

ТЕЛЕВИДЕНИЕ

УДК 621.397.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЧАСТОТ ТВ-ВЕЩАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ ДОСТАВКИ ТВ-МУЛЬТИПЛЕКСА

А. Г. Владыко, СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, начальник управления организации научной работы, к.т.н.; vladuko@sut.ru

В. Д. Горегляд, ФГУП «Российская телевизионная и радиовещательная сеть», заместитель генерального директора; vgoreglyad@trtn.ru

Ю. А. Ковалгин, СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, профессор, зав. кафедрой радиоприема, вещания и электромагнитной совместимости, д.т.н.; kowalgin@sut.ru

С. В. Мышьянов, СПбГУТ им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, главный специалист отдела организации научной работы студентов; mishyanov@gmail.com

Предложены варианты построения транспортных сетей доставки сигнала мультиплекса до передатчиков вещательной сети. Подтверждена принципиальная возможность создания одночастотных сетей (Single Frequency Network, SFN) цифрового ТВ-вещания, работающих совместно с предложенной исполнителем транспортной сетью доставки мультиплекса. Выбранное для транспортной сети оборудование позволяет управлять работой транспортной сети и контролировать ее в удаленном режиме. Техничко-экономические расчеты дают основание считать вариант построения транспортной сети ТВ-вещания на основе использования частот ТВК наиболее предпочтительным с точки зрения как экономических показателей, так и простоты реализации и быстроты ввода в эксплуатацию.

Ключевые слова: цифровое телевидение, транспортная сеть доставки мультиплекса.

В настоящее время в Российской Федерации наибольшее распространение получил способ доставки сигналов цифрового телевидения формата DVB-T2 [1] на объекты вещания с помощью спутниковых систем. Мультиплекс формируется на головной станции в Москве из входных MPEG TS потоков, мультиплексируется, после чего данные при помощи шлюза упаковываются в пакеты T2-MI, передаются на спутник «Ямал-202» (49 град. в.д.), с которого и распределяются на всю территорию страны с использованием стандарта DVB-S2 [2]. На вещательных пунктах сигнал принимается при помощи спутникового приемника DVB-S2, декодируется, полученный T2-MI поток подается на модуля-

торы вещательных передатчиков, которые передают в эфир кадры DVB-T2 (рис. 1). Кроме того, требование вставки регионального контента в федеральный мультиплекс приводит в этом случае к необходимости второго подъема модернизированного потока данных на спутник — либо на тот же борт, либо с использованием другого спутника (рис. 2).

Такая схема доведения сигнала федерального мультиплекса до местной радиотелевизионной передающей станции (РТПС) в условиях чрезвычайной ситуации оказывается уязвимой, недостаточно надежной и весьма дорогостоящей. Для повышения надежности транспортных сетей доставки мультиплекса до передатчиков вещательной сети следует рассмотреть, а в дальнейшем и реализовать другие возможные способы доставки сигналов ТВ-вещания до местных РТПС, используя для этой цели наземные средства, такие, например, как свободные ТВ-каналы.

Рассмотрению этой проблемы посвящена данная работа. В качестве базы для проведения исследований были выбраны объекты Краснодарского краевого радиотелевизионного передающего центра (КРТПЦ).

Структура опытной транспортной сети. Технология DVB-T2 не предполагает передачу в эфир передатчиками вещательной сети управляющей информации, содержащейся в пакетах T2-MI, а это создает дополнительную проблему при построении транспортной сети доставки мультиплекса. При построении транспортной сети необходимо мультиплексировать потоки каналов физического уровня (PLP), передаваемых в эфир, при этом пропорционально количеству применяемых PLP увеличивается количество

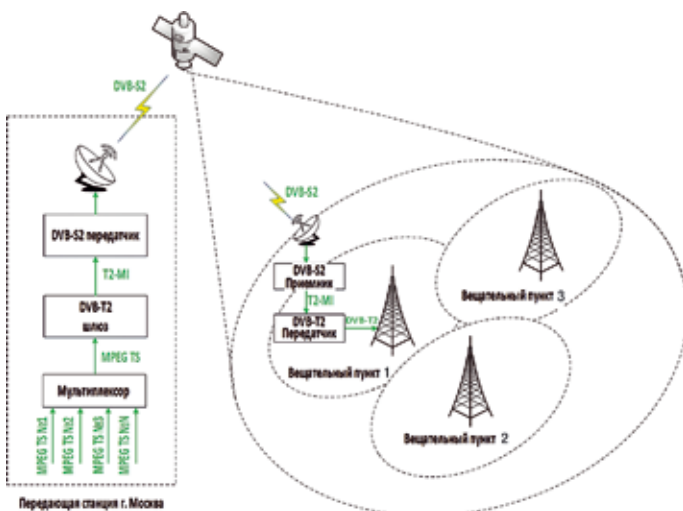


Рис. 1. Существующая в России схема распределения ТВ-сигнала

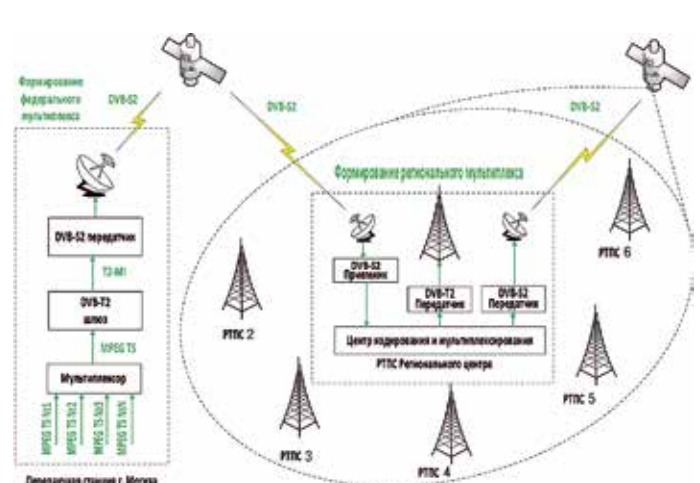


Рис. 2. Распределение ТВ-сигнала с учетом формирования регионального мультиплекса

необходимых приемных модулей, а также требуется восстанавливать эквивалент управляющего сигнала T2-MI для каждого последующего вещательного передатчика, т.е. применять специализированное дорогостоящее оборудование DVB-T2 Gateway в каждой точке приема.

При выборе структуры опытной транспортной сети были рассмотрены возможные варианты построения транспортных сетей цифрового телевидения (рис. 3–5).

На рис. 3 и 4 показаны два варианта построения транспортной сети с сохранением режима многопоточного PLP

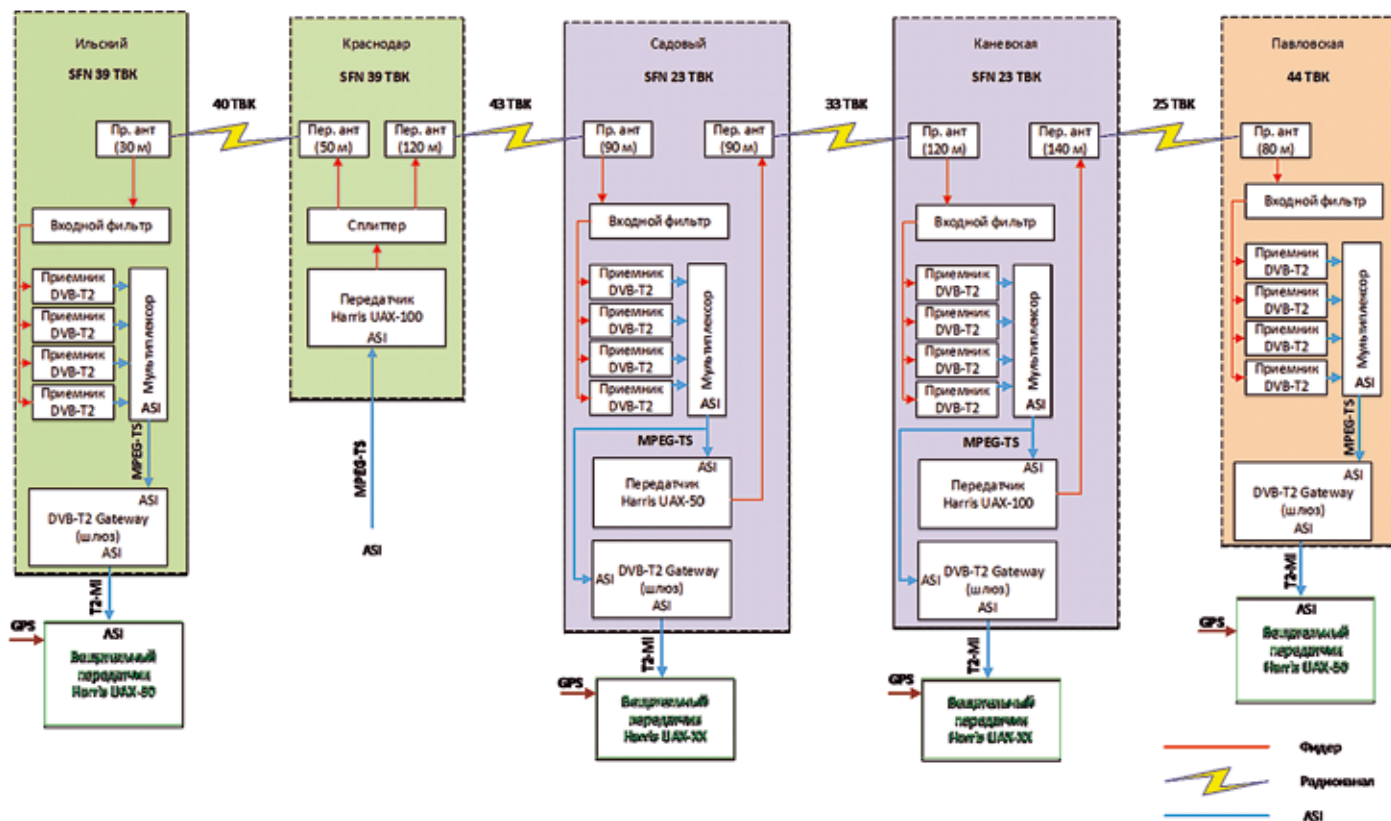


Рис. 3. Структура опытной транспортной сети доставки мультиплекса на вещательные передатчики КРТЦ (режим многопоточного PLP с поддержкой работы вещательных передатчиков в SFN)

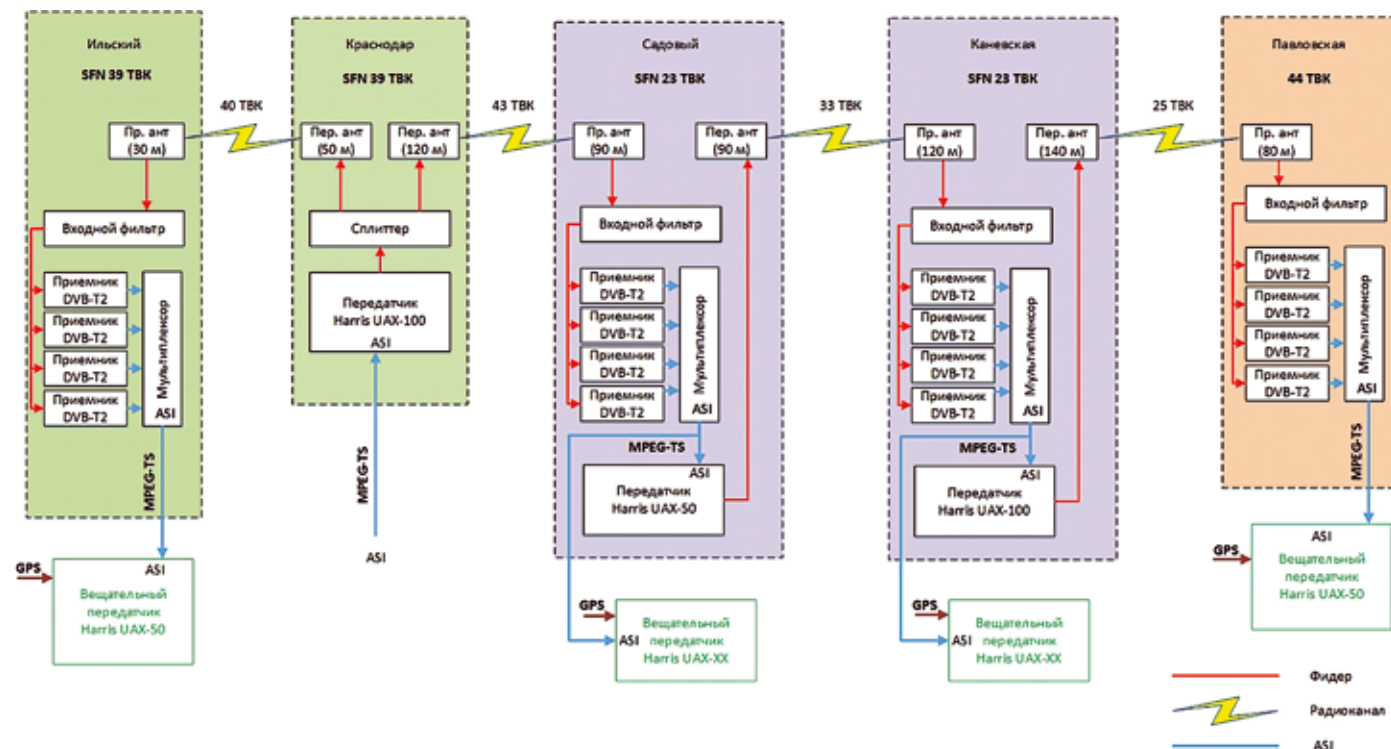


Рис. 4. Структура опытной транспортной сети без поддержки работы основных вещательных передатчиков в SFN (режим многопоточного PLP)

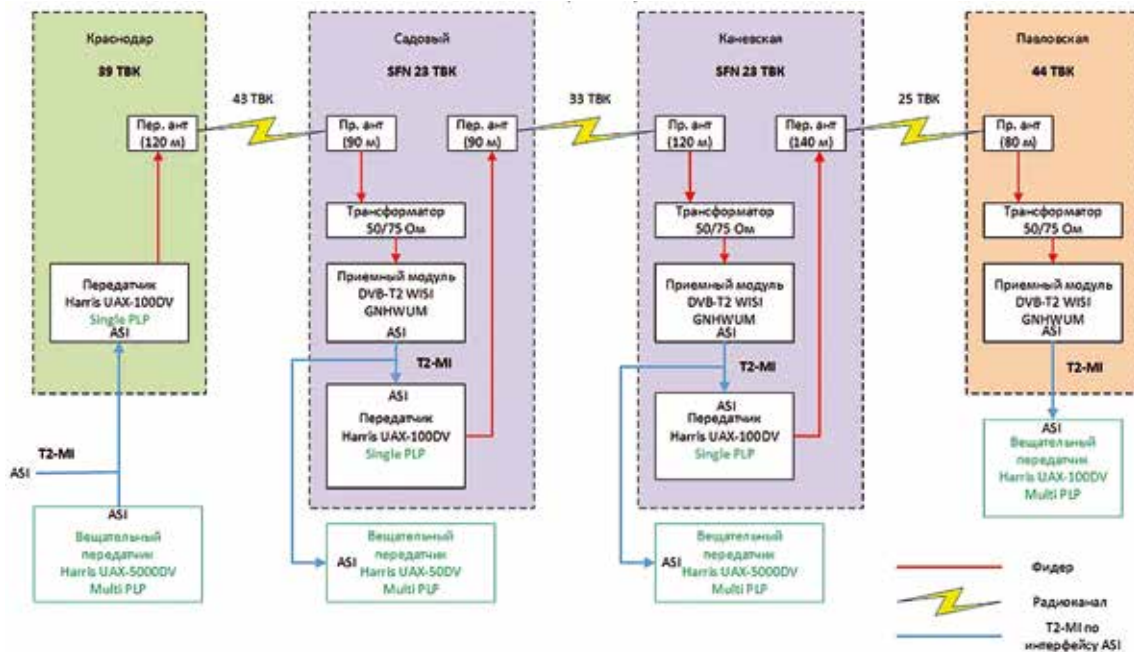


Рис. 5. Структура опытной транспортной сети, выбранная для реализации (объекты КРТЩ заданы заказчиком работы, номера ТВК транспортной сети получены от ФГУП ГРЦЦ)



Рис. 6. Топология транспортной сети доставки ТВ-мультиплекса на базе объектов филиала РТРС Краснодарского РТПЦ

(Multi PLP, режим В): первый позволяет вещательным передатчикам работать в одночастотной сети (Single Frequency Network, SFN), а второй — без такой поддержки, причем в этом случае вещательные передатчики используют разные ТВ-каналы. Заметим, что первый вариант, весьма до-

рогой в реализации, требует применения в каждой точке сети шлюза DVB-T2 Gateway стоимостью около 900 тыс. руб.; для второго нужно много частотных каналов, поэтому он неэффективен, тем более что стандарт DVB-T2 предусматривает возможность работы вещательных передатчиков в SFN.

Эксперименты показали, что наиболее приемлемая транспортная сеть доставки мультиплекса до передатчиков основной сети, работающей в одночастотном режиме, может иметь структуру, представленную на рис. 5. Она и была выбрана авторами статьи для проведения экспериментов по оценке работоспособности опытной транспортной сети доставки мультиплекса на объектах Краснодарского РТПЦ (рис. 6).

Оборудование опытной транспортной сети. Перечень оборудования, установленного в пунктах опытной транспортной сети доставки мультиплекса, представлен в табл. 1. Модули приемника Wisi Chameleon являются программно-конфигурируемыми устройствами. Их структурную схему и функции можно легко изменить, загрузив соответствующее программное обеспечение. Управление модулями происходит при помощи веб-интерфейса.

В качестве передающего оборудования выбраны передатчики DVB-T2 производства Harris мощностью 50 и 100 Вт, полностью соответствующие требованиям к передающему оборудованию для телевидения вещательного цифрового DVB-T/T2 [3]. Заметим, что в ходе стендовых испытаний удалось реализовать работу передатчиков Harris в режиме инкапсуляции T2-MI сигнала в поток MPEG TS. Данная возможность гарантированно реализуется при использовании версии программного обеспечения передатчиков 8611153082 REV G.

Технические характеристики передатчиков Harris UAX транспортной сети:

- Соответствие стандарту DVB-T2, standard ETSI EN 302755
- Диапазон частот 470–862 МГц, с шагом 1 Гц
- Ширина полосы, МГц 6, 7 или 8

Таблица 1. Оборудование транспортной сети доставки мультимплекса

РТПС	Марка	Оборудование
Краснодар*	Harris UAX-5000DV	Вещательный передатчик
	Harris UAX-100DV	Транспортный передатчик
	Draka RFA 7/8	Передающий фидер (130 м)
	Aldena AST 140733x	Передающая антенна
Садовый	Aldena AST 140733x	Приемная антенна
	Draka RFA 7/8	Приемный фидер (100 м) + согласующий трансформатор 50/75 Ом
	Wisi Chameleon GNHWUW2	Приемный модуль DVB-T2
	Harris UAX-50DV	Вещательный передатчик
	Harris UAX-100DV	Транспортный передатчик
	Draka RFA 7/8	Передающий фидер (100 м)
Каневская	Aldena AST 140733x	Приемная антенна
	Draka RFA 7/8	Приемный фидер (145 м) + согласующий трансформатор 50/75 Ом
	Wisi Chameleon GNHWUW2	Приемный модуль DVB-T2
	Harris UAX-5000DV	Вещательный передатчик
	Harris UAX-100DV	Транспортный передатчик
	Draka RFA 7/8	Передающий фидер (165 м)
	Aldena AST 140733x	Передающая антенна
Павловская	Aldena AST 140733x	Приемная антенна
	Draka RFA 7/8	Приемный фидер (100 м) + согласующий трансформатор 50/75 Ом
	Wisi Chameleon GNHWUW2	Приемный модуль DVB-T2
	Harris UAX-50DV	Вещательный передатчик

*Не включено оборудование РТПС для формирования сигнала DVB-T2 на РТПС Краснодар.

Максимальная выходная мощность, Вт	50/100
Режим передачи	MFN, SFN-SISO, SFN-MISO
Количество несущих	1k, 2k, 4k, 8k, расширенное 8k, 16k, расширенное 16k, 32k, расширенное 32k
Защитный интервал	1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4
Код LDPC	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6
Распределение пилот-тонов	PP1, PP2, PP3, PP4, PP5, PP6, PP7, PP8
Канальное кодирование	VCH+LPDC
Коэффициент ошибок модуляции, MER	34 dB (typical 36 dB)
Внешние сигналы синхронизации	GPS или опорный генератор 10 МГц и 1 PPS
Поддержка режимов	Multiple PLP, MISO, extended bandwidth mode, PAPR reduction
Дистанционный мониторинг и управление	RS232, Ethernet (WEB, SNMP)
Входные интерфейсы	2 ASI/T2MI Inputs BNC female; 75 ohms according to EN 50083-9
Программное обеспечение	8611153082 REV G
Крепление в стойку	19 дюймов, 4RU

Частотный план и ЭМС опытной транспортной сети.

Выбор частотно-территориального плана и расчет электромагнитной совместимости (ЭМС) объектов транспортной сети выполнены по заказу СПбГУТ им. проф. М.А. Бонч-Бруевича департаментом телевидения и радиовещания ФГУП «Главный радиочастотный центр» (ФГУП ГРЦЦ).

По результатам расчетов ЭМС и существующим критериям частотного присвоения в полосе частот 21–69 ТВК для указанных объектов транспортной сети присвоены номера рекомендуемых частотных каналов.

Номера ТВ-каналов опытной транспортной сети:

ПРД Краснодар — ПРМ Садовый	43
ПРМ Садовый — ПРД Краснодар	43
ПРД Садовый — ПРМ Каневская	33
ПРМ Каневская — ПРД Садовый	33
ПРД Каневская — ПРМ Павловская	25
ПРМ Павловская — ПРД Каневская	25
ПРД Краснодар — ПРМ Ильский	40
ПРМ Ильский — ПРД Краснодар	40

Для всех интервалов, входящих в состав опытной транспортной сети, выбраны необходимые высоты подвеса антенн, в полном объеме выполнен расчет энергетических характеристик и показателей качества передачи интервалов. При расчетах использовались соответствующие данному диапазону частот элементы «Методики расчета трасс цифровых РРЛ прямой видимости в диапазоне частот 2–20 ГГц», разработанной НИИР (ЗАО «Инженерный центр») и утвержденной Управлением электросвязи Госкомсвязи России в 1998 г.

Таблица 2. Результаты измерений параметров качества на объектах сети

РТПС — точка приема сигнала (при мощности передатчика)	Уровень сигнала на входе тюнера (PWR), дБмкВ (dBμV)	Соотношение сигнал/шум (C/N), дБ	Коэффициент битовых ошибок до декодера		Коэффициент модуляционных ошибок MER, дБ
			LDPC (LDPCBER)	BCH (BCHBER)	
Садовый (100 Вт)	47	26,8	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	19
Каневская (100 Вт)	44,5	27,6	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	23,6
Каневская (50 Вт)	41,5	25,1	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$< 1 \cdot 10^{-8}$	20,7

Примечание. Измерения проводились при помощи Rohde&Schwarz EFL.

Монтаж оборудования опытной транспортной сети производился специалистами Краснодарского РТПЦ. Передатчикам опытной транспортной сети были присвоены IP-адреса для возможности удаленной работы и заданы настройки передающего оборудования:

FFT Mode 32k
 Guard Interval 1/16
 Carrier Mode Normal
 Bandwidth, МГц 8
 L1 Modulation QPSK
 Pilot Pattern PP4
 Data Symbols per T2 frame 63
 T2 Frames per superframe 2
 Code Rate 4/5
 Constellation 64 QAM
 InputMode MPEG TS
 T2-MI PID 4096
 Network Operation MFN
 SISO/MISO SISO

Результаты измерений, выполненных на объектах транспортной сети, представлены в табл. 2.

Изображения спутникового и наземного сигнала транспортной сети воспринимались одинаково.

Для проверки работоспособности SFN проведены полевые испытания. Принимая мощности передатчиков SFN-сети 23 ТВК равными 5 кВт (Каневская) и 50 Вт (Садовый), а также учитывая опыт настройки SFN-сетей специалистов Краснодарского РТПЦ, в данном районе выбрана точка с GPS-координатами: N 45°36'05.501", E 038°57'34.170". Измерения проводились при помощи приемников R&S EFL и Enensys ReFeree T2. Был получен стабильный сигнал 23 ТВК в зоне интерференции SFN. При этом эхосигналы не превышали значения защитного интервала, информация L1 потока DVB-T2 корректно декодировалась, а также декодировались все ТВ-программы I мультиплекса. Качество изображения контролировалось при помощи EFL.

Выполненные эксперименты подтверждают, что применение в транспортной сети маломощных передатчиков, направленных профессиональных антенн и приемных устройств в сочетании с грамотным подходом к выбору частот ТВК позволяет реализовать транспортную сеть доставки мультиплекса, не создающую помех действующей сети ТВ-вещания. Транспортную сеть доставки ТВ-мультиплекса с использованием частот ТВК мы назвали адаптивной, так ее элементы выбираются с учетом адаптации к действующей вещательной сети и существующей в данном регионе электромагнитной обстановки.

Технико-экономический анализ методов доставки мультиплекса до передающих станций, выполненный в СПбГУТ и ФГУП РТПС, показал, что вариант построения транспортной сети с использованием радиорелейных линий (РРЛ) существенно дороже варианта, основанного на использовании частот ТВК. Кроме того, вариант с РРЛ требует выделения дополнительных частот в нижней части сантиметрового диапазона, что является непростой задачей, предполагает использование промежуточных ретрансляторов с соответствующими антенными опорами, предусматривает наличие пространственно разнесенного приема сигналов с дополнительными комплектами приемопередатчиков и антенн на ряде интервалов транспортной сети.

Заключение. Итак, в процессе выполнения данной работы:

- подтверждена принципиальная возможность построения одночастотных сетей ТВ-вещания, работающих совместно с предложенной исполнителем транспортной сетью доставки мультиплекса;
- показано, что выбранное оборудование позволяет управлять работой транспортной сети и контролировать ее в удаленном режиме, а это является несомненным достоинством предложенного решения;
- полученные теоретические и экспериментальные результаты дают основание считать вариант построения транспортной сети ТВ-вещания на основе использования ТВК дециметрового диапазона наиболее предпочтительным с точки зрения как экономических показателей, так и простоты реализации и быстроты ввода в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Digital Video Broadcasting (DVB); Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), ETSI EN 302755 V1.3.1, April 2012.
2. 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), ETSI EN 302307 V1.3.1, March 2013.
3. ГОСТ-Р 55696–2013. Телевидение вещательное цифровое. Передающее оборудование для телевидения вещательного цифрового DVB-T/T2 [Электронный ресурс].— М.: Изд-во стандартов, 2013.— 36 с.— Режим доступа: http://niir.ru/wp-content/uploads/2013/12/GOST-P-peredatchiki-DVB-T-T2_red_1.pdf.

Получено 04.06.14