



УДК 621.397.2

О. В. Кухарская, Е. З. Савин
Дальневосточный государственный университет путей сообщения
ул. Серышева, д. 47, Хабаровск, Россия, 680021

Анализ влияния нестабильности сигнала синхронизации на замещение локального контента для DVB-T2

Аннотация. Рассмотрена проблема стабильности сигнала синхронизации, поступающего на устройство врезки локального контента при формировании информационного потока стандарта DVB-T2. Основной целью работы является определение условий, при нарушении которых регионализация контента становится невозможной.

На первом этапе статьи определен метод вычисления сетевой задержки цифрового информационного потока при стабильном сигнале синхронизации. В этом случае период сигнала синхронизации 1 PPS постоянен и равен 1 с, его случайные отклонения отсутствуют. На втором этапе статьи рассмотрено влияние нестабильности периода этого сигнала на определение значения задержки пакета регионального контента при его врезке в глобальный информационный поток. Выявлена пилообразная зависимость значения сетевой задержки от времени, стремящаяся к условному нулю, определены статистические параметры нестабильности сигнала синхронизации. Третий этап работы посвящен исследованию способа замещения двух независимых информационных потоков устройством регионализации. Рассмотрена структура суперкадров T2, состоящая из общих кадров, принадлежащих различным каналам физического уровня. Определены условия, при которых врезка локальной информации становится невозможной.

Рассмотрены другие причины сбоев при работе одночастотных сетей с использованием метода регионализации контента, связанные с погрешностью сигнала синхронизации на различных этапах формирования и доставки цифрового информационного потока до передающих станций DVB-T2.

Ключевые слова: регионализация контента, цифровой поток T2-MI, сигнал синхронизации, метка времени, суперкадр T2, канал физического уровня, сетевая задержка, погрешность, устройство врезки локального контента

Для цитирования: Кухарская О. В., Савин Е. З. Анализ влияния нестабильности сигнала синхронизации на замещение локального контента для DVB-T2 // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2018. № 1. С. 19–24.

O. V. Kuharskaya, E. Z. Savin
Far Eastern State Transport University
47, Serysheva Str., 680021, Khabarovsk, Russia

Influence of Synchronization Signal Inaccuracy on DVB-T2 Local Content Insertion

Abstract: The article is aimed at specifying criteria of synchronization signal inaccuracy when DVB-T2 system local content re-placement cannot be carried out. Some settings of digital information stream are set as the initial data. The first part of the article specifies network delay calculation method. The second part of the article considers the signal cycle instability impact on estimation of local content device delay during its insertion in global information flow. Network delay saw-toothlike dependence on time is revealed, statistical parameters of synchronization signal instability are specified. The third part of the article deals with analysis of method of substitution of two independent information flows by regionalization device. A model of T2 superframes comprising baseband frames (BB frames) which belong to different physical layer pipes (PLP) is described. The conditions under which the local information insertion becomes impossible are de-fined. Besides, the article considers other reasons of failure during single frequency networks (SFN) processing of local content insertion dealing with synchronization error at different stages of information flow digital content generation and delivery to DVB-T2.

Keywords: Regionalization of Content, T2-MI Digital Stream, the Signal of Synchronization, Timestamp, T2 Super Frame, Physical Layer Pipes, Network Delay, Inaccuracy, the Device of Local Content Insertion.

For citation: Kuharskaya O. V., Savin E. Z. Influence of Synchronization Signal Inaccuracy on DVB-T2 Local Content Insertion. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika* [Journal of the Russian Universities. Radioelectronics]. 2018, no. 1, pp. 19–24. (In Russian)

Введение. На современном этапе развития цифрового эфирного телевизионного вещания стандарта DVB-T2 актуален вопрос регионализации контента с целью предоставления абонентам возможности получения информации локального характера в рамках региона или города. Используемый цифровой информационный поток T2-MI (T2 Modulator Interface – интерфейс модулятора T2), передающий информацию о нескольких каналах физического уровня, позволяет врезать программу местного вещания без влияния на общую структуру сигнала, а также сохранять единообразие конфигурации потока по всей территории страны. Методика регионализации контента изложена в технических рекомендациях [1]. В [2] и [3] рассмотрена модификация потоков с помощью устройства вставки локального контента, принцип работы которого описан в [4], а также рассмотрен в [2] и [5].

Постановка задачи. Поскольку замещение части контента T2-MI представляет собой совмещение нескольких независимых и не связанных между собой цифровых информационных потоков, сходных лишь по общей структуре, регионализация может происходить только при соблюдении ряда условий, описанных в [1], [5], а также в руководстве по эксплуатации оборудования [6]. Следовательно, совмещение на уровне общих кадров, входящих в состав суперкадров T2, возможно только при стабильной синхронизации как самого устройства замещения, так и оборудования, формирующего каждый из независимых потоков. В связи с этим основной задачей настоящего исследования является определение критериев нестабильности сигналов синхронизации и условий, при которых замещение потоков будет невозможно.

Теоретическое обоснование. Цифровые информационные потоки, участвующие в регионализации, сформированы разными источниками и имеют различные времена распространения по линиям связи до устройства врезки локального контента. В связи с этим сетевая задержка (Network Delay) каждого потока в точке замещения будет уникальна. Поэтому одновременное поступление различных потоков T2-MI на устройство регионализации практически невозможно. Исходя из этого устройству врезки для уравнивания потоков по времени необходимо принудительно смещать как минимум один из них. По этой же причине в результате операции вставки сформированный выходной поток будет нести в пакетах меток времени T2-MI Timestamp значения времени излучения, соответствующие основному модифицируемому потоку.

Для корректного замещения необходимо, чтобы на устройство вставки контента поступал высокостабильный сигнал синхронизации (СС) в виде импульса 1 PPS (one pulse per second – один импульс в секунду) либо от встроенного GPS/ГЛОНАСС-приемника, либо от внешнего источника. Согласно [7] стабильность сигнала 1 PPS должна быть обеспечена приемником данных навигационных систем в пределах ± 500 нс. Следовательно, погрешность СС в этих пределах не должна влиять на корректность процесса врезки. Поэтому можно установить предельную погрешность сигнала 1 PPS Δ_{PPS} , при превышении которой замещение потоков будет невозможно.

Этап 1. Конфигурация потока может быть любой в рамках, допустимых стандартом [8]. Дальнейший анализ выполнен для потока со следующими параметрами. Поток, состоящий из суперкадров T2 длительностью $T_{SF} = 487.872$ мс, объединяет информацию трех каналов физического уровня. Суперкадр состоит из двух кадров T2. В каждом кадре имеется один пакет метки времени T2-MI Timestamp, содержащий значение времени излучения, причем в пакетах обоих кадров суперкадра эти значения одинаковы (согласно спецификации [1]).

На рис. 1 представлена временная диаграмма описанного потока T2-MI, разбитого на суперкадры SF1, SF2, Поток характеризуется следующими параметрами: $T_{PPS} = 1$ с – период сигнала синхронизации; T_{SF} – длительность суперкадра; T_{Tpp1} – задержка поступления первого суперкадра относительно очередного импульса СС; $T_{И1}$ – требуемое время излучения этого суперкадра, которое задается устройством формирования потока T2-MI и передается в поле Subseconds пакета метки времени Timestamp (согласно спецификации [1]).

Согласно рис. 1 первый суперкадр поступает с задержкой $T_{Tpp1} = 200$ мс относительно импульса СС 1 PPS и несет в себе информацию о том, что он должен быть излучен в эфир с задержкой $T_{И1} = 692.306$ мс относительно этого же СС. Поскольку время излучения данного суперкадра передатчиком DVB-T2 заложено на этапе формирования потока и не может быть в дальнейшем изменено (при условии корректности синхронизации источника T2-MI), то время прихода суперкадра в конкретную точку варьируется в зависимости от задержек в канале распространения.

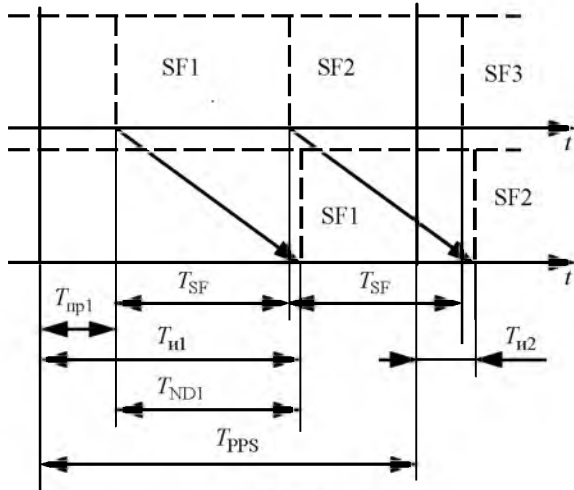


Рис. 1

Так как длительность первого суперкадра равна $T_{SF} = 487.872$ мс, то время излучения следующего суперкадра составляет $T_{и2} = 180.078$ мс относительно следующего импульса 1 PPS (рис. 1). Таким образом, сетевая задержка в данной конкретной точке приема потока определяется как $T_{ND} = T_{и1} - T_{пр1}$ и при заданных временных параметрах составляет

$$T_{ND} = T_{и1} - T_{пр1} = 692.306 - 200.0 = 492.306 \text{ мс.}$$

При условии постоянства периода СС $T_{PPS} = 1$ с сетевая задержка также будет постоянной в течение длительного времени. Если же период СС подвержен случайным изменениям, в качестве его оценки может быть принято его математическое ожидание:

$$M[T_{PPS}] = \frac{\sum_{i=1}^N T_{PPSi}}{N} \rightarrow 1,$$

где N – количество импульсов (т. е. количество секунд) в анализируемом промежутке времени.

Этап 2. Одной из причин возможных сбоев, возникающих при работе одночастотных сетей телевизионного вещания с использованием технологии регионализации, является нестабильность СС, поступающего на устройство врезки. Из-за этого период СС реального пакета T'_{PPS} не будет соответствовать номинальному значению T_{PPS} , что определяет погрешность СС в устройстве врезки: $\Delta_{PPS} = T'_{PPS} - T_{PPS}$.

В связи с этим возникает погрешность при оценке оборудованием времени приема ($T_{пр}$) очередного суперкадра T2. Некорректное значение

времени поступления очередного суперкадра T2 определяется как

$$T'_{прn} = T_{пр1} + n\Delta_{PPS},$$

где n – интервал (количество импульсов СС), в течение которого определяется время приема.

При расчетах необходимо учитывать, что в исследуемом потоке используется относительная метка времени, т. е. поступление очередного импульса СС устанавливает новый нулевой момент времени. Поэтому все определяемые временные значения не могут превышать 1 с.

Например, при внесении погрешности периода СС 0.5 мкс некорректная оценка времени приема первого исследуемого суперкадра составляет:

$$\begin{aligned} T'_{пр1} &= T_{пр1} + \Delta_{PPS} = \\ &= 0.200 + 0.5 \cdot 10^{-6} = 0.2000005 \text{ с.} \end{aligned}$$

В результате значение сетевой задержки этого суперкадра будет оценено с ошибкой и составит:

$$\begin{aligned} T'_{ND1} &= T_{и1} - T'_{пр1} = \\ &= 0.692306 - 0.2000005 = 0.4923055 \text{ с.} \end{aligned}$$

Расчеты, выполненные с помощью программы математического моделирования MathCad, показали, что при принятой погрешности периода СС 0.5 мкс на интервале 1 ч (3600 с) значение сетевой задержки отклонится от номинального значения максимум на 1.8 мс. Таким образом, за сутки отклонение составит порядка 43.2 мс, что уже может существенно влиять на работоспособность передающего оборудования стандарта DVB-T2 при его работе в режиме одночастотной сети. С учетом расчета задержки относительно ближайшего импульса СС такое смещение приведет к пилообразному изменению сетевой задержки во времени, особенно заметной на больших временных интервалах. При погрешности 1 PPS $\Delta_{PPS} = 1$ мкс за час максимальное отклонение может составить около 3.6 мс, а, следовательно, за сутки – 86.4 мс.

За часовой интервал времени, т. е. при $N = 3600$, при $\Delta_{PPS} = 0.5$ мкс математическое ожидание периода СС составит:

$$M[T_{PPS}] = \frac{\sum_{i=1}^{3600} T_{PPSi}}{3600} = 1.00090025 \text{ с}$$

при среднеквадратическом отклонении

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{3600} (T_{PPSi} - M[T_{PPSi}])^2}{3600}} = 5.196 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$$

Отклонение сетевой задержки относительно ее предыдущего значения определяется по формуле

$$T'_{ND(n+1)} = T'_{NDn} - 1 + \Delta_{PPS},$$

где T'_{NDn} – некорректно рассчитанная/измеренная сетевая задержка потока Т2-МІ в данный момент времени.

График, характеризующий зависимость некорректной сетевой задержки за интервал времени, представлен на рис. 2.

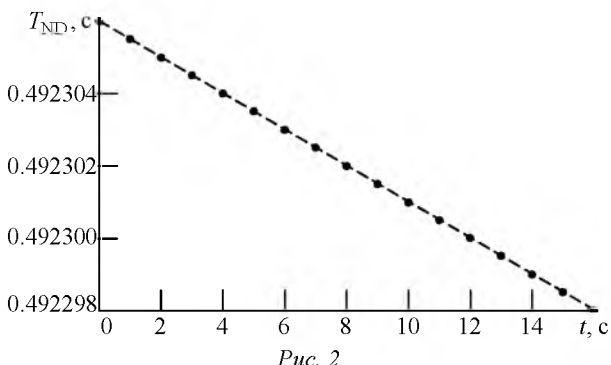


Рис. 2

Этап 3. Региональный цифровой поток по своей структуре, в частности по длительности кадров Т2 и их количеству в одном суперкадре, должен полностью совпадать с основным модифицируемым Т2-МІ, так как полная их идентичность по параметрам конфигурационного пакета L1 signaling (сигнализация L1) является одним из обязательных условий осуществления замены [1]. Однако при наличии двух и более каналов физи-

ческого уровня (Physical Layer Pipes – PLP) модифицирующий поток может иметь меньшее их количество. В этом случае условием возможности врезки является идентичность конфигурационных параметров каналов с соответствующими идентификаторами. На рис. 3 представлены суперкадры основного подлежащего регионализации и модифицирующего потоков, причем время поступления на устройство врезки модифицирующего потока $T_{пр.р}$ меньше, чем время поступления модифицируемого потока $T_{пр.осн}$. Разница времен поступления $\Delta T = T_{пр.осн} - T_{пр.р}$. На эту величину региональный поток задерживается в буфере устройства врезки для ожидания момента поступления нового суперкадра модифицируемого потока. При идентичности потоков по своей структуре длительности кадров Т2, входящих в состав суперкадров, будут одинаковы. Тогда в момент уравнивания потоков по времени происходит операция замены каналов физического уровня.

На рис. 3 суперкадры обоих потоков разделены на составляющие: пакеты общих кадров (Baseband frames), каждый из которых содержит информацию о сервисах отдельного канала физического уровня, конфигурационные пакеты L1, а также пакеты метки времени Timestamp. В потоке Т2-МІ могут присутствовать дополнительные служебные пакеты, однако их трансляция не является обязательной при организации одночастотных сетей вещания, поэтому на рис. 3 они не представлены. Модифицирующий поток состоит из двух физических каналов А' и В', а основной цифровой поток – из трех физических каналов А, В и С. В результате скорость передачи ин-

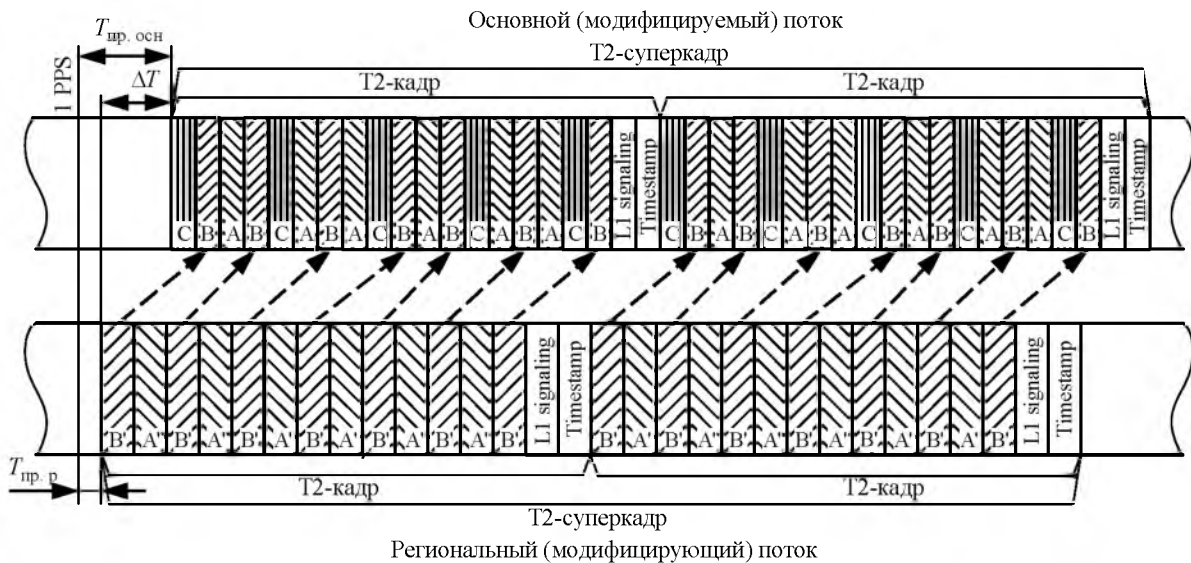


Рис. 3

формации (общий битрейт) модифицируемого потока несколько больше, чем потока регионализации, однако количество общих кадров, сходных по идентификаторам PLP, остается постоянным, так как одним из обязательных условий врезки является идентичный битрейт каналов, подлежащих замещению. Поскольку процесс замещения основывается только на замене общих кадров выбранных PLP, то вся прочая информация, содержащаяся в модифицирующем потоке, остается в буфере устройства и не транслируется в выходной результирующий T2-MI.

Как было установлено ранее, нестабильность СС влияет на корректность оценки времени поступления очередного суперкадра, а следовательно, и на сетевую задержку. Поскольку некорректно измеренная величина Network delay имеет пилообразную зависимость, то в некоторый момент времени станет справедливым равенство $T'_{ND} = T_{in} - T'_{prn} = 0$, откуда $T_{in} = T'_{prn}$ как для основного, так и для модифицирующего потоков.

Устройству врезки контента при выполнении операции модификации на обработку сигнала требуется некоторое фиксированное время ($T_{обр}$), обычно устанавливаемое производителем. Следовательно, когда сетевая задержка, уменьшаясь, примет значения

$$0 \leq T'_{ND} \leq T_{обр}, \text{ т. е. } 0 \leq T_{NDn} - n\Delta_{PPS} \leq T_{обр},$$

осуществить операцию модификации будет невозможно.

Момент сбоя на устройстве врезки зависит от значения погрешности СС Δ_{PPS} . Следовательно,

чем больше погрешность, тем быстрее произойдет сбой при замещении и тем выше будет частота этих сбоев. При отсутствии погрешности СС сетевая задержка будет иметь некоторое постоянное значение, а значит, ситуация равенства времени прихода очередного суперкадра и времени его излучения становится невозможной.

Заключение. В настоящей статье рассмотрен один из вариантов нарушения стабильного функционирования одночастотных сетей телевизионного вещания, работающих в режиме регионализации цифрового потока, возникающий из-за погрешности СС, поступающего на устройство врезки локального контента. Однако существуют и другие причины некорректной работы сетей, такие как:

- нестабильность СС на устройстве формирования потока T2-MI, что влечет за собой введение в поле Subseconds пакетов метки времени T2 Timestamp потока T2-MI некорректных данных, не соответствующих реально требуемому времени излучения очередного суперкадра;

- погрешность опорного сигнала, поступающего на формирователь DVB-T2 передающего оборудования;

- ошибки первого и второго приоритетов в цифровом информационном потоке, которые могут влиять на корректность передачи пакетов меток времени.

В связи с этим необходимо провести анализ каждой из причин с целью выявления условий и критериев влияния на корректность работы одночастотных сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ETSI TS 102 773 V1.4.1. DVB. Modulator Interface for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Стандарт. 03–2016. URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102773/01.04.01_60/ts_102773v010401p.pdf (дата обращения: 16.02.2018).

2. Карякин В. Л., Карякин Д. В., Морозова Л. А. Методы ТВ-вещания в стандарте DVB-T2 со вставкой регионального контента // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. 2016. Т. 10, № 4. С. 41–46. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/metody-tv-veschaniya-v-standarte-dvb-t2-so-vstavkoy-regionalnogo-kontenta> (дата обращения: 16.02.2018).

3. Кухарская О. В., Савин Е. З. Физические особенности замещения информационного контента в цифровом потоке для DVB-T2 // Успехи современной радиоэлектроники. 2017. № 6. С. 55–63.

4. Pat. US 2013/0215328 A1., IPC AH04N 538FI. DVB-T2 broadcasting method with publication the inser-

tion of regional content, and device used in the method / R. Lhermitte, B. Chauviere, E. Denlau, Publ. Aug. 22, 2013. URL: <http://www.patentsencyclopedia.com/app/20130215328> (дата обращения: 20.02.2018).

5. Кухарская О. В., Савин Е. З. Технология замещения информационного контента в потоке T2-MI // Тр. Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи с междунар. участием. Хабаровск, 20–22 апр. 2016 / ДВГУПС. Хабаровск, 2016. Т. 1. С. 141–144.

6. Устройство вставки локального контента. Руководство по эксплуатации / ООО "НПП Триада-ТВ". URL: http://www.triadatv.ru/upload/iblock/646/PLP-Repleyser_Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-V3.0.pdf (дата обращения: 20.02.2018).

7. Recommendation ITU-R TF.1011-1. Systems, techniques and services for time and frequency transfer. URL: http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/TF/REC-TF.1011-1-199710-1!!PDF-E.pdf (дата обращения: 20.02.2018).

8. EN 302 755 V1.4.1. DVB; Framing structure, channel coding and modulation for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). Стандарт. Введ. 07-2015. France: European Telecom-

munications Standards Institute, 2015. URL: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.04.01_60/en_302755v010401p.pdf (дата обращения: 20.02.2018).

Статья поступила в редакцию 25 ноября 2017 г.

Кухарская Ольга Владимировна – инженер (2013, Хабаровский институт инфокоммуникаций (филиал ГОУ ВПО СибГУТИ) по специальности "Радиосвязь, радиовещание и телевидение", аспирантка Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Хабаровск). Инженер филиала ФГУП РТРС "Дальневосточный РЦ". Автор пяти научных работ. Сфера научных интересов – цифровое телевизионное вещание; организация построения сетей телевидения стандарта DVB-T2; вопросы синхронизации и регионализации контента.

E-mail: kuharskaya_olga_1991@mail.ru

Савин Евгений Зиновьевич – кандидат технических наук (1996), профессор кафедры автоматики, телемеханики и связи Дальневосточного государственного университета путей сообщения (Хабаровск). Автор более 100 научных публикаций. Сфера научных интересов – влияние внешних электромагнитных полей на линии связи, автоматики и телемеханики; воздействие внешних факторов на поляризационные явления в оптических волокнах; термоэлектрическое воздействие на подвесной волоконно-оптический кабель; системы волнового мультиплексирования.

E-mail: eu.savin@yandex.ru

REFERENCES

1. ETSI TS 102 773 V1.3.1. DVB; Modulator Interface for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2). Introduction 01-2012. Available at: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102773/01.03.01_60/ts_102773v_010301p.pdf (accessed: 16.02.2018).

2. Karyakin V. L., Karyakin D. V., Morozova L. A. Methods of TV Broadcasting in the Standard DVB-T2 with Inserts Regional Content. T-Comm. 2016, vol. 10, no. 4, pp. 41–46. (In Russian)

3. Kukharskaya O. V., Savin E. Z. Physical features of the replacement of information content in a digital stream for DVB-T2. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki* [Telecommunications and Radio Engineering]. 2017, no. 6, pp. 55–63.

4. Lhermitte R., Chauviere B., Denlau E. DVB-T2 Broadcasting Method with Publication the Insertion of Regional Content, and Device Used in The Method. Patent US 2013/0215328 A1, August 22, 2013.

5. Kukharskaya O. V., Savin E. Z. *Tekhnologiya zameshcheniya informatsionnogo kontenta v potoke T2-MI*

[Technology Replacement of Information Content in the Flow of T2-MI] *Trudy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii tvorcheskoi molodezhi s mezhdunarodnym uchastiem*. DVGUPS. 2016, vol. 1, pp. 141–144.

6. The Device for Inserting Local Content. Manual. Available at: http://www.triadatv.ru/upload/iblock/646/PLP-Repleyser_Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-V3.0.pdf (accessed: 20.02.2018).

7. Recommendation ITU-R TF.1011-1. Systems, techniques and services for time and frequency transfer. Introduction 1994. Available at: http://www.triadatv.ru/upload/iblock/646/PLP-Repleyser_Rukovodstvo-po-ekspluatatsii-V3.0.pdf (accessed: 20.02.2018).

8. EN 302 755 V1.4.1. DVB; Framing Structure, Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2). Introduction 07-2015. France: European Telecommunications Standards Institute, 2015. Available at: http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/302700_302799/302755/01.04.01_60/en_302755v_010401p.pdf (accessed: 20.02.2018).

Received November, 25, 2017

Olga V. Kukharskaya – Dipl.-engineer in Radio Communication, Broadcasting and Television (2013), Siberian State University of Telecommunications and Information Sciences, postgraduate student of Far Eastern State Transport University. Engineer in FGUP RTRN. The author of five scientific publications. Area of expertise: digital video broadcasting, DVB-T2TV network design, network synchronization and local content insertion.

E-mail: kuharskaya_olga_1991@mail.ru

Evgeny Z. Savin – Ph.D. in Engineering (1996), Professor of Far Eastern State Transport University in Khabarovsk. The author of more than 100 scientific publications. Area of expertise: influence of electromagnetic waves on communication lines, impact of external factors on optical fibers, systems of wave division multiplexing.

E-mail: eu.savin@yandex.ru