



Омский Государственный
**ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



СПОСОБ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ И ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБОЧНО ПРИНЯТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОБНАРУЖЕННЫХ В КОДОВЫХ КОМБИНАЦИЯХ ЗА СЧЕТ КОДОВОЙ ИЗБЫТОЧНОСТИ.

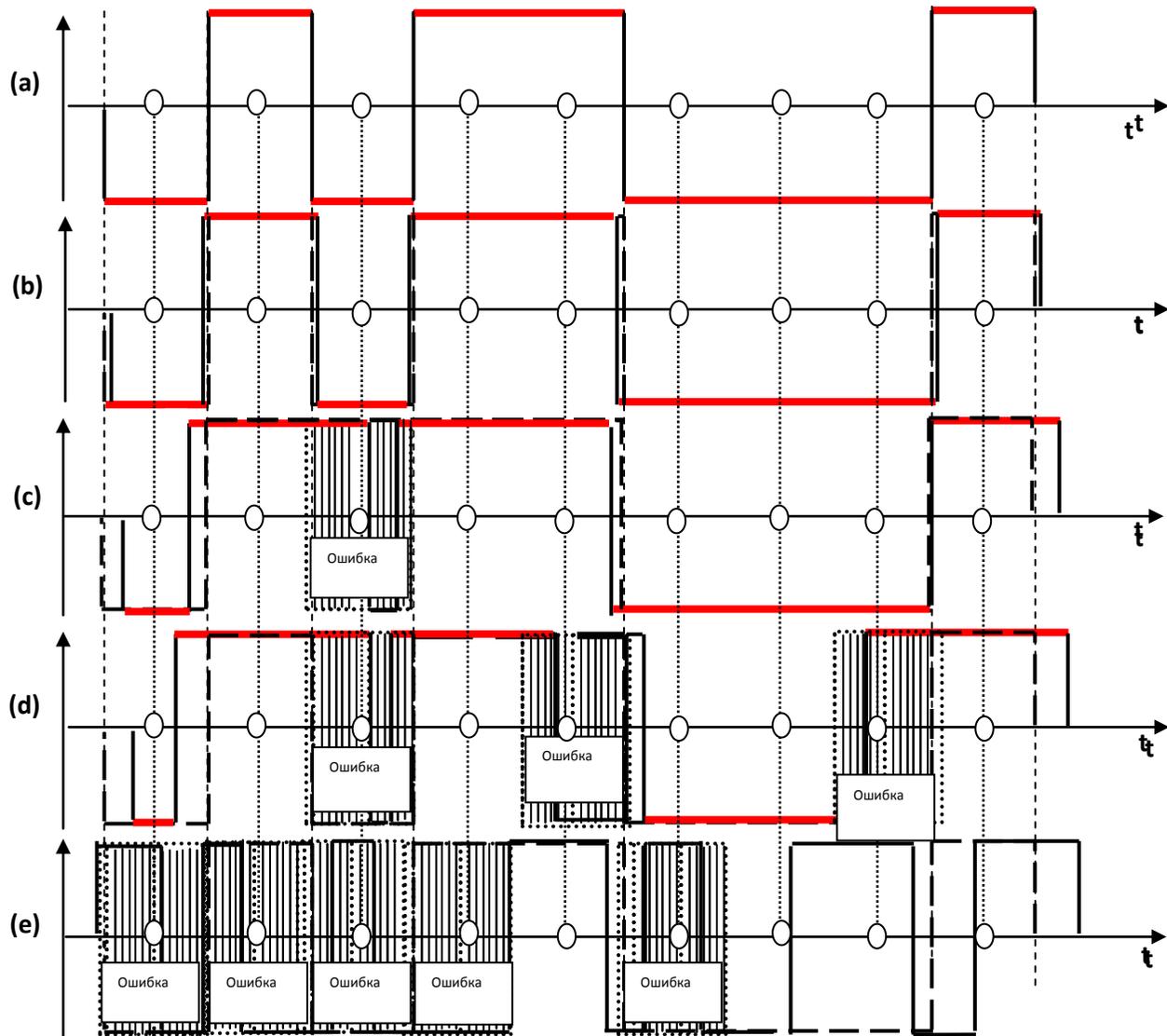
78542	5632I	97653
5632I	76430	54098
43220	88642	80792
7456I	67755	60802
44362	68482	53635

*Профессор ОмГТУ, д.т.н., в.н.с. ОНИИП Хазан В.Л.
Аспирант ОмГТУ Сысолятин Е.А.*

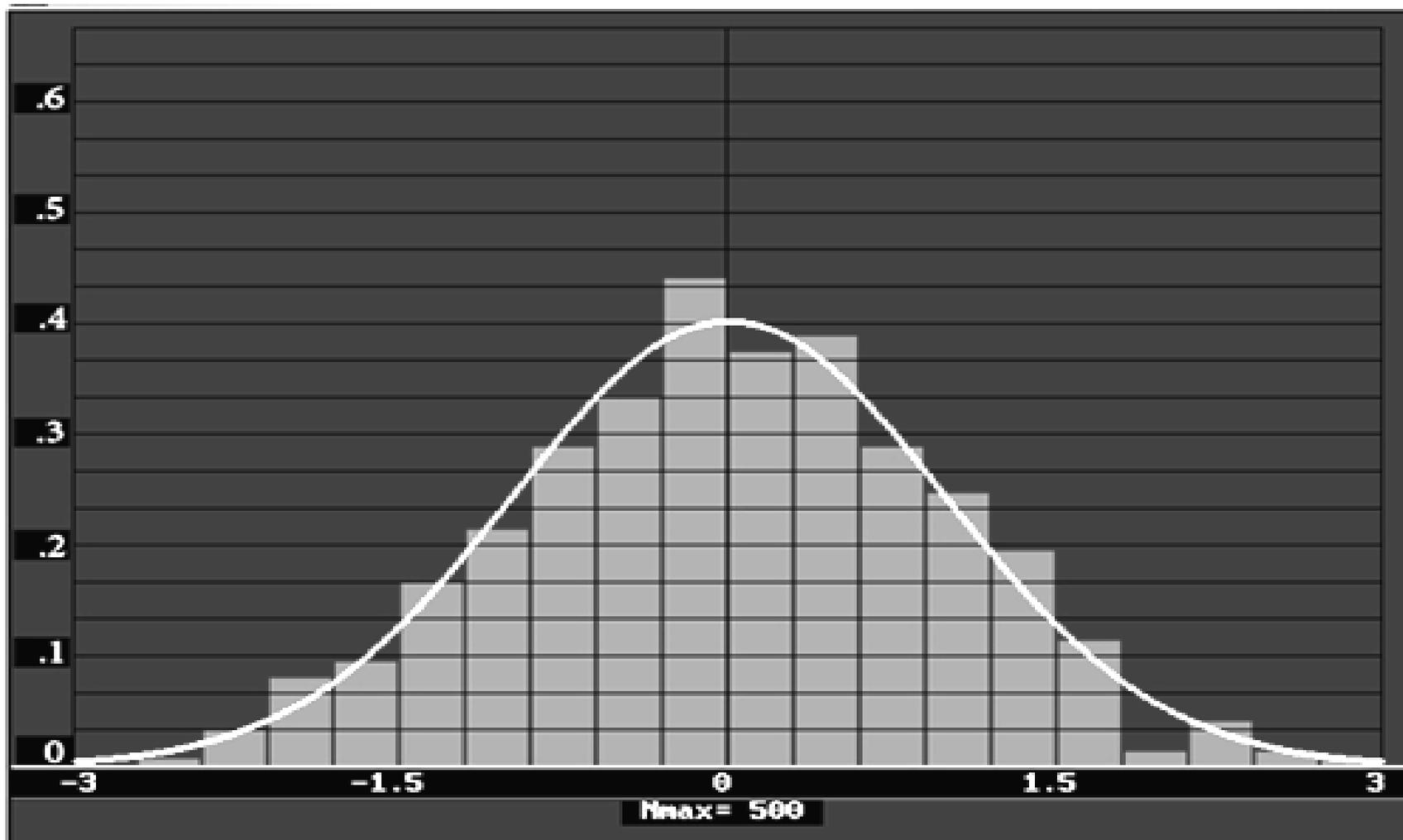
Описываются демодуляторы сигналов, в которых производится *исправление ошибочно принятых элементов*, обнаруженных кодом с избыточностью, *за счет оценки достоверности отдельных элементов* в кодовых комбинациях *по уровню напряжения на выходе фильтра нижних частот* в моменты стробирования регенератором напряжения на выходе триггера, и тем самым кодовые комбинации с обнаруженными ошибками *не стираются, а правильно транслируются на выход* приемного устройства, что *повышает как энергетическую, так и информационную эффективность каналов связи*.

Передача дискретных сообщений производится с помощью кодов. Если кодовые комбинации не содержат избыточности, то ошибка при приеме любого элемента сообщения приводит к ошибочному приему соответствующей кодовой комбинации. **Избыточные** элементы в кодовых комбинациях позволяют как **обнаруживать** ошибочно принятые элементы, так и **исправлять** их. Если в кодовой комбинации имеется k избыточных символов, то в такой кодовой комбинации возможно обнаруживать k или исправлять $\text{ent}[0.5(k-1)]$ ошибочно принятых элементов ($\text{ent}[x]$ – целая часть числа x).

Заметим, что **информационная цена ошибки** в этом случае **в два раза выше информационной цены стирания**. Для обнаружения одиночных ошибок достаточно ввести в кодовые комбинации по одному избыточному элементу и с их помощью проверять эти кодовые комбинации на четность содержания в них элементов «1» или «0». Обычно кодовые комбинации с обнаруженными в них ошибками стираются. Для исправления в них этих ошибок требуются, как уже говорилось, дополнительные информационно избыточные элементы. Но это, повышая помехоустойчивость систем связи, снижает их информационную эффективность.



(a) отсутствие помех в канале связи (телеграфные искажения в бинарной последовательности отсутствуют).
 (b) незначительный уровень шума, который практически не приводит к появлению ошибок.
 (c) шум достигает такого уровня, который приводит к появлению одиночных ошибок в кодовых комбинациях, которые могут быть исправлены за счет свойств телеграфных искажений в бинарной последовательности на выходе триггера.
 (d) соответствует большому уровню шума, при котором вероятность ошибок очень велика.
 (e) отражает случай отсутствия сигнала в канале связи.



Гистограмма распределение отклонений фронтов элементарных посылок от их среднего местоположения на оси времени

Для **оценки эффективности** представленного метода приема дискретных сообщений рассмотрим вероятность ошибочного приема **6-элементной кодовой комбинации с проверкой на четность элементов «1» и «0»**. В случае **обычно** используемого метода приема при нечетном числе ошибочно принятых соответствующих элементов в такой кодовой комбинации она признается **недостовой и стирается**. Выше отмечалось, что стирание **недостовых кодовых комбинаций** информационно в два раза выгоднее ошибочного их приема. Поэтому будем считать, что **две стертых кодовых комбинации эквивалентны одной кодовой комбинации, принятой ошибочно**. Вероятность **обнаружения** с помощью проверки на четность в 6-элементной кодовой комбинации нечетного числа ошибочно принятых элементов P_c равна:

$$P_c = 6p_1(1 - p_1)^6 + C_6^3 p_1^3 (1 - p_1)^3 + 6p_1^5 (1 - p_1).$$

Здесь C_N^n – число сочетаний из N по n : $C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$.

Вероятность **ошибочного** приема 6-элементной кодовой комбинации, в которой имеет место четное количество ошибочно принятых элементов, определяется с помощью выражения:

$$P_{\text{ош}} = C_6^2 p_1^2 (1 - p_1)^4 + C_6^4 p_1^4 (1 - p_1)^2 + 6p_1^6$$

С учетом того, что стирание информационно в два раза выгоднее ошибочного приема кодовой комбинации, определим эквивалентную вероятность ошибки $P_{\text{ошэкв}}$ как

$$P_{\text{ошэкв}} = P_{\text{ош}} + 0.5P_c,$$

где $P_{\text{ош}}$ – вероятность ошибочного приема кодовой комбинации,

P_c – вероятность стирания кодовой комбинации.

Если считать, что все одиночные ошибки элементов в кодовой комбинации исправляются, а все комбинации, в которых число ошибок более 2-х стираются за счет оценок их недостоверности, то эквивалентная вероятность ошибки описывается выражением:

$$P_{\text{ошэкв}} = C_6^2 p_1^2 (1 - p_1)^4 + C_6^4 p_1^4 (1 - p_1)^2 + 6p_1^6 + \\ + 0.5(6p_1(1 - p_1)^6 + C_6^3 p_1^3 (1 - p_1)^3 + 6p_1^5(1 - p_1)).$$

Для исследования эффективности способа приема дискретных сообщений с исправлением одиночных ошибочно принятых элементов, обнаруженных методом проверки на четность, была использована **компьютерная имитационная модель канала связи с краевыми искажениями**. Квинтэссенцией этой имитационной модели канала связи является **представление отдельных элементов сообщения в виде достаточно большого количества квантов**, которые принимаются с **определенной вероятностью ошибок**, зависящей как от **числа квантов**, на которое разбит элемент, так и от **вида модуляции сигнала и отношения сигнал/шум** на выходе фильтра основной избирательности демодулятора. В использованном варианте модели количество квантов бралось равным **100**, а вид модуляции - **ОФМ**.

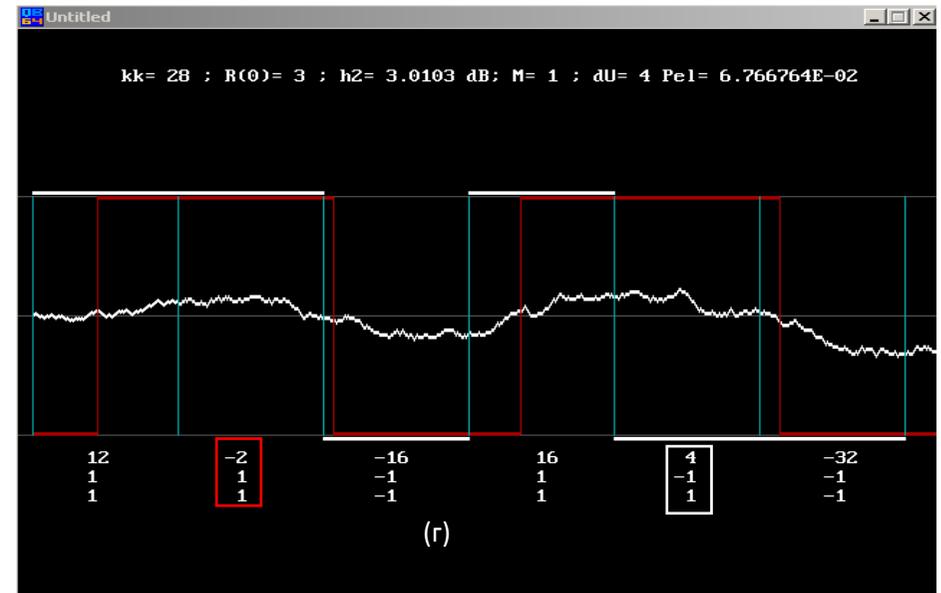
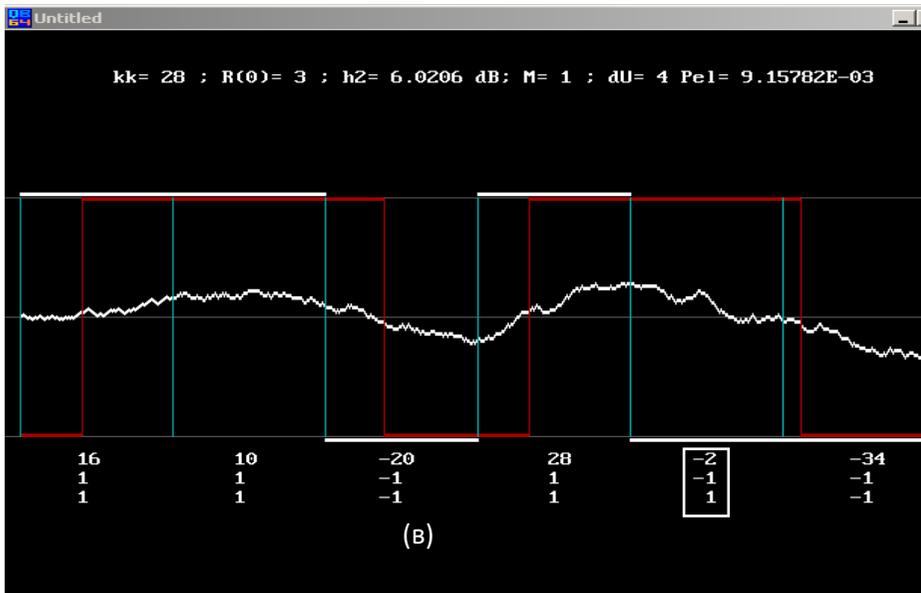
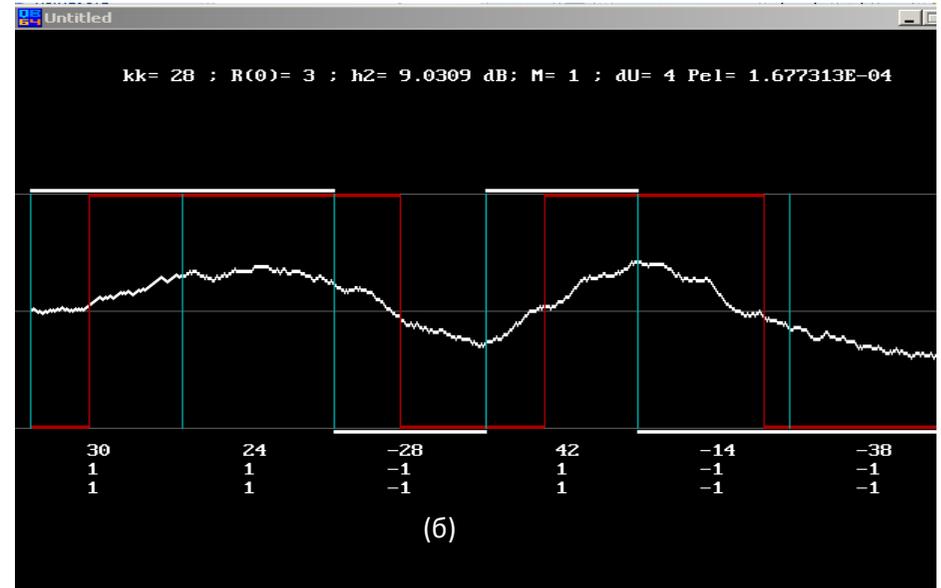
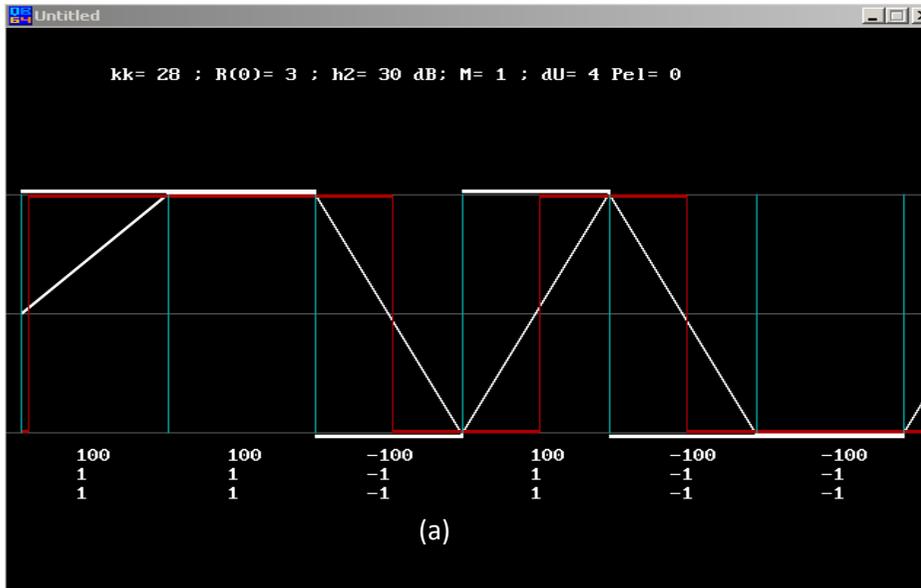
Вероятность ошибки элементов при приеме сигналов с ОФМ описывается выражением $p_1 = \frac{1}{2} e^{-h^2}$, где h^2 – отношение мощностей сигнала и шума на выходе фильтра основной избирательности демодулятора.

Напряжение на выходе фильтра нижних частот представляет собой **результат суммирования в скользящем окне всех квантов на интервале времени T** , равном длительности элемента сообщения.

Как и в реальной схеме, **триггер** принимает решение «1», если напряжение на выходе фильтра нижних частот является положительным. Если на выходе фильтра нижних частот напряжение оказывается отрицательным, то триггер принимает решение «-1».

Для уменьшения количества **просечек** в напряжении на выходе триггера на его входе предусматривалась **зона нечувствительности**, равная ± 2 . То есть для смены напряжения на выходе триггера требуется, чтобы количество вновь поступающих в сумматор скользящего окна квантов очередного элемента, имеющего противоположную полярность по сравнению с предыдущим элементом, превысило накопленное ранее их число с полярностью предыдущего элемента на 2.

Ниже изображены осциллограммы передаваемой методом ОФМ кодовой комбинации, напряжения на входе и выходе триггера для **четырех различных уровней отношения сигнал/шум**. Фрагменты осциллограммы на экране компьютера соответствует одной и той же 6-элементной кодовой комбинации.



Вероятность ошибочного приема 6-элементных кодовых комбинаций для общепринятого метода приема со стиранием кодовых комбинаций с обнаруженными ошибками (график 1) и для метода приема с исправлением обнаруженных одиночных ошибок (график 2)



Для технической реализации представленного метода приема дискретных сообщений на приемной стороне канала связи необходимо иметь **две линии задержки**: одну **дискретную**, способную запоминать значения принятых элементов на длительности кодовой комбинации и вторую **аналоговую**, способную запоминать значения напряжений на входе триггера в моменты стробирования регенератором напряжения на его выходе для всех элементов на длительности кодовой комбинации.

При поступлении команды от декодера об обнаружении ошибок трансформируются элементы в дискретной линии задержки, которые соответствуют наименьшим значениям напряжения на входе триггера из общего числа значений напряжений, содержащихся в аналоговой линии задержки. Одновременно на длительности каждой кодовой комбинации определяется количество элементов, у которых напряжения на входе триггера имеют чрезвычайно низкий уровень и **если количество таких элементов оказывается больше допустимого**, то такая кодовая комбинация признается недостоверной и **стирается независимо от того, какое решение принимает декодер**, поскольку последний не в состоянии определить в кодовой комбинации количество ошибочно принятых элементов сообщения превышающих определенный **порог**, обусловленный кодовой избыточностью.

Вычислительный эксперимент показал, что представленный алгоритм работы декодера с исправлением одиночных обнаруженных с помощью кода с проверкой на четность ошибочно принятых элементов позволяет получить энергетический выигрыш в районе вероятностей ошибочно принятых кодовых комбинаций $5 \cdot 10^{-2}$ порядка 3-х дБ, что позволяет на порядок уменьшить вероятность ошибок в принимаемых дискретных сообщениях.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ