

УДК 621.391

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАНАЛОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СТАНДАРТА DVB-C2

Э.Б. ЛИПКОВИЧ, А.А. ПАВЛОВСКИЙ, А.А. СЕРЧЕНЯ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь**Поступила в редакцию 30 октября 2019*

**Аннотация.** Рассмотрены принципы построения и функционирования передающего тракта цифровой распределительной сети стандарта DVB-C2. Представлены расчетные соотношения, по которым определены значения информационной скорости и спектральной эффективности каналов DVB-C2 с различными видами и порядком модуляции. Приведены математические модели расчета помехоустойчивости стандарта DVB-C, использующий многопозиционные виды модуляции и блочное кодирование по алгоритму Рида – Соломона (РС). На основании расчетных моделей выполнен сравнительный анализ эффективности каналов DVB-C2 и DVB-C и отмечены существенные преимущества систем второго поколения. Дана оценка показателей эффективности реальных каналов DVB-C2 по сравнению с теоретически достигаемыми по Шеннону.

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, многопозиционные виды модуляции, кодирование, энергетическая эффективность, вероятность ошибки.

### Введение

Возросшие требования к пропускной способности и энергетической эффективности кабельных сетей цифрового телевизионного вещания и мультисервисных услуг привели к разработке нового стандарта DVB-C2 EN 302769 [1]. Стандарт DVB-C2 и рекомендация к нему TS 102 991 [2] утверждены ETSI в 2011 г. Основные положения нового стандарта базируются на спецификациях транспортных стандартов DVB-S2 [3] и DVB-T2 [4], зарегистрированных в ETSI в 2006 и 2008 гг. соответственно.

К числу отличительных особенностей стандарта DVB-C2 по сравнению с DVB-C следует отнести:

- возможность обработки нескольких входных потоков, переносящих разные виды информационных услуг (концепция PLP – Physical Layer Pipe);
- двухступенчатое кодирование принятых данных по схеме BCH+LDPC;
- адаптивный выбор требуемых параметров передачи;
- использование высокоформатных видов модуляции QAM-1024 и QAM-4096 для повышения спектральной эффективности сети;
- применение устойчивого к интерференции многочастотного режима передачи с защитными интервалами между OFDM-символами;
- внесение в передаваемый поток несущих пилот-сигналов, необходимых для коррекции искажений в распределительной сети и быстрого вхождения приемника в режим синхронизма.

### Принципы построения и функционирования передающего тракта системы

На рис. 1 приведена структурная схема передающего тракта системы DVB-C2. На входы тракта могут параллельно поступать независимые потоки данных TS/GS, содержащие транспортные пакеты MPEG-2 TS, IP-пакеты по протоколу GSE (Generic Stream Encapsulation) и непакетированные данные.

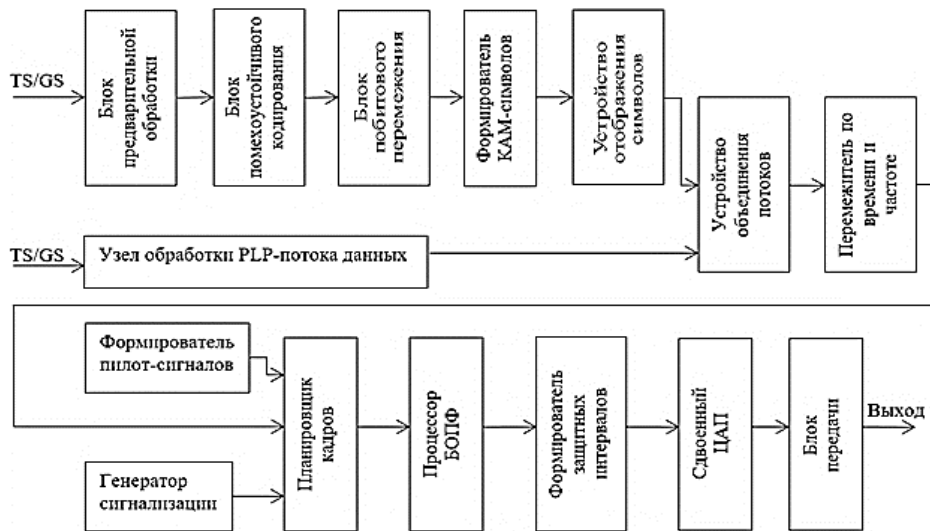


Рис. 1. Структурная схема передающего тракта системы DVB-C2

Каждый отдельный входной информационный поток проходит блок предварительной обработки данных (БПОД), или модуль адаптации режима, структурная схема которого приведена на рис 2. По своей структуре и решаемым задачам этот блок подобен аналогичным модулям обработки PLP-потоков стандартов DVB-S2 и DVB-T2.

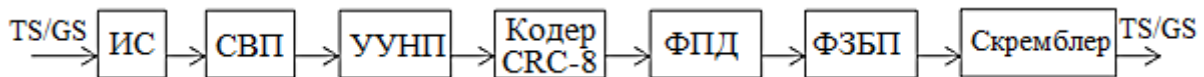


Рис. 2. Блок предварительной обработки PLP-потока

В состав БПОД входят: интерфейс сопряжения (ИС); синхронизатор входного потока (СВП) для синхронизации устройств приема по тактовой частоте  $F_r = 8\Delta f_k / 7$ ; устройство удаления нулевых пакетов (УУНП) из транспортного потока; кодер CRC-8 для обнаружения на приеме ошибок в пакете; формирователь полей данных (ФПД) требуемых размеров; формирователь заголовка базовой полосы (ФЗБП) и скремблер. Заголовок имеет длину 80 бит, содержит сведения о характеристиках потока и располагается перед полем данных.

По выделенному на приеме идентификатору PLP ID все пакеты, не принадлежащие к затребованной услуге, не обрабатываются. Скремблер выполнен на сдвиговом регистре с обратной связью, описывается полиномом  $G(x) = 1 + x^{14} + x^{15}$  и упрощает восстановление тактовой частоты на приеме при длинных сериях нулей и единиц на стороне передачи. Исходное состояние скремблера устанавливается через интервалы поля данных инициализирующей последовательностью 100101010000000. С выхода БПОД скремблированный поток поступает на внешний кодер с кодом Боуза-Чоудхури-Хоквингема (BCH – Bose Chaudhuri Hocquenghem) блока помехоустойчивого кодирования. Кодер BCH является циклическим, двоичным и работает с длинными кодами. Длина информационной части кода  $K_{BCH} = (n_L \cdot R_L - 16t)$ . Она зависит от относительной скорости внутреннего LDPC-кодера с низкой плотностью проверок на четность  $R_L = k_L / n_L$  и является частью (рис. 3) общей длины кодового слова  $n_L = 64\ 800$  бит (стандартный формат), или  $n_L = 16200$  бит (сокращенный формат), где  $t$  – исправляющая способность кода BCH,  $16t$  – проверочная часть кода BCH.

Относительная скорость кода BCH близка к единице и рассчитывается по формуле

$$R_{BCH} = K_{BCH} / N_{BCH} = 1 - (16t / R_L \cdot n_L). \quad (1)$$

Для кодера LDPC значения  $R_L$  установлены равными: 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 9/10 при  $n_L = 64\ 800$  бит и 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9 при  $n_L = 16200$  бит. Задача процесса кодирования состоит в определении состава кодового слова и его проверочной части ( $n_L - k_L$ ).

Результирующая кодовая скорость  $R_k$  определяется по формуле

$$R_k = R_L - (16t / n_L). \quad (2)$$

Принятый в DVB-C2 двухступенчатый способ кодирования с разной структурой построения отдельных устройств по схеме BCH + LDPC обеспечивает лучшую помехоустойчивость приема по сравнению с одноступенчатым декодированием по алгоритму Рида – Соломона, принятому в DVB-C.

С выхода кодера с кодом с низкой плотностью проверок на четность (LDPC – Low Density Parity Checking) данные поступают на блок побитового перемежения, в котором по определенному правилу в зависимости от значений  $R_L$  и  $Q_L = 180(1 - R_L)$  осуществляется перемежение проверочных бит. После этой операции следует повторное перемежение на базе блочного перемежителя со сдвигом начала стартовых позиций в столбцах. Запись данных в блочный перемежитель производится по столбцам, считывание – по строкам. Число столбцов и строк зависит от кратности модуляции  $m$ . При  $m = 4, 6, 8, 10$  и  $=64$  800 бит их число составляет  $2m$  и  $n_L / 2m$  соответственно. Например, при использовании QAM-16 ( $m = 4$ ) число столбцов равно 8, а число строк в каждом столбце – 8100. Для QAM-4096 ( $m = 12$ ) число столбцов и строк равно 12 и 5400 соответственно. Стартовая позиция в столбцах сдвигается на определенную величину, принятую в стандарте. Например, для QAM-16 с восемью столбцами величина сдвига в столбцах равна 0; 0; 2; 4; 5; 7; 7. В формирователе QAM -символов поток данных демультиплексируется на кортежи. Их число составляет  $n_L/m$ , а число бит в картеже –  $m$ . Имеющееся сочетание бит в каждом кортеже с учетом кода Грея отображается на сигнальном созвездии модулятора определенным вектором сигнала. Положение этого вектора представляется в устройстве отображения символов комплексным числом  $\dot{Z}q$ . Для усреднения выходной мощности передатчика при использовании в системе разных видов модуляции значения  $\dot{Z}q$  нормируются на величину  $\sqrt{E_{cp}} = \sqrt{2(M-1)}/3$ , т. е. на  $\sqrt{2}, \sqrt{10}, \sqrt{42}, \sqrt{70}, \sqrt{170}, \sqrt{682}, \sqrt{2138}$ , для QAM с  $M$ , равными 4, 16, 64, 256, 1024 и 4096 соответственно.

Поскольку PLP-потoki могут переносить разные объемы данных и ввиду того, что кабельная распределительная сеть является закрытой средой без ограничений на выбор полосы каналов, то в стандарте DVB-C2 рекомендуется объединять потоки в устройстве объединения потоков (УОП) в слайсы (блоки). Ширина полосы каждого блока определяется объемом данных и числом несущих, выделенных ему для передачи. При базовом формате передачи в режиме работы 4k суммарное число несущих  $N_\Sigma = 3408$ , частотный разнос между ними  $\Delta f_p = 1/T_{ин} = 2,232$  кГц и ширина полосы блока  $\Delta f_c = N_\Sigma \cdot \Delta f_p = 7,61$  МГц. Здесь  $T_{ин}$  – длительность информационной части OFDM-символа, равная 448 мкс для  $\Delta f_k = 8$  МГц. Блоки могут объединяться в общую группу без защитных полос между ними (рис. 3), что повышает скорость передачи данных и эквивалентную полосу  $\Delta f_{эк}$ , занимаемую сигналом в полосе канала  $\Delta f_k$ .



Рис. 3. Структура кадра системы DVB-C2

Для сохранения единства в ширине полосы приемников разных стандартов в DVB-C2 рекомендован сегментированный способ передачи и приема, подобно принятому в японской системе ISDB-T. Суть сегментации состоит в выделении для конкретного вида услуг и объема переносимых данных определенного числа несущих. Объединенные блоки данных PLP-поток подвергается временному и частотному перемежению. При временном перемежении задействованы два блока буферной памяти: в первый вносятся данные, а из второго они считываются. Далее происходит переключение режимов. При частотном перемежении осуществляется изменение порядка следования QAM-символов в цифровой последовательности, что исключает их передачу на близлежащих несущих OFDM-символов. В этом отношении частотное перемежение можно трактовать как способ борьбы с узкополосными помехами, поскольку перемежение QAM-символов эквивалентно частотному перемежению несущих.

Следующим устройством в системе DVB-C2 является планировщик кадров. Планирование кадров начинается с формирования преамбулы (заголовка), которая занимает полосу частот 7,61 МГц и состоит из одного или нескольких OFDM-символов длительностью  $T_{\text{и}}$ . Каждая шестая несущая преамбулы предназначена для передачи пилотных данных, поступающих от генератора сигнализации L1. В частности, в преамбулу вносятся сведения о начальных и конечных значениях частот отдельных блоков (слайсов), значение оптимальной частоты настройки приемника на требуемый блок, данные, описывающие состав преамбулы и др. Благодаря этой информации достигается точная настройка приемника на требуемый сегмент общей полосы, переносящий заданный вид услуг.

Преамбула и 448 OFDM-символов с  $T_{\text{и}} = 448$  мкс образуют кадр общей длительностью около 200 мс. Для обеспечения устойчивого приема сигналов при меняющихся параметрах в среде передачи в каждый кадр вносятся несущие пилот-сигналов, отличающиеся от информационных несколько большей амплитудой. Делятся пилотные несущие на три группы: с постоянными позициями в OFDM-символе, рассеянные по кадру и граничные, указывающие на края каждого символа. Общее число пилотных несущих  $N_{\text{пс}}$  в OFDM-символе может варьироваться и составлять некоторую часть от общего числа информационных несущих  $N_{\text{и}}$ . Наибольшее применение при построении системы данного стандарта получили два значения отношений  $N_{\text{пс}} / N_{\text{и}}$ , равные 1/48 и 1/96.

Величина спектральных потерь от наличия в полосе канала пилотных несущих составляет

$$N_{\Sigma} / N_{\text{и}} = 1 + (N_{\text{пс}} / N_{\text{и}}). \quad (3)$$

Согласно (3) для  $N_{\Sigma} = 3800$  и отношений 1/48 и 1/96 число пилотных несущих равно 70 и 36, а число информационных несущих – 3338 и 3372 соответственно.

В процессорном блоке быстрого обратного преобразования Фурье (БОПФ) осуществляется процедура модуляции несущих, состоящая в матричном перемножении дискретных значений несущих  $N_{\Sigma}$  и комплексных значений QAM-символов. В базовом режиме работы  $4k$  размерность процессорного блока составляет  $4096 \times 4096$ . С увеличением общей полосы, превышающей  $\Delta f_K$ , используются режимы работы  $8k$ ,  $16k$ ,  $32k$ , для которых процессорная емкость в 2, 4 и 8 раз больше, чем в режиме  $4k$ .

Для борьбы в кабельных сетях с интерференцией и эхо-сигналами, возникающими в виде задержанных копий, стандартом предусматривается размещение между OFDM-символами защитных интервалов (ЗИ) длительностью  $T_3$ . Длительность  $T_3$  обычно составляет небольшую часть от информационной длительности символа  $T_{\text{и}}$  и превышает типовую задержку эхо-сигналов в каналах. В стандарте DVB-C2 отношение  $T_3 / T_{\text{и}}$  имеет два значения 1/64 и 1/128. Эти значения относительно принятых в DVB-T/T2 небольшие и оказывают гораздо меньшее влияние на снижение информационной скорости данных, чем в системах НЦТВ [4]. На выходе

блока БОПФ присутствуют двухканальный ЦАП, фильтры нижних частот в  $I$ - и  $Q$ -каналах и блок передачи, оснащенный переносчиками частоты радиосигнала на частоту передачи.

### Математические модели расчета эффективности передающего тракта системы

Информационная скорость данных в тракте системы с учетом потерь от наличия ЗИ, пилотных несущих, заголовка и преамбулы составляет

$$B_0 = \frac{\Delta f_{\text{эк}} \cdot m \cdot R_k}{(1 + N_{\text{пс}}/N_{\text{и}}) \cdot (1 + T_3/T_{\text{и}}) \cdot (1 + 80/n_k) \cdot (1 + \delta/448)}, \text{ бит/с}, \quad (4)$$

где  $\Delta f_{\text{эк}}$  – эквивалентная ширина полосы, занимаемая информационным сигналом в канале, Гц;  $\delta$  – число OFDM-символов в преамбуле.

В табл. 1 приведены результаты расчета  $B_0$  для используемых в DVB-C2 видов модуляции и кодовых скоростей  $R_L$  при условии, что  $\Delta f_{\text{эк}} = 7,61$  МГц,  $T_3/T_{\text{и}} = 1/128$ ,  $N_{\text{пс}}/N_{\text{и}} = 1/96$ ,  $n_L = 64800$  и  $\delta = 2$ .

Таблица 1. Значения информационной скорости передачи данных, бит/с

$R_L$	QAM-16	QAM-64	QAM-256	QAM-1024	QAM-4096
2/3	20,22	30,32	40,44	50,55	60,66
3/4	22,74	34,11	45,48	56,85	68,22
4/5	23,69	35,53	47,38	59,22	71,07
5/6	24,7	37,04	49,39	61,74	74,09
9/10	26,69	40,03	53,38	80,72	80,07

При оценке эффективности характеристик системы DVB-C2 важно исследовать спектральные, энергетические и информационные показатели.

Спектральная эффективность каналов  $\gamma_c$  и удельная скорость данных  $\gamma_0$  рассчитываются по формулам

$$\gamma_c = B_0/\Delta f_k = m \cdot R_k/b_p \cdot L_{\text{и}}, \text{ бит/с} \cdot \text{Гц}; \quad (5)$$

$$\gamma_0 = B_0/B_c = m \cdot R_k/L_{\text{и}}, \text{ бит/симв}; \quad (6)$$

$$L_{\text{и}} = (1 + T_3/T_{\text{и}}) \cdot (1 + 80/n_L) \cdot (1 + \nu/448), \quad (7)$$

где  $B_c$  – символьная скорость, симв/с;  $L_{\text{и}}$  – потери в скорости передачи;  $b_p$  – коэффициент, определяющий потери в использовании полосы канала, равный

$$b_p = \Delta f_k \cdot (1 + N_{\text{пс}}/N_{\text{и}})/\Delta f_{\text{эк}}. \quad (8)$$

Для типовых параметров канала ( $\Delta f_k = 8$  МГц,  $\Delta f_{\text{эк}} = 7,61$  МГц,  $N_{\text{пс}}/N_{\text{и}} = 1/48$  и  $1/96$ ) значения коэффициентов  $b_p$  равны 1,073 и 1,062 соответственно. Эти значения меньше принятого в системе DVB-C  $b_p = 1,15$  и, следовательно, в DVB-C2 лучше используется полоса канала.

В табл. 2 приведены значения  $\gamma_c$  (бит/с·Гц) и отношения несущая/шум  $\rho_c$  (дБ) для каналов формата DVB-C2.

Таблица 2. Значения параметров  $\gamma_c$ ,  $\gamma_0$  и  $\rho_c$  для стандарта DVB-C2

$R_k$	QAM-16		QAM-64		QAM-256		QAM-1024		QAM-4096	
	$\gamma_c$	$\rho_c$	$\gamma_c$	$\rho_c$	$\gamma_c$	$\rho_c$	$\gamma_c$	$\rho_c$	$\gamma_c$	$\rho_c$
2/3	2,53	8,9	3,79	13,5	5,05	17,8	6,32	–	7,58	–
3/4	2,84	10,0	4,26	15,1	5,68	20,0	7,11	24,8	8,53	–
4/5	2,96	10,7	4,44	16,1	5,92	21,3	7,40	–	8,88	–
5/6	3,09	11,4	4,63	16,8	6,18	22,0	7,72	27,2	9,26	32,4
9/10	3,34	12,8	5,01	18,5	6,68	24,0	8,34	29,5	10,01	35,0

Чтобы выявить преимущества в помехоустойчивости и спектральной эффективности каналов DVB-C2 по сравнению с DVB-C, выполним соответствующие расчеты для каналов DVB-C, использующих на стороне приема декодирование по алгоритму Рида – Соломона с жестким принятием решения. Величина отношения, несущая/шум для заданной вероятности ошибки на выходе декодера РС взаимосвязана с величиной ОСШ  $h_k$  и рассчитывается по формулам

$$\rho_k = h_k + 10 \lg \gamma_0, \text{ дБ.} \quad (9)$$

$$h_{kPC} = 10 \lg [2,3(B_i - \lg \sqrt{2,3B_i / \mu_{PC}}) / \mu_{PC}], \text{ дБ.} \quad (10)$$

$$B_i = -\lg P_b - \lg(\sqrt{\pi q_i / C_i}) + \lg \sqrt{\mu_{PC} / q_i}, \quad (11)$$

$$\mu_{PC} = R_{PC}(t+1)\beta_{PC}q_i \quad (12)$$

$$\beta_{PC} = [1 - (L_{PC} / (3,5L_{PC}\sqrt{P_b} - \lg P_b))] / Q_{PC}, \quad (13)$$

$$L_{PC} = \lg[R_{PC}(t+1)\sqrt{d_M q_i}], \quad Q_{PC} = 1 + \lg[(t+1)n / 2t(-\lg P_b)]. \quad (14)$$

где  $\mu_{PC}$  – показатель эффективности процесса декодирования;  $\beta_{PC}$  – показатель взаимосвязи между параметрами кода и вероятностью ошибки на бит  $P_b$ ;  $t = (n-k)/2$  – количество исправляемых символов декодером РС в кодовом слове;  $d_M = (2t+1)$  – минимальное кодовое расстояние по Хэммингу;  $q_i$  – квадрат коэффициента помехоустойчивости;  $R_{PC} = k/n = 188/204$  – кодовая скорость двоичного кода РС, принятая в системе DVB-C;  $\gamma_0 = m \cdot R_k$  – удельная скорость; бит/симв.

Спектральная эффективность каналов DVB-C составляет

$$\gamma_c = \gamma_0 / b_p = m \cdot R_k / 1,15, \text{ бит/с} \cdot \text{Гц.} \quad (15)$$

Результаты расчета значений  $\rho_k$ ,  $h_k$  и  $\gamma_c$  для  $R_{PC} = k/n = 188/204$  и пяти видов модуляции в предположении вероятности ошибки на выходе декодера РС  $P_b = 10^{-11}$  представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов значений  $\rho_k$ ,  $h_k$  и  $\gamma_c$  для каналов стандарта DVB-C, дБ

Параметр	Вид модуляции				
	QAM-16	QAM-32	QAM-64	QAM-128	QAM-256
$\rho_k$ , дБ	17,76	21,02	23,85	26,94	29,78
$h_k$ , дБ	12,1	14,39	16,43	18,85	21,11
$\gamma_c$ , бит/с·Гц	3,205	4,0	4,808	5,61	6,41

В табл. 4 приведены результаты сравнения энергетической эффективности каналов стандартов DVB-C2 и DVB-C при одинаковом формате модуляции и близких для них значений спектральных эффективностей  $\gamma_c$ .

Таблица 4. Результаты сравнения ОНШ стандартов DVB-C2 и DVB-C

$R_k$	Вид модуляции		
	QAM-16	QAM-64	QAM-256
5/6	6,3	7,05	7,78
9/10	4,96	5,35	5,78

Данные табл. 4 отражают заметный выигрыш в ОНШ при использовании составных схем кодирования/декодирования, принятых в DVB-C2, по сравнению с кодированием/декодированием по алгоритму РС с жестким решением. Сравнение данных табл. 2 и 3 показывает, что при QAM-1024 для DVB-C2 требуемое значение ОНШ

( $\rho_k = 29,5$  дБ,  $R_L = 9/10$ ) близко к ОИШ при QAM-256 ( $\rho_k = 29,78$  дБ) для каналов DVB-C. Однако при равенстве значений  $\rho_k$  новый стандарт позволяет при QAM-1024 получить выигрыш в спектральной эффективности 48,6 %.

Таким образом, выполненные исследования и полученные результаты позволяют количественно оценить преимущества DVB-C2 над DVB-C по базовым показателям, а также установить, насколько энергетическая эффективность каналов DVB-C2 проигрывает пределу по Шеннону.

Проигрыш в ОИШ для реального канала по сравнению с потенциально возможным значениям  $\rho_{ш}$  по Шеннону рассчитывается по формуле

$$\delta\rho = \rho_k - \rho_{ш} = \rho_k - 10\lg(10^{0,3\gamma} - 1), \text{ дБ.} \quad (16)$$

Подставляя в (16) данные из табл. 2, получим, что энергетический проигрыш  $\delta\rho$  в случае  $\gamma = \gamma_0 = \gamma_c b_p$  находится в диапазоне значений от 2 до 3 дБ. Этот результат показывает, что при условии обеспечения квазибезошибочного приема сигналов в системе DVB-C2 ее характеристики еще не позволяют вплотную приблизиться к границе Шеннона.

### Заключение

Изложены механизмы функционирования передающего тракта распределительной системы стандарта DVB-C2. Разработаны модели расчета спектральной эффективности и информационной скорости передачи данных по каналам системы. Приведены расчетные соотношения для оценки помехоустойчивости систем стандарта DVB-C, использующие многопозиционные виды модуляции и блочное кодирование по алгоритму Рида – Соломона. Дана сравнительная оценка показателей эффективности каналов стандартов DVB-C2 и DVB-C. Определены отклонения энергетической эффективности реальных каналов DVB-C2 от пороговой эффективности по Шеннону.

## EVALUATION OF EFFICIENCY OF DVB-C2 DISTRIBUTION SYSTEM CHANNELS

E.B. LIPKOVICH, A.A. PAULOUSKI, A.A. SERCHENYA

**Abstract.** The principles of construction and functioning of the transmission path of the digital distribution network of DVB-C2 standard are considered. The calculated relations are presented, according to them the values of information speed and spectral efficiency of DVB-C2 channels with different types and modulation order are determined. Mathematical models of noise immunity calculation of DVB-C standard using multi – position modulation and block coding by Reed-Solomon algorithm (RS) are presented. On the basis of the calculated models, a comparative analysis of the efficiency of DVB-C2 and DVB-C channels was performed and significant advantages of the second generation systems were noted. The estimation of efficiency indicators of real DVB-C2 channels in comparison with theoretically reached on Shannon was given.

*Keywords:* noise immunity, multi-position modulation types, coding, energy efficiency, error probability.

### Список литературы

1. ETSI EN 302 769. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2) [Electronic resource]. URL: <http://www.etsi.org/deliver>. (date of access: 21.10.2019).
2. ETSI TS 102 991. Digital Video Broadcasting (DBV); Implementation Guidelines for a second generation digital cable transmission system (DVB-C2). [Electronic resource]. URL: <http://www.etsi.org/deliver>. (date of access: 21.10.2019).
3. ETSI EN 302 307. Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2). [Electronic resource]. URL: <http://www.etsi.org/deliver>. (date of access: 21.10.2019).
4. ETSI TS 302 775. Digital Video Broadcasting (DBV); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). [Electronic resource]. URL: <http://www.etsi.org/deliver>. (date of access:21.10.2019).
5. ETSI EN 300 429. Framing structure, channel coding and modulation for cable systems [Electronic resource]. URL: <http://www.etsi.org/deliver>. (date of access:21.10.2019).