

УДК 629.7.05, 621.398

© Кукушкин С.С., Кузнецов В.И., Шемигон Н.Н., Супрун А.С.
Kukushkin S., Kuznetsov V., Kuznetsov V., Suprun A.

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ ПОМЕХИ И ЗАКОНА ИСКАЖЕНИЙ КОДОВЫХ СЛОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

TECHNIQUE OF IDENTIFICATION STRUCTURE A HINDRANCE AND THE LAW OF DISTORTIONS CODE WORDS MEASUREMENTS FOR INCREASE A NOISE STABILITY TRANSFER THE TELEMETERING INFORMATION

Аннотация. Статья посвящена проблеме идентификации структуры помехи с целью установления закона искажений кодовых слов измерений. Основу предлагаемого решения проблемы составляет новый метод моделирования помехи, полученный в результате анализа данных телеизмерений. Представлены методика и алгоритм формирования помехи для дальнейшего применения при моделировании помехозащищенных алгоритмов передачи данных.

Annotation. Article is devoted a problem identification structure of a hindrance for the purpose an establishment the law of distortions code words measurements. The basis of the offered decision a problem is made by a new method of modelling the hindrance, received as a result the analysis of the data telemeasurement. The technique and algorithm formation a hindrance for the further application at modelling nonjammable algorithms of data transmission are presented.

Ключевые слова. Помеха, телеметрия, представление данных, образы-остатки, восстановление и обработка цифровых сигналов.

Key words. Hindrance, telemetry, data presentation, images-rests, restoration and processing of the digital signals.

Одна из основных проблем существующего информационно-телеметрического обеспечения (ИТО) испытаний ракетно-космической техники (РКТ) заключается в низкой помехозащищенности принимаемой информации. В некоторых случаях, связанных с испытанием перспективных образцов РКТ, искажения получаемой телеметрической информации (ТМИ) настолько значительные, что значительные по продолжительности участки приема данных не могут быть использованы для дальнейшей обработки. Фактически они становятся потерянными с точки зрения последующего их использования для отработки испытываемых изделий.

Особо актуальной эта проблема стала в настоящее время, что связано с чрезвычайно быстрым ростом объе-

мов передаваемой ТМИ, который существенно опережает возможности организации каналов связи с требуемыми характеристиками пропускной способности. Кроме того, повышение скорости передачи информации, неразрывно связанное с ростом ее объемов, приводит к значительному снижению энергетике передаваемых бит информации. В условиях, когда интенсивность помех различного происхождения как естественного, так и искусственно созданного в рамках радиоэлектронного противодействия (РЭП), только повышается, обострение отмеченных противоречий способно привести к кризисной ситуации в области ИТО испытаний перспективной РКТ. Наличие кризисных явлений уже отчетливо наблюдается при летных испытаниях (ЛИ) перспективных образ-

Кукушкин Сергей Сергеевич – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, 4 ЦНИИ Минобороны России, тел.+7(495)515-19-82.

Кузнецов Валерий Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела, ОАО «Военно-инженерная корпорация»;

Шемигон Николай Николаевич – кандидат технических наук, генеральный директор, СНПО «Элерон»;

Супрун Александр Сергеевич – научный сотрудник, 4 ЦНИИ Минобороны России;

Kukushkin Sergey – doctor of the technical sciences, professor, the main scientific employee, 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia, tel.+7(495)515-19-82;

Kuznetsov Valery – Cand.Tech.Sci., the senior scientific employee, the chief of department, Open Society «Military-engineering corporation»;

Sbemiigon Nikolay – cand. of the technical sciences, the sbef SNPO «Eleron»;

Suprun Aleksandr – scientific employee, 4 Central Scientific Research Institute Ministry of Defence of Russia.

цов МБР и БРПЛ. Крайне низкое качество получаемой ТМИ стало нормой. Многие из заинтересованных специалистов надеялись, что большого кризиса в области ИТО испытаний и штатной эксплуатации (ШЭ) РКТ удастся избежать при замене ранее использовавшегося телеметрического комплекса (ТК) на новый в составе: БРТС «ОРБИТА-IVMO» – МПРС. Но ожидания не оправдались – стало еще хуже.

Основная причина этого заключается в том, что переход на новые цифровые технологии при ИТО испытаний и ШЭ РКТ, который был реализован в новом ТК в составе: БРТС «ОРБИТА-IVMO» – МПРС, не был подкреплен разработкой новых методов передачи ТМИ, объемы которой выросли более чем на порядок. В итоге была реализована известная модель под названием «Шаг вперед – два шага назад».

В результате при решении практических задач все чаще возникает ситуация, когда необходимые для анализа результаты измерений получены с недопустимо большими искажениями.

В соответствии с разработанными научными положениями, определяющими перспективу развития информационно-измерительных технологий, существующие многочисленные противоречия могут быть разрешены только при разработке адаптивных систем передачи информации, приспособляющихся к целям и задачам испытаний, неравномерности потока данных во времени, к помеховой обстановке и состоянию канала связи приводит к необходимости учета большого количества различных факторов, в том числе и определяющих отличительные свойства передаваемой информации [1,2].

Повышение уровня качества принимаемой ТМИ также достигается различными методами [3–6]. Но для того, чтобы этот процесс приводил к наилучшим результатам, необходимо выполнение целого ряда условий. В их числе: наработка как можно большего количества различных методов повышения помехозащищенности принимаемой ТМИ, уточнение модели ошибок, обучение наилучшим приемам противодействия помехе и управление выбором наиболее подходящих методов, методик и алгоритмов. Все это в совокупности приводит к адаптивным принципам организации ИТО испытаний и штатной эксплуатации (ШЭ) РКТ [1,2].

Насколько важным в существующих условиях ИТО испытаний и ШЭ РКТ становится знание реальной модели ошибок свидетельствуют приведенные ниже результаты исследований.

Любую приёмно-передающую систему можно представить как информационную систему, состоящую из передатчика, приемника и канала связи с помехами в виде канала связи (рис. 1)

Принятый сигнал может быть представлен в виде следующей суммы:

$$\mathbf{x}^*(n \cdot \tau) = \mathbf{x}(n \cdot \tau) + \mathbf{v}(n \cdot \tau), \quad (1)$$

где $\mathbf{x}(n \cdot \tau)$ – переданный передатчиком сигнал;

$\mathbf{v}(n \cdot \tau)$ – помеха;

$\mathbf{x}^*(n \cdot \tau)$ – принятый сигнал приемником.

Такую модель помехи называют аддитивной. Аддитивные помехи классифицируют на внутренние, возникающие в устройствах канала, и на внешние, поступающие от посторонних источников.

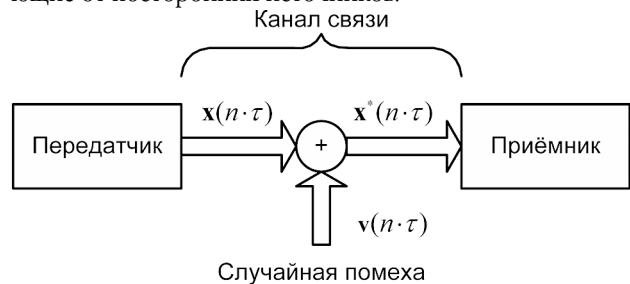


Рис.1. Модель передачи и приема информации, передаваемой по каналу связи с помехами

Внутренние помехи обусловлены в основном тепловыми случайными движениями электронов в проводниках и дробовыми шумами (флуктуациями числа носителей тока, преодолевающих потенциальный барьер в электронных устройствах), и погрешностями квантования при преобразовании аналоговых сигналов в цифровые данные. Тепловые шумы в принципе неустранимы. Их можно уменьшить, понижая температуру «сильно шумящих» элементов. Дробовые шумы можно снижать путем рационального построения элементов схемы, но полностью устранить также нельзя. Наводки от соседних элементов схем из-за плохой экранизации также относятся к внутренним помехам. Погрешности квантования уменьшают путем повышения разрядности цифровых слов измерений, однако при этом растут объемы передаваемых данных.

Внешние помехи оказывают наиболее существенное воздействие на качество принимаемой ТМИ. Исключить влияние внешних источников помех в большинстве случаев не представляется возможным. Внешние помехи приводят к снижению эффективности преобразования, в результате которых могут установиться режимы функционирования, отличные от эксплуатационного (синхронного процесса) с изменением качественных и количественных характеристик преобразованной энергии.

Наиболее полную характеристику помех дают законы их распределений. При этом, как правило, используются следующие основные законы: 1) релеевский, применяемый для описания смеси сигнал+шум в узкополосном канале передачи данных; 2) равномерной плотности – для характеристики искажений двоичных символов (бит) и 3) нормальный – в качестве основной модели ошибок измерений [3–6].

Однако в реальных условиях приема ТМИ модель ошибок имеет существенные отличия от классических вариантов ее представления.

Результаты испытаний показали, что основными характеристиками помехи являются:

- статистическая плотность распределения вероятности искажения бит;
- статистическая интенсивность искажений по времени.

Исходный телеметрируемый параметр (ТМП), искаженный помехами и отображающий реальные условия приема ТМИ, представлен на рис. 2.

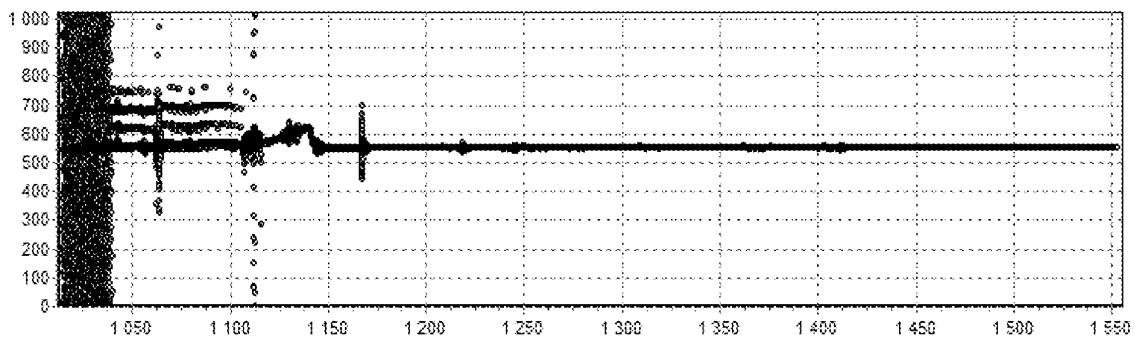


Рис.2. Телеметрируемый параметр (ТМП), искаженный помехами

Иллюстрация, приведенная на рис. 2, отображает реальные условия приема ТМИ. Из нее следует, что ожидаемая определенность в толковании измеренного параметра отсутствует из-за помех. При этом чаще всего так случается, что единственная возможность его восстановления в виде, пригодном для анализа (рис. 3), связана со знанием реальной модели ошибок.

Для того, чтобы построить и контролировать из-

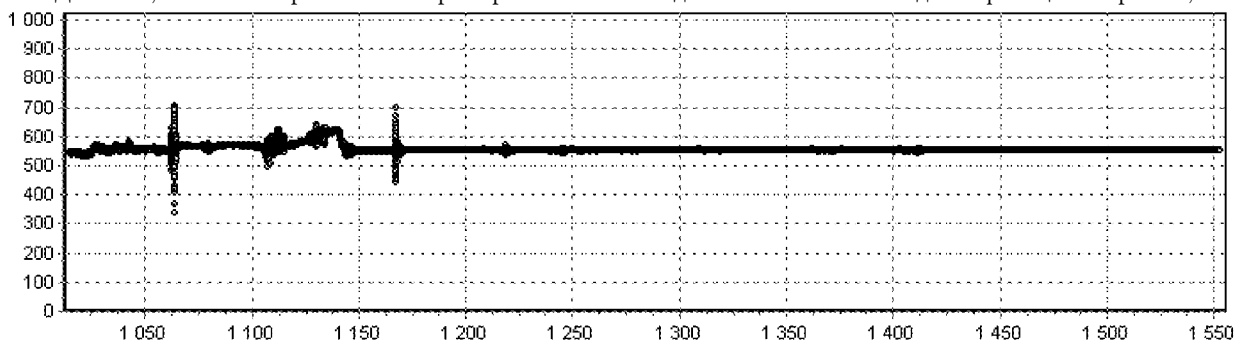


Рис.3. Вид исходного телеметрируемого параметра, который был получен в результате устранения искажений

менение модели ошибок в процессе летных испытаний РКТ, используют служебные и калибровочные сигналы, вид которых точно известен на приемной стороне.

В результате определения разности между искаженным ТМП $x^*(t)$ (рис. 2) и его восстановленной очищенной от помех копией $x(t)$ (рис. 3) получена реализация помехи $n(t)$ (рис. 4), а также экспериментальное (эмпирическое) распределение частоты искажений бит 10-тиразрядных слов-измерений. В соответствии с классической теорией передачи информации это должно быть распределение вероятности равномерной плотности. На самом деле оно имеет существенные отличия.

Интенсивность распределения значений помехи во времени представлена на рис. 4. Частота искажения бит 10-тиразрядного слова-измерения в реальных условиях приема, которая может быть интерпретирована, как вероятность, приведена на рис.5.

Если при этом номера разрядов слова заменить вероятностями их искажений, то получим следующую вероятностную модель, представленную на рис. 6.

Из данных, приведенных на рис. 6, следует, что реальный закон распределения вероятности имеет значительные отклонения от ожидаемого классического закона равномерной плотности.

Полученные результаты могут быть использованы для решения следующих задач борьбы с мешающими воздействиями – помехами. Первое направление исследований связано с идентификацией причин, кото-

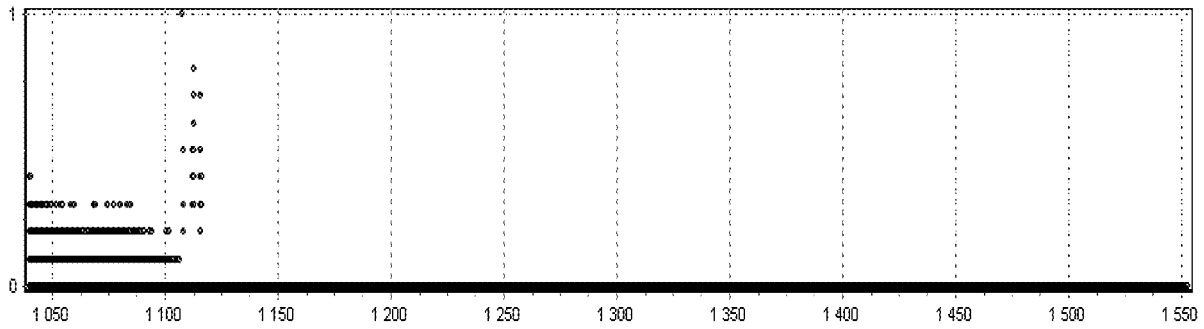


Рис.4. Реализация выделенной помехи

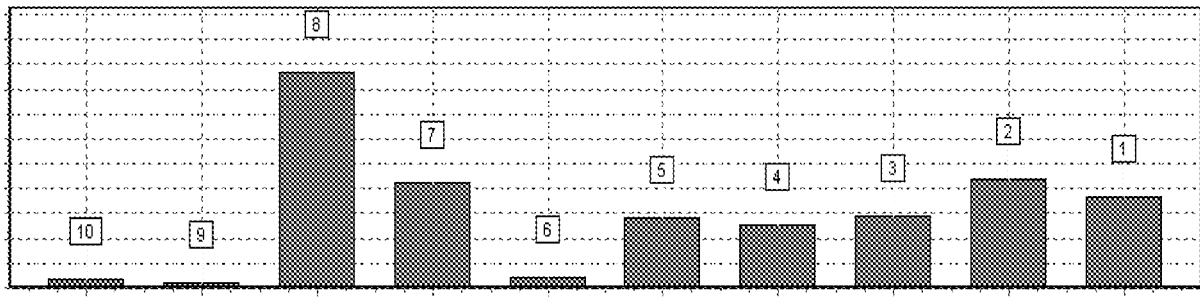


Рис.5. Эмпирическое распределение вероятностей искажения бит различных разрядов слов-измерений

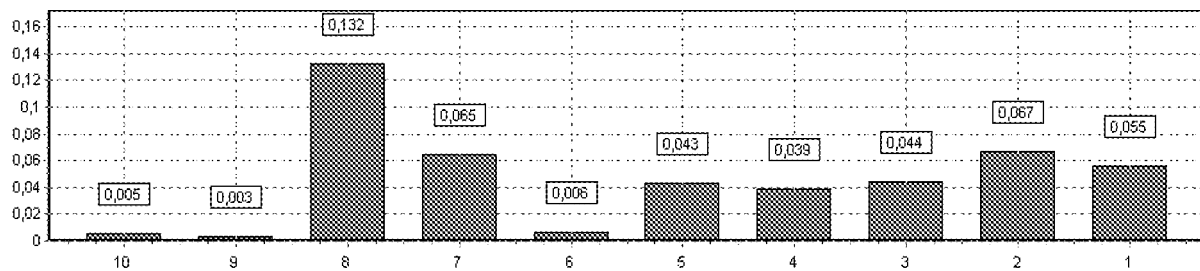


Рис. 6. Вероятностная модель реального искажения бит слов-измерений

рые приводят к полученному неравномерному распределению вероятностей искажения бит различных разрядов слов-измерений. Если же причины, приводящие к неравномерному распределению бит различных разрядов слов-измерений, остаются неустановленными и обладают статистической устойчивостью (повторяемостью результатов проведенных экспериментов по определению вероятностей искажения бит различных разрядов слов-измерений), то и в этом случае может быть решена задача повышения качества получаемой ТМИ.

Например, для того, чтобы минимизировать погрешности восстановления значений ТМП, необходимо осуществить перемежение бит слов-измерений перед их передачей по каналам связи. Применительно к результатам, приведенным на рис. 6, это означает, что наиболее часто искажаемый восьмой разряд должен занимать самый младший бит 10-тиразрядного слова-измерения. Погрешность, вызванная его искажением, минимальна и равна значению $a_0 = 2^0 = 1$. Если допустить, что именно этот разряд будет подвержен наиболее частому искажению, то погрешность, вносимая при этом в восстанавли-

ваемый результат, будет минимальна

$$\varepsilon_0 = p_8 \cdot 2^0 = p_8 \tag{2}$$

где p_8 – значение вероятности искажения восьмого разряда слова-измерения.

Следующий второй по старшинству разряд передаваемых слов-измерений имеет второе по величине значение вероятности, следовательно, в соответствии с принятой стратегией минимизации ошибок он при перемежении должен будет остаться на прежнем месте. Вносимая им составляющая общей погрешности будет равна:

$$\varepsilon_1 = p_2 \cdot 2^1 = 2p_2, \tag{3}$$

где p_2 – значение вероятности искажения второго разряда слова-измерения.

Далее необходимо третий разряд слова-измерения при перемежении бит поставить на место седьмого разряда. В результате следующая составляющая общей погрешности будет равна

$$\varepsilon_2 = p_7 \cdot 2^2 = 4p_7, \tag{4}$$

где p_7 – значение вероятности искажения седьмого разряда слова-измерения.

Поступая аналогичным образом, получаем выра-

жение для общей погрешности восстановления ТМП

$$\varepsilon_{\Sigma} = 2^9 p_9 + 2^8 p_{10} + 2^7 p_6 + 2^6 p_4 + 2^5 p_5 + 2^4 p_3 + 2^3 p_7 + 2^2 p_1 + 2^1 p_2 + 2^0 p_8 \quad (5)$$

Так как шестой, девятый и десятый разряды характеризуются минимальными значениями вероятности, то и результаты увеличения общей погрешности будут наименьшими. Это обусловлено тем, что самый большой вес старших разрядов, определяемый коэффициентами 2^9 , 2^8 и 2^7 , будет в выражении (2) сочетаться с наименьшими соответствующими значениями вероятностей искажений разрядов слов-измерений.

При этом наилучший с точки зрения помехозащищенности вариант перемены символов слов-измерений будет определяться подстрочными цифрами i вероятностей p_i

$$i = 9, 10, 6, 4, 5, 3, 7, 1, 2, 8. \quad (6)$$

Результаты перестановки символов двоичного кода, обеспечивающие наилучшее качество получаемой ТМИ в условиях той же модели помех, представлены на рис. 7.

Это означает, что для повышения качества передаваемой информации необходимо перед передачей ко-

дового слова производить перестановку бит с учетом реальной модели плотности распределения вероятности их искажений (рис. 6 и 7).

Как это должно быть сделано, представлено на иллюстрации, приведенной на рис. 8–9. Из них следует, что перед передачей данных ТМП необходимо поменять местами 10 и 9 разряды слова. Затем следующий по старшинству 8 разряд нужно поставить на место самого младшего (первого) разряда и т.д.

При приеме ТМИ операцию перестановки бит осуществляют в обратном порядке. В результате этого обеспечивается при восстановлении ТМИ минимум погрешностей, вносимых в результаты телеизмерений радиоканалом.

В результате реализации подобных решений будет достигнут комплексный положительный эффект, заключающийся в одновременной реализации следующих возможностей:

- минимизации общей погрешности восстановления значений ТМП при статистически устойчивой модели ошибок;
- рандомизации передаваемых данных на основе

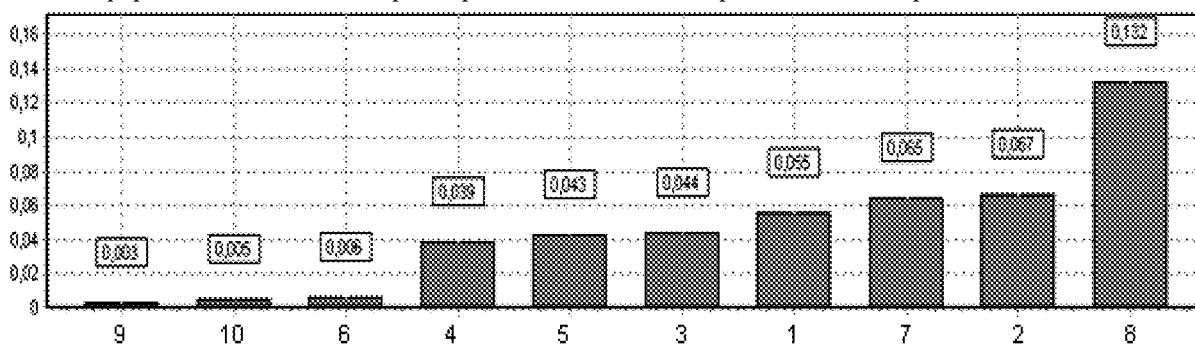


Рис.7. Результаты ранжирования вероятностей, приводящие к минимизации общей погрешности восстановления значений телеметрируемых параметров



Рис.8. Диаграмма плотности распределения вероятностей искажения бит



Рис.9. Диаграмма плотности распределения вероятностей искажения бит после рандомизации

перемежения символов двоичного кода, которая необходима для повышения устойчивости выделения символов цифрового группового телеметрического сигнала (ГТС) и дополнительного повышения на этой основе качества приема ТМИ.

Влияние рандомизации передаваемых данных на основе перемежения символов двоичного кода на устойчивость приема ТМИ исследовано в статье [2].

Полученные экспериментальные данные также

могут быть использованы при моделировании помехи в составе аппаратно-программного моделирующего комплекса ОАО «ВИКОР». Подобные исследования позволяют экспериментально подтвердить заявленные показатели эффективности ИТО испытаний новых образцов РКТ, что особенно актуально при обосновании состава и способов применения существующих средств измерительных комплексов.

Литература

1. Кукушкин С.С. Теория конечных полей и информатика: т.1 «Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках», - М.: МО РФ, 2003 – 284с.
2. Кукушкин С.С. Хромов О.Е. Новая технология восстановления не-сущей частоты сигнала при приеме телеметрической информации на основе цифровой обработки символов двоичного кода //Двойные технологии, №1, 2011 – с. 3 – 8.
3. Гуткин Л.С. Теория оптимальных методов приема при флуктуационных помехах. – М -Л: Госэнергоиздат, 1961 – 488с.
4. Тихонов В.И. Статистическая радиотехника. – М.: «Радио и связь», 1982 – 623с.
5. Емельянов Г.А, Шварцман В.О. Передача дискретной информации. – М.: «Радио и связь», 1982 – 240с.
6. Питерсон У, Уэлдон Э. Коды, исправляющие ошибки. – М.: Мир, 1976. – 593с.

Материал поступил в редакцию 20. 01. 2012 г.