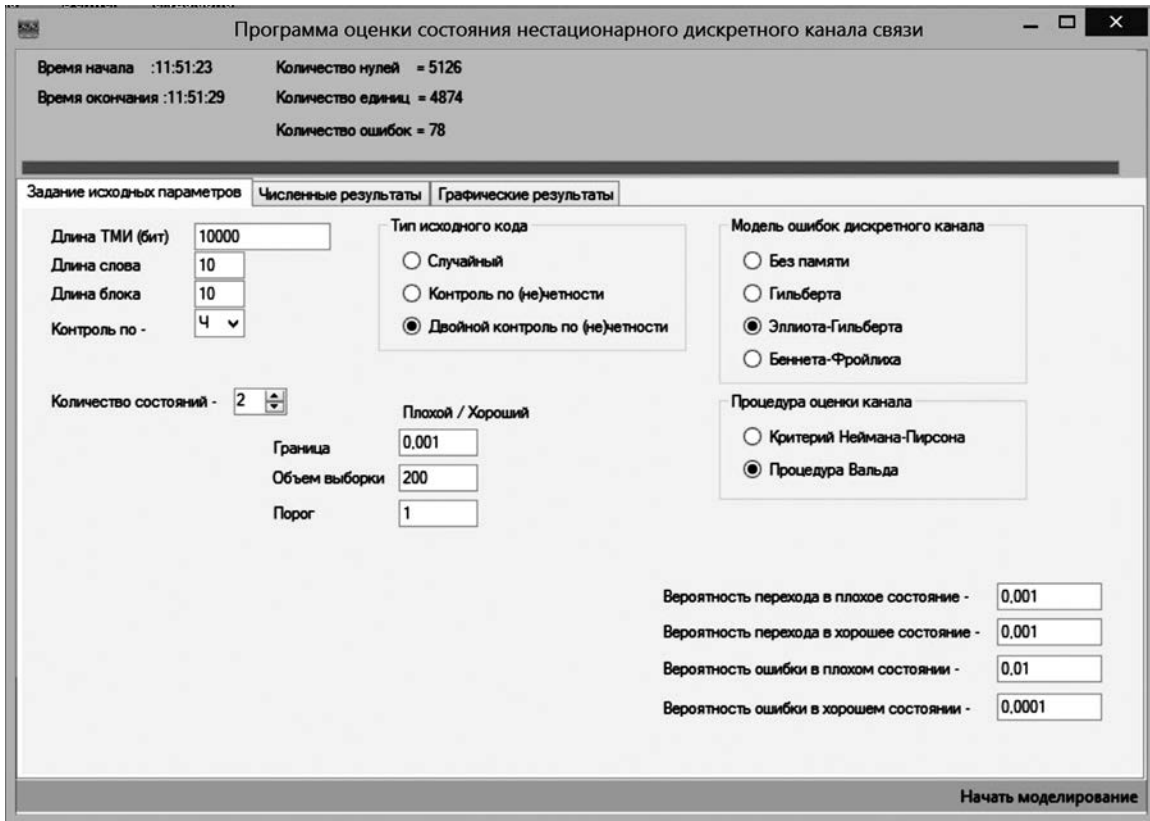
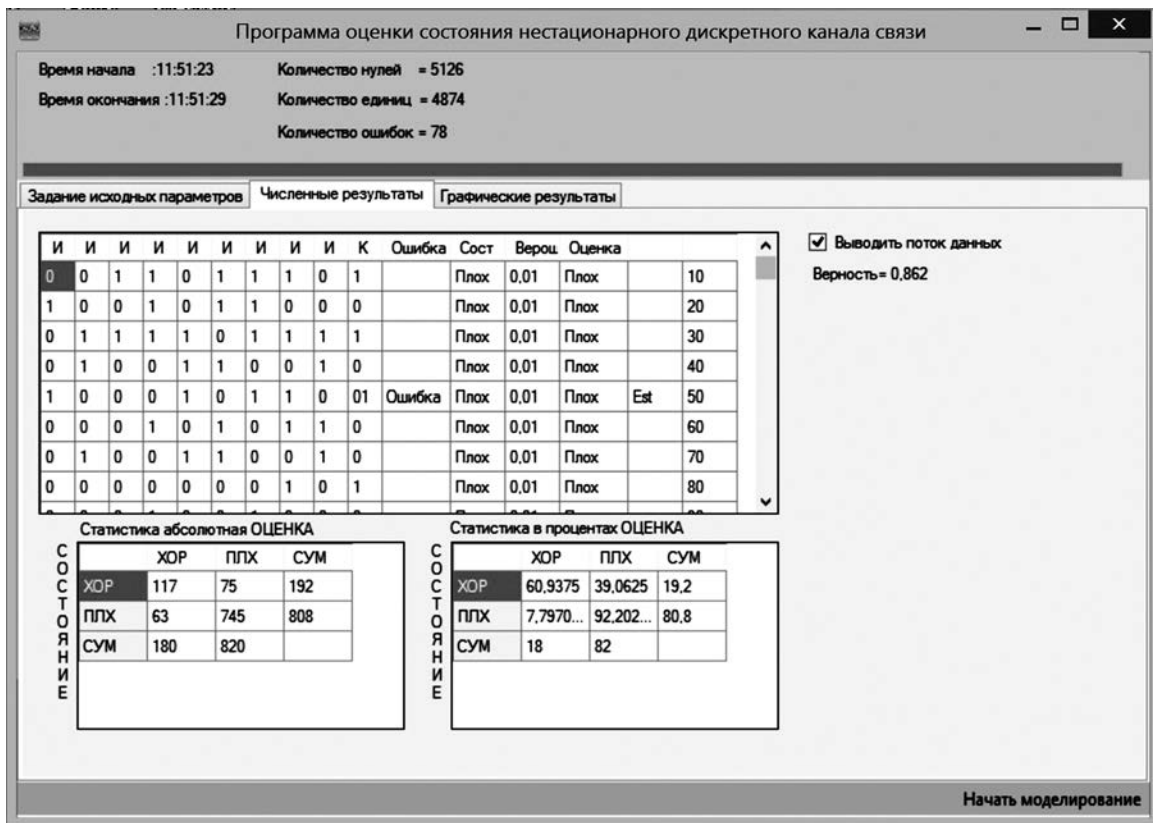
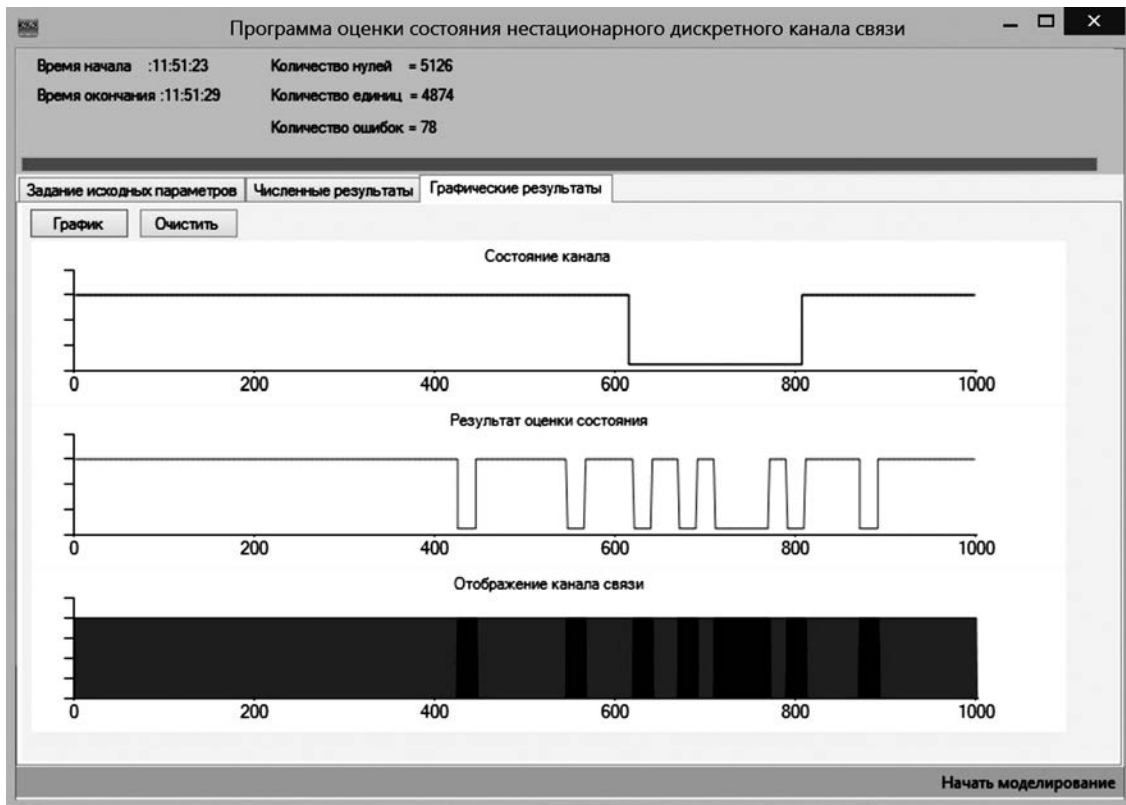


Рис. 8. Интерфейс задания исходных параметров для оценки состояния канала связи



а)



б)

Рис. 9. Интерфейсы отображения результатов оценки состояния канала связи в виде: а – численном; б – графическом

1. Результаты сравнения вероятностно-временных характеристик процедур Вальда и Неймана–Пирсона

Вероятность $p'_{\text{ош}}$	Вероятности максимальных ошибок		Длина контрольной последовательности процедуры n	Средняя длина выборки \bar{v}	Расчетное значение \bar{v}
	первого рода α	второго рода β			
0,05	0,05	0,9	286	25	68
0,05	0,05	0,8	601	142	174
0,10	0,10	0,8	152	27	49

Экспериментальные значения вероятностей максимальных ошибок первого α и второго β родов превзошли заданные допустимые вероятности $[\alpha]$ и $[\beta]$. Ошибки первого и второго родов при моделировании процедуры Вальда приведены в табл. 2. В примере $p''_{\text{ош}} = 0,8p'_{\text{ош}}$.

2. Ошибки первого и второго родов при моделировании процедуры Вальда

Вероятности ошибок при моделировании		Допустимые вероятности ошибок		Производные вероятности ошибок	
первого рода α	второго рода β	первого рода $[\alpha]$	второго рода $[\beta]$	первая $p'_{\text{ош}}$	вторая $p'_{\text{ош}}$
0,069	0,58	0,05	0,3	0,3	0,24
0,150	0,45	0,10	0,3	0,3	0,24
0,057	0,64	0,05	0,5	0,3	0,24

Заключение

Результаты моделирования усеченной последовательной процедуры с вальдовскими границами определили целесообразность ее разработки и использования. Неоптимальная в вальдовском смысле, она гарантирует ограничение ошибок первого и второго родов заданными значениями.

Тестирование программных модулей выполняли с помощью модифицированной усеченной процедуры Вальда. Суть тестирования заключалась в сохранении в отдельном файле исходной последовательности и наблюдении за переходами канала в различные состояния. Затем к передаваемой последовательности применялась модифицированная усеченная процедура Вальда, выводились численные и графические результаты оценки состояния дискретного канала связи.

Практическая ценность заключается в возможности применения разработанного алгоритмического аппарата и программных модулей при моделировании источников ошибок для дискретного канала без памяти, а также моделей каналов с памятью Гильберта, Эллиота–Гильберта, Беннета–Фройлиха. Реализованный функционал позволяет оценивать вероятность ошибок дискретного канала связи с применением процедуры оценки Вальда, критерия Неймана–Пирсона, а также по результатам проверки четности слов в кадре телеметрической информации на канальном уровне, что обеспечивает независимость от среды передачи и способа манипуляции несущей. Система воспринимает следующие типы исходных кодов: случайный, с контролем четности суммы символов в словах, с двойным контролем.

Библиографический список

1. Жидков И. А., Левенец А. В., Чье Ен Ун. Оценка состояния канала связи по результатам декодирования помехозащищенного кода // Информатика и системы управления. 2009. № 3(21). С. 72 – 78.

2. Нурматов А. Т., Селихов Ю. Р. Информационная характеристика дискретного канала связи с источником ошибок // Технические науки – от теории к практике. 2016. № 58-1. С. 75 – 80.

3. В. И. Финаев. Обработка и передача сигналов в системах дистанционного управления: учеб. пособие. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. 123 с.

4. Передача дискретных сообщений / В. П. Шувалов, Н. В. Захарченко, В. О. Шварцман и др. М.: Радио и связь, 1990. 464 с.

References

1. Zhidkov I. A., Levenets A. V., Ch'e En Un. (2009). Estimation of the communication channel state based on the results of the decoding of the noise-proof code. *Informatika i sistemy upravleniia*, 21(3), pp. 72-78. [in Russian language]

2. Nurmatov A. T., Selikhov Iu. R. (2016). Information characteristic discrete channel of communication with the error source. *Tekhnicheskie nauki – ot teorii k praktike*, 58-1, pp. 75-80. [in Russian language]

3. Finaev V. I. (2003). *Processing and transmission of signals in remote control systems: textbook*. Taganrog: Izdatel'stvo TRTU. [in Russian language]

4. Shuvalov V. P., Zakharchenko N. V., Shvartsman V. O. et al. (1990). *Transmission of discrete messages*. Moscow: Radio i sviaz'. [in Russian language]



Спектр

Издательский дом

Иванов В.И., Барат В.А.

АКУСТИКО-ЭМИССИОННАЯ ДИАГНОСТИКА



ISBN 978-5-4442-0126-8

Формат - 70x100 1/16, 368 страниц, год издания - 2017.

Рассмотрены вопросы диагностирования промышленных объектов с использованием метода акустической эмиссии (АЭ). Изложены основные понятия, физические основы метода, показана связь параметров АЭ с параметрами процесса развития дефектов, что обеспечивает возможность оценки степени опасности дефектов для объекта диагностирования. Показаны области использования метода АЭ, подробно рассмотрены средства АЭ-контроля, сформулированы требования к средствам контроля, описаны методы измерения их параметров.

Данная книга предназначена для научных, инженерно-технических работников, разработчиков и пользователей методик и средств АЭ-диагностирования, может быть полезна студентам, аспирантам и преподавателям вузов.

770 руб.

www.idspektr.ru

119048, г. Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1. 000 «Издательский дом «Спектр»
 Телефон отдела реализации: (495) 514-26-34. Дополнительный телефон офиса: (926) 615 17 16.
 E-mail: zakaz@idspektr.ru. Http://www.idspektr.ru