

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЦИФРОВОГО ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ

**Светлов М.С., в.н.с., д.т.н.; Чернова Т.В., студ., Львов А.А., проф., д.т.н.**

*(Институт проблем точной механики и управления РАН; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия)*

Исследование современных распределенных по значительной территории систем передачи информации, в частности, цифровых систем телевизионного вещания, является весьма трудоемким. Это объясняется сложностью реальных устройств, высокой их стоимостью, отсутствием гибкости в изменении параметров систем и т.п. В связи с этим предпочтительным является использование для исследовательских целей имитационных моделей. Они позволяют моделировать системы практически любой сложности при относительно низкой стоимости моделей. Простота моделирования любых входных информационных потоков, реализация моделей каналов с заданными статистическими свойствами, возможность изменения параметров моделируемых систем в широком диапазоне их значений, вариация структурных и алгоритмических процедур обработки сигналов, допускаемых стандартом, делают имитационные модели незаменимыми при исследованиях телерадиовещательных систем цифрового формата. При этом исключительно важной является возможность исследования систем с целью определения оптимальных значений их параметров [1].

В системах передачи данных, использующихся в современной связи, определяющей характеристикой является вероятность ошибочного приема, которая, в соответствии с международными стандартами [2], измеряется величиной  $E$ , характеризующейся числом  $n_e$  неисправленных (оставшихся на выходе последней ступени декодирования) ошибок в информационной последовательности длины  $N$  бит:

$$E = n_e / N \text{ [BER]}. \quad (1)$$

Выбор значений основных параметров системы преследует цель минимизировать величину вероятности ошибочного приема  $E$ . Для исследования влияния рабочих параметров системы на достоверность передачи (информационную надежность) использован специальный программный аппарат TVModelling v.1.01.

Для исследования в этой среде были реализованы два варианта структур кодирования-декодирования на базе принятых в стандарте DVB-T [2] алгоритмов обработки сигналов. Блок-схемы имитационных моделей представлены на рис. 1.

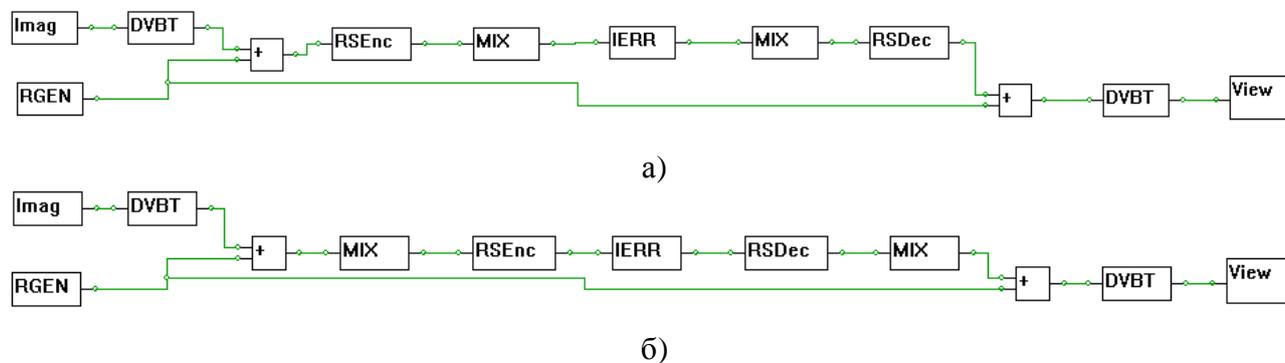


Рисунок 1 - Варианты блок-схем моделей структур кодирования-декодирования стандарта DVB-T

Основными блоками моделей являются блоки перемежения (MIX), скремблирования и дескремблирования (RGEN, +), кодеров и декодеров Рида-Соломона (RSEnc, RSDec), блоки входной и выходной информационных последовательностей (DVBT), блок модели канала

связи (IERR). Как видно из рис. 1, модели отличаются последовательностью соединения блоков перемежения и кодеров-декодеров Рида-Соломона. Исследование влияния очередности обработки сигналов на качество системы представляет особый интерес, так как стандарт DVB-T [2] жестко не регламентирует алгоритм кодирования, а, следовательно, и декодирования информации. Таким образом, имея два различных варианта моделирования этих алгоритмов и возможность гибко варьировать параметры моделей, удастся определить характеристики системы, при которых минимизирована величина вероятности ошибочного приема. В таблице 1 приведены некоторые результаты модельного эксперимента.

В таблице 2 приведены выборочные значения математического ожидания и среднеквадратического отклонения, вычисленные по экспериментальным данным таблицы 1 соответственно по формулам (2) и (3).

$$M(x) = \sum_{i=1}^n p_i x_i, \quad (2)$$

где  $x_i$  – число ошибок на выходе при  $i$ -ом измерении;  $p_i \in [0,1]$  – вероятность появления ошибок на выходе при  $i$ -ом измерении.

Данные в таблице 2 получены, когда величина  $p_i = 1$  ( $i = \overline{1, n}$ ).

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{M(x^2) - [M(x)]^2}. \quad (3)$$

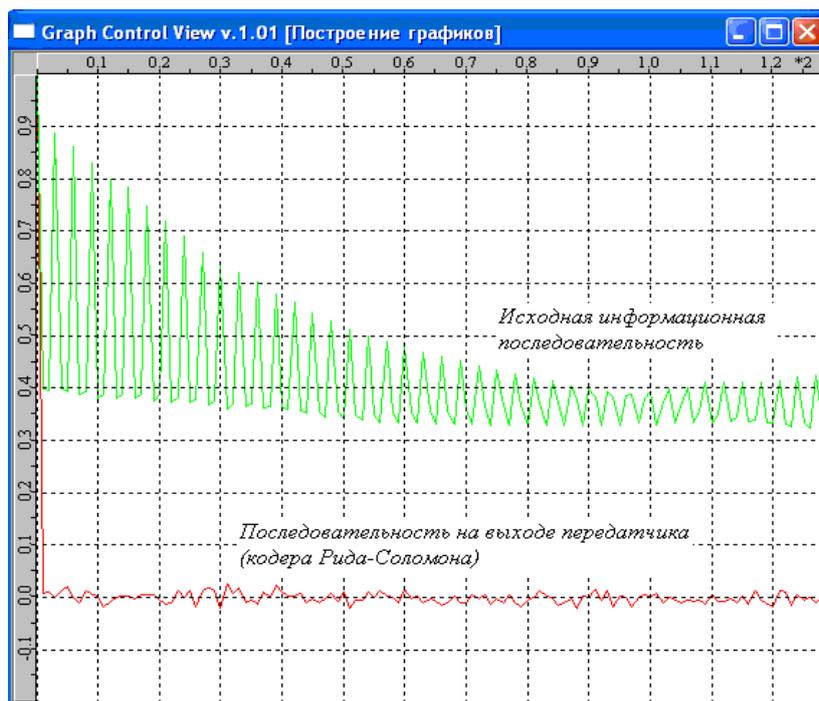
Таблица 1 - Количество ошибок на выходе приемника в зависимости от числа ошибок в пакете и корректирующей способности кодеров/декодеров Рида-Соломона

№ exper.	Число ошибок в пакете	Корректирующая способность	Кол-во ошибок на выходе	
			а)	б)
1	2	2	0	0
2	2	2	0	0
3	2	2	0	0
4	3	2	5977	6089
5	3	2	6011	6020
6	3	2	6061	6073
7	3	2	5962	5971
8	3	2	6005	6007
9	4	2	7645	7662
10	4	2	7631	7638
11	4	2	7583	7665
12	4	2	7656	7715
13	4	2	7643	7749
14	9	8	12932	13219
15	9	8	13048	13068
16	9	8	12927	13020
17	9	8	13111	13123
18	9	8	13078	13073
19	9	8	13064	13164
20	9	8	13011	13195

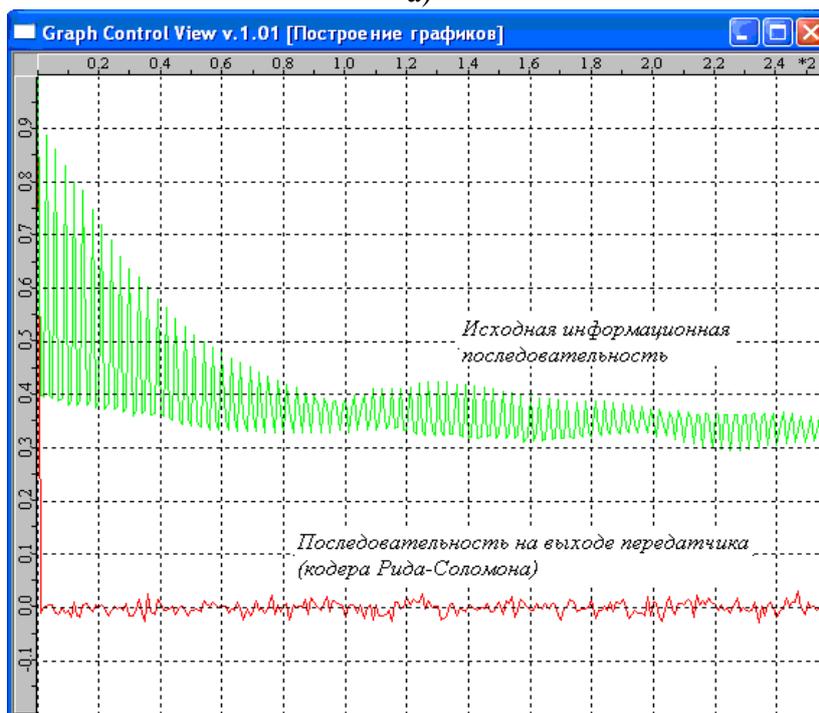
Таблица 2 - Статистические характеристики (математическое ожидание, СКО) систем, изображенных на рисунке 1

Число ошибок в пакете	Корректирующая способность	$M(x)$		$\sigma$	
		а)	б)	а)	б)
2	2	0	0	0	0
3	2	0	0	34,026	43,405
4	2	0	0	25,562	40,328
9	8	5977	6089	67,894	133,77

На рисунках 2 и 3 приведены соответственно корреляционные и спектральные характеристики входных и выходных сигналов моделей передатчиков.



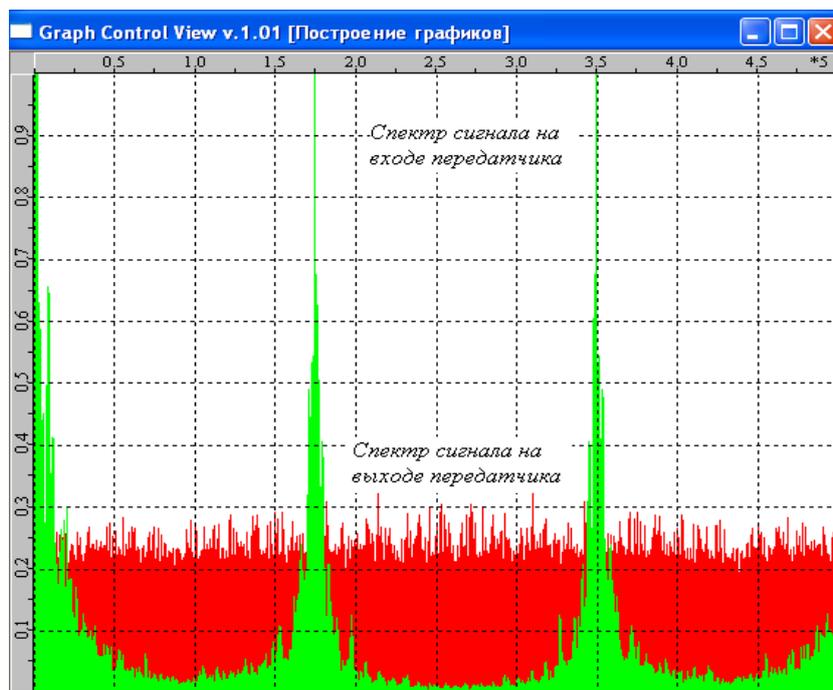
а)



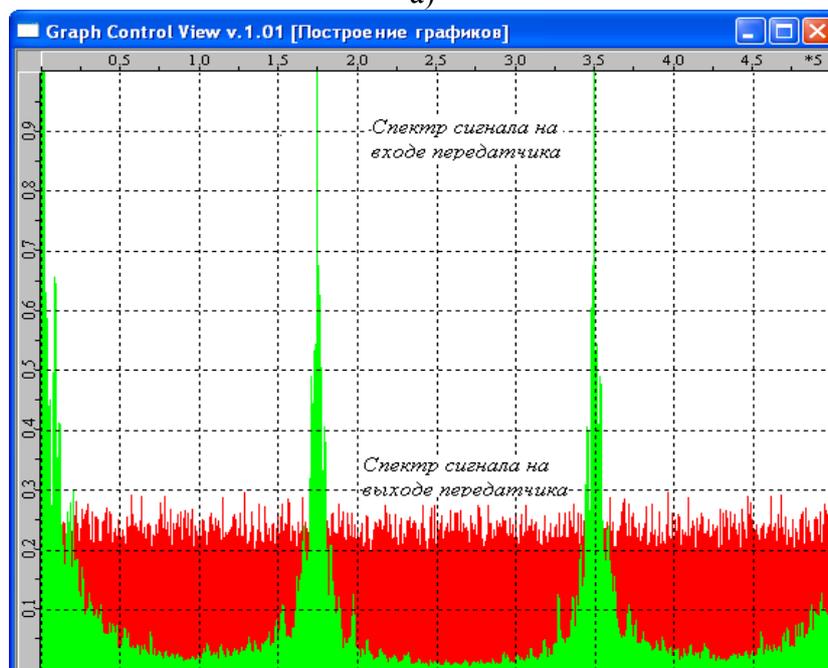
б)

Рисунок 2 - Автокорреляционные функции, соответствующие:  
а) схеме на рисунке 1, а), б) схеме на рисунке 1, б).

Нетрудно увидеть, что характеристики (рисунки 2, 3) для обеих систем близки друг к другу. Это объясняется включением в структуру алгоритма обработки сигнала процедуры рандомизации, реализуемой блоками скремблирования-дескремблирования. Свойства передаваемого сигнала приближаются к свойствам шумового сигнала, что, в свою очередь, приводит к более равномерному распределению энергии в используемой полосе частот. В конечном счете, это ведет к возможности обеспечения более высокого уровня помехозащищенности.



а)



б)

Рисунок 3 - Спектры входного и выходного сигналов передатчика, соответствующие:  
а) схеме на рисунке 1, а); б) схеме на рисунке 1, б).

Несмотря на то, что указанные структуры имеют качественное сходство, тем не менее, точная оценка и сравнение количественных показателей информационной надежности позволяют сделать вывод о некоторых преимуществах модели, приведенной на рисунке 1, а).

#### Перечень ссылок

1. Львов, А.А. Численное моделирование и анализ воздействия искажений на OFDM/QAM-сигнал / А.А. Львов, В.В. Киселёв // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2013. Т. 13, вып. 3. – С. 102-108.
2. Национальный стандарт Российской Федерации. Тракт передачи сигналов цифрового вещательного телевидения. Звенья тракта и измерительные сигналы. Общие требования. ГОСТ Р 52592-06.