

## Современные радиотехнические и телекоммуникационные системы

## Modern radio engineering and telecommunication systems

УДК 004.4:004.7

<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-5-26-35>

## НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

# Оценка параметров надежности комплекса оборудования станции эфирного телевидения DVB-T2 с регионализацией контента

С.В. Сай<sup>1, @</sup>, Н.Ю. Сорокин<sup>1</sup>, О.В. Тиссен<sup>2</sup><sup>1</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, 680000 Россия<sup>2</sup> Российская телевизионная и радиовещательная сеть, Хабаровск, 680000 Россия

@ Автор для переписки, e-mail: 000493@pnu.edu.ru

**Резюме.** Модификация контента, предоставляемого абонентам эфирного цифрового телевизионного сигнала, необходима для обеспечения технической возможности организации врезок сигналов местного назначения, таких как телепрограммы региональных вещателей или информация территориальных органов ГО ЧС. Вещательные мультиплексы федеральных телепрограмм рассчитаны на использование в рамках соответствующей временной зоны (А, Б, В, Г, М). В каждой временной зоне находится целый ряд регионов, в каждом из которых существуют местные телерадиокомпании, выпускающие контент локального характера, который необходимо доставить до абонентов целого субъекта. Задачу врезки/модификации контента на каждой удаленной передающей станции выполняет инсертер или устройство вставки локального контента (ETSI TS 102773). В статье проведен расчет параметров надежности восстанавливаемой системы организации эфирного телевидения на удаленной станции с учетом модификации контента. Представлены таблицы и графы состояний системы вещания, на основании которых составлены системы дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова. Установлено, что дополнительное резервирование, организованное путем подключения выходного потока с приемника RX1 непосредственно на передающее устройство, позволяет в 2.5 раза повысить среднее время наработки между отказами, а также повысить значение коэффициента готовности на 5.26%. Все расчеты выполнены с использованием программного комплекса *SimInTech*. Рассмотрено влияние автоматического резервирования оборудования врезки контента и передатчика на возникновение ошибок в потоке, влияющих на качество выходного сигнала. Определена взаимосвязь коэффициента готовности и составляющих параметра Quality of Service – SAE, SDE и SIE.

**Ключевые слова:** регионализация контента, T2-MI поток, мультиплекс, Quality of service, эфирное телевидение, резервирование, надежность

• Поступила: 18.03.2021 • Доработана: 12.04.2021 • Принята к опубликованию: 12.07.2021

**Для цитирования:** Сай С.В., Сорокин Н.Ю., Тиссен О.В. Оценка параметров надежности комплекса оборудования станции эфирного телевидения DVB-T2 с регионализацией контента. *Russ. Technol. J.* 2021;9(5):26–35. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-5-26-35>

**Прозрачность финансовой деятельности:** Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

# Assessment reliability parameters of the DVB-T2 broadcasting station's equipment with local content insertion

Sergey V. Sai <sup>1,\*</sup>, Nikolay Yu. Sorokin <sup>1</sup>, Olga V. Tissen <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pacific National University, Khabarovsk, 680000 Russia

<sup>2</sup> Russian television and radio broadcasting network, Khabarovsk, 680000 Russia

\* Corresponding author, e-mail: 000493@pnu.edu.ru

**Abstract.** Local content modification provided to subscribers of the terrestrial digital television signal is necessary to provide the technical possibility of organizing inserts of local content signals, such as TV programs of regional broadcasters, as well as information on emergency situations. Broadcast multiplexes of federal TV programs are designed for use within the corresponding time zone (A, B, C, D, M). In each time zone, there are a number of regions, in each of which there are local TV and radio companies that produce local content that must be delivered to the subscribers of the whole subject. The task of embedding/modifying content at each remote transmitting station is performed by an inserter or local content insertion device (ETSI TS 102773). The reliability parameters of the restorable system for organizing terrestrial television broadcasting at a remote station with the content modification were calculated in this article. Tables and a graph of the broadcasting system states are presented, on the basis of which, systems of Kolmogorov differential equations are compiled. It was found that additional redundancy organized by connecting the output stream from the RX1 receiver directly to the transmitting device allows for a 2.5-fold increase in the average operating time between failures, as well as an increase in the availability factor by 5.26 percent. All calculations were performed using the SimInTech software package. The influence of automatic redundancy of the local content inserter and the transmitter on the occurrence of errors in the stream that affect the quality of the output signal is considered. The relationship between the availability factor and the components of the quality of service parameter – SAE, SDE and SIE is determined.

**Keywords:** local content insertion, T2-MI stream, multiplex, Quality of service, terrestrial television broadcasting, redundancy, reliability

• Submitted: 18.03.2021 • Revised: 12.04.2021 • Accepted: 12.07.2021

**For citation:** Sai S.V., Sorokin N.Yu., Tissen O.V. Assessment reliability parameters of the DVB-T2 broadcasting station's equipment with local content insertion. *Russ. Technol. J.* 2021;9(5):26–35 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2021-9-5-26-35>

**Financial disclosure:** The authors have no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

## GLOSSARY:

DVB-T2 – Digital Video Broadcasting – Terrestrial 2

T2-MI – T2 Modulator Interface

PLP – Physical Layer Pipes

QoS – Quality of Service

QoE – Quality of Experience

SAE – Service Availability Error

SDE – Service Degradation Error

SIE – Service Impairment Error

## ВВЕДЕНИЕ

Регионализация контента на эфирных телевизионных передающих станциях, вещающих в стандарте DVB-T2, возможна с помощью устройства врезки локального контента, отвечающего требованиям спецификации ETSI TS 102773. Наиболее популярные модели устройств врезки производятся компаниями Ensys Technologies (Франция, модель TxEdge T2), ООО «НПП Триада-ТВ» (РФ, модель TTV-PLPSW-0401) и Nevion (Норвегия, модель CP330

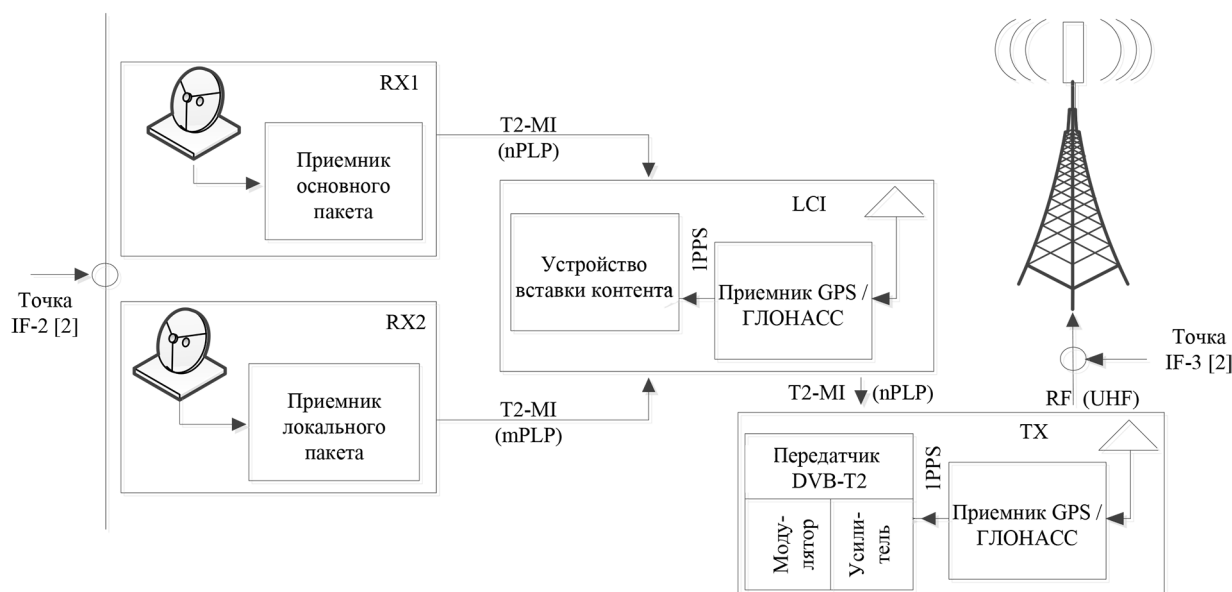


Рис. 1. Схема организации вещания на типовой передающей станции

T2-Bridge). Замена части основного потока T2-MI, содержащего сервисы пакета мультимедиа, на локальный контент осуществляется путем замены каналов физического уровня – PLP. Ввод в эксплуатацию системы врезки подразумевает установку дополнительного оборудования для приема локального пакета программ, что сказывается на параметрах надежности системы вещания на станции, а также на показателях качества предоставляемых услуг Quality of Service.

Согласно ГОСТ Р 58912-2020 [1] «параметры сквозной передачи цифрового телевизионного сигнала на объекте вещания используются для оценки искажений телевизионного сигнала, передаваемого от точки приема сигнала на объектах цифрового вещания до выхода на передатчики наземного эфирного цифрового телевизионного вещания. Параметры характеризуют качество сквозной передачи телевизионного сигнала на двух уровнях:

- на уровне качества восприятия изображения и звука QoE;
- на уровне качества обслуживания QoS».

Параметры надежности оцениваются в точке IF-3 (рис. 7.1 главы 7 руководства по организации сетей цифрового телевизионного вещания [2]). В течение всей работы рассматривается участок системы вещания в границах точек IF-2 и IF-3 [2], аппаратная реализация которого выполняется на территориально удаленной типовой передающей станции. Поскольку в работе рассматривается передающая часть типовой станции, то целесообразно основываться на параметре объективной оценки качества QoS, так как приемный абонентский тракт в данной статье не подлежит оценке.

В связи с важностью обоих параметров – как субъективного QoE, так и объективного – QoS, целью настоящей работы является расчет коэффициента

готовности и параметров надежности системы вещания, а также определение взаимосвязи коэффициента готовности и объективного параметра оценки QoS, расчет которого может быть проведен с использованием аппаратных средств анализа и контроля цифрового информационного потока.

## 1. ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭФИРНОГО ТЕЛЕВЕЩАНИЯ

Схема организации вещания с устройством регионализации контента в обобщенном виде представлена на рис. 1.

Для расчета надежности данная схема может быть представлена в виде двух элементов, соединенных параллельно (оборудование приема основного RX1 и локального RX2 потоков), и двух элементов, соединенных последовательно (устройство врезки контента LCI – Local content inserter и передатчик DVB-T2 TX – Transmitter).

Схема для расчета надежности представлена на рис. 2. При практической эксплуатации системы вещания с модификацией контента источник локального (модифицирующего) потока T2-MI обычно не является полностью взаимозамещающим источником основного.

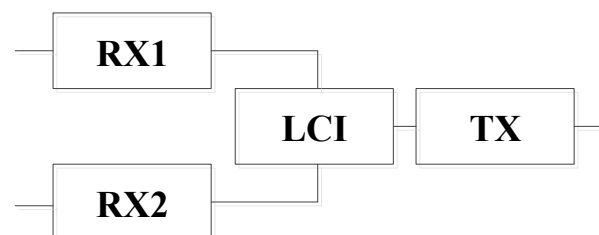


Рис. 2. Схема для расчета надежности

Поэтому далее проведен расчет именно для случая, когда система является работоспособной, если функционируют либо оба источника (т.е. осуществляется врезка), либо только основной источник (при этом врезка не осуществляется, а в эфир излучается сигнал основного пакета T2-MI [3]). Если основным источником выходит из строя, то региональный в данном случае его не заменяет [4].

Коэффициентный метод расчета параметров надежности нецелесообразно использовать для определения готовности системы вещания, поскольку под элементом системы рассматривается единица оборудования, т.е. реализация аппаратно-программного комплекса в виде единого блока, при этом отсутствуют исходные данные относительно коэффициентов условий и нагрузки, базовых интенсивностей отказов и восстановления на рассматриваемое современное оборудование. Также, исходя из анализа документации на рассматриваемое оборудование [5–7], отсутствуют данные о среднем времени наработки на отказ или других параметров надежности, которые позволили бы вычислить коэффициент готовности системы. В связи с этим в работе будет использоваться динамический метод моделирования с использованием системы дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова [8].

Условия расчета параметров надежности для схемы, приведенной на рис. 2:

1. система вещания является восстанавливаемой, т.е. отказавший элемент подлежит ремонту и дальнейшему использованию;
2. два и более элементов не могут отказать одновременно [8];
3. одновременно может восстанавливаться только один элемент [8];
4. блоки RX1 и RX2 не являются взаимозаменяемыми, при этом система является работоспособной, если функционирует либо RX1, либо и RX1 и RX2, причем необходимо учитывать, что в эфир может излучаться различный контент. Система является неработоспособной, если неисправен либо RX1, либо и RX1 и RX2; если же данные блоки одновременно работоспособны, то осуществляется врезка;
5. объект, который не работает в данный момент, не может перейти в состояние отказа;
6. неработоспособное состояние системы означает отсутствие излучения сигнала в эфир, но поскольку рассматривается удаленная необслуживаемая передающая станция, то оборудование, предшествующее отказавшему блоку, остается работоспособным, а, значит, также может выйти из строя, несмотря на общее нерабочее состояние системы.

Отказ оборудования характеризуется следующими состояниями [9]:

- для блоков RX1 и RX2: влияние помех на качество приема и передачи по каналу доставки; авария на транзитном участке; авария на стороне формирования информационного потока; сбой аппаратно-программного обеспечения приемника; ошибки в сигнале, в результате которых приемник не транслирует корректно выходной сигнал;
- для блока LCI: сбой аппаратно-программного обеспечения устройства; ошибка врезки; ошибки во входном сигнале, препятствующие замещению; проблемы с синхронизацией оборудования;
- для блока TX: сбой аппаратно-программного обеспечения; ошибки в сигнале, препятствующие излучению в эфир; проблемы с синхронизацией оборудования; несоответствие диапазона задержки T2-MI.

Перечисленные факторы учитываются при определении практических величин интенсивностей отказов и восстановления на конкретное оборудование в отдельности, вычисленных на основании документации по эксплуатации оборудования аналогично методике, предложенной в [9]. Численные значения интенсивностей отказов и восстановления составля-

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0.00054; \lambda_3 = 0.00226; \lambda_4 = 0.00101;$$

$$m_1 = m_2 = 0.082; m_3 = 0.038; m_4 = 0.038.$$

Интенсивности отказа  $\lambda_1$  и восстановления  $m_1$  относятся к элементу RX1;  $\lambda_2$  и  $m_2$  – к элементу RX2;  $\lambda_3$  и  $m_3$  – к LCI и  $\lambda_4$  и  $m_4$  – к TX, соответственно. Факторы, влияющие на надежность и работоспособность телекоммуникационной аппаратуры, также приведены в [10–12].

В табл. 1 представлены возможные состояния системы вещания, схема которой приведена на рис. 2. Из табл. 1 видно, что в случае невзаимозаменяемых источников сигнала RX1 и RX2 система имеет всего два работоспособных состояния. По материалам таблицы составлен граф переходов состояний системы, представленный на рис. 3.

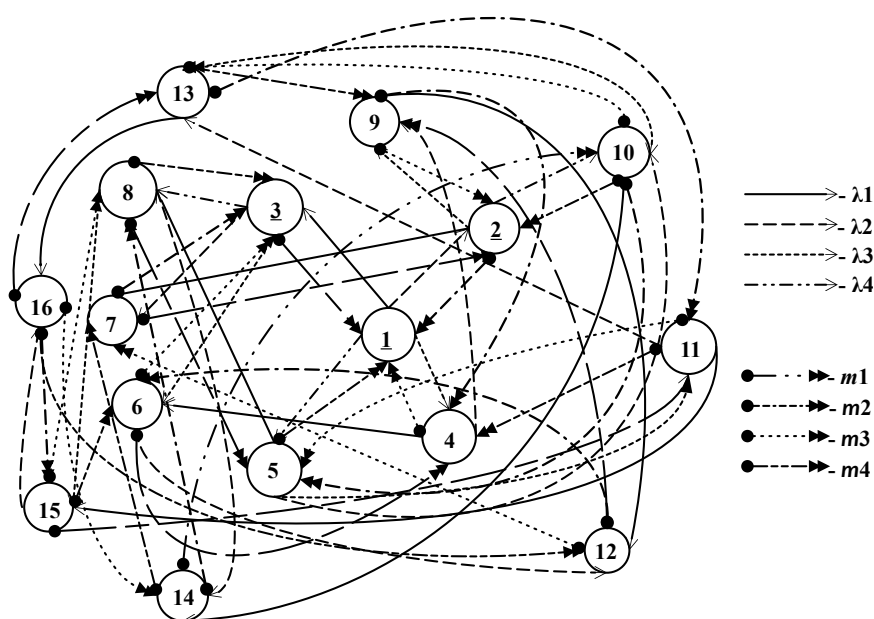
Ребра, соединяющие состояния системы, характеризуют интенсивности отказов и восстановления объектов системы при переходе из одного состояния в другое.

Для полученного графа определена система дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова в общем виде:

$$\frac{d}{dx} p_i(t) = \left( \sum_{j,k} p_j(t) m_k + \sum_{j,k} p_j(t) \lambda_k \right) - p_i(t) \left( \sum_k m_k + \sum_k \lambda_k \right), \quad (1)$$

**Таблица 1.** Состояния системы при невзаимозаменяемых источниках

№	Система	RX1	RX2	LCI	TX
1	Работает	Работает	Работает	Работает	Работает
2	Работает	Работает	Отказ	Работает	Работает
3	Восстановление	Отказ	Работает	Не работает	Не работает
4	Восстановление	Работает	Работает	Отказ	Не работает
5	Восстановление	Работает	Работает	Работает	Отказ
6	Восстановление	Отказ	Работает	Отказ	Не работает
7	Восстановление	Отказ	Отказ	Не работает	Не работает
8	Восстановление	Отказ	Работает	Не работает	Отказ
9	Восстановление	Работает	Отказ	Отказ	Не работает
10	Восстановление	Работает	Отказ	Работает	Отказ
11	Восстановление	Работает	Работает	Отказ	Отказ
12	Восстановление	Отказ	Отказ	Отказ	Не работает
13	Восстановление	Работает	Отказ	Отказ	Отказ
14	Восстановление	Отказ	Отказ	Не работает	Отказ
15	Восстановление	Отказ	Работает	Отказ	Отказ
16	Восстановление	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ

**Рис. 3.** Граф переходов состояний системы вещания  
(подчеркнутая нумерация состояния соответствует работоспособности системы)

где  $p_i(t)$  – значения вероятностей состояния системы;  $i \in [1, 2 \dots 16]$  – номера состояний в соответствии с табл. 1 и с вершинами графа (рис. 3). В (1) первое слагаемое описывает входящие ребра в вершину с номером  $i$ , а второе слагаемое – исходящие ребра. Например, для состояния с номером 3 получим следующее уравнение:

$$\frac{d}{dx} p_3(t) = (\lambda_1 p_1(t) + m_3 p_6(t) + m_2 p_7(t) + m_4 p_8(t)) - p_3(t)(\lambda_2 + m_1),$$

аналогично получены остальные 16 уравнений.

Коэффициент готовности будет определяться как:



$$K_{Г1}(t) = \sum_{i \in E^+} p_i(t) = p_1(t) + p_2(t).$$

Коэффициент простоя:

$$K_{П1}(t) = \sum_{i \in E^-} p_i(t) = p_3(t) + p_4(t) + p_5(t) + p_6(t) + p_7(t) + p_8(t) + p_9(t) + p_{10}(t) + p_{11}(t) + p_{12}(t) + p_{13}(t) + p_{14}(t) + p_{15}(t) + p_{16}(t).$$

Поток отказов вычисляется как сумма произведений интенсивностей отказа и вероятности состояний при переходе системы из работоспособного состояния в неработоспособное [8]:

$$w_1 = \lambda_3 p_1 + \lambda_4 p_1 + \lambda_4 p_2 + \lambda_3 p_2 + \lambda_1 p_2 + \lambda_1 p_1.$$

Поток восстановления определится как сумма произведений интенсивностей восстановления и вероятности состояний при переходе системы из неработоспособного состояния в работоспособное [8]:

$$q_1 = m_4 p_5 + m_3 p_4 + m_4 p_{10} + m_1 p_7 + m_1 p_3 + m_3 p_9.$$

В результате расчета в программе *SimInTech* [13] значение коэффициента готовности в установившемся режиме составило 0.9144, а коэффициента простоя – 0.086. Стационарные значения потоков отказов и восстановления равны 0.0035, т. е.  $w_1 = q_1 = 0.0035$ .

Среднее время наработки между отказами в условных единицах составит [8]:

$$T_1 = K_{Г1} / w_1 = 0.9144 / 0.0035 = 261.26 \text{ ед.},$$

а среднее время восстановления [8]:

$$T_1^2 = K_{П1} / q_1 = 0.086 / 0.0035 = 24.57 \text{ ед.}$$

Согласно ГОСТ Р 58020-2017 интегральный коэффициент готовности сети подачи программ наземного эфирного цифрового телевидения (с выхода федеральной телерадиокомпании и до границы зоны обслуживания с нормируемыми параметрами) должен быть не менее 0.9985 для вещательных зон А и Б. Такая величина подразумевает лишь расчет на основании параметров надежности конкретных изделий/оборудования, на которое производитель дает либо величину коэффициента готовности, либо времени наработки на отказ. Данные параметры закладываются производителем и обосновываются только стабильностью работы программного обеспечения конкретного устройства, качеством аппаратной части, возможностью работы при различных температурах окружающей среды и т.д., то есть тем, как долго может проработать данное

устройство при прочих идеальных внешних условиях, выполняя свои функции.

При этом важно отметить, что в статье рассматривается надежность оборудования на типовой необслуживаемой удаленной эфирной передающей станции, а не всей сети в целом, поэтому значения коэффициентов готовности отличаются от приведенных в ГОСТ. Согласно [14] «требования к  $K_2$  наиболее массовых элементов сети (например, необслуживаемых радиопередающих телевизионных станций с передатчиками малой мощности) могут быть меньшими в связи с тем, что они обслуживают отдельные небольшие населенные пункты».

## 2. НАДЕЖНОСТЬ СХЕМЫ ВЕЩАНИЯ ПРИ НЕВЗАИМОЗАМЕНЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

Если схему на рис. 2 дополнить подключением выхода источника основного потока к входу передающего устройства в обход системы модификации, то количество работоспособных состояний системы, безусловно, увеличится.

Схема соединения с резервированием представлена на рис. 4.

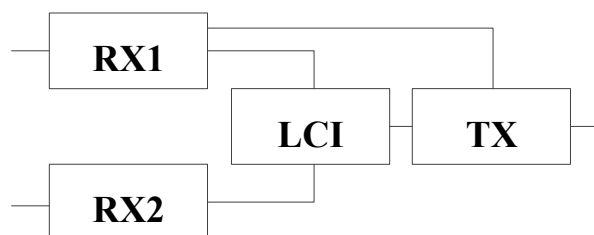


Рис. 4. Схема для расчета надежности с дополнительным резервированием

В случае отказа блока врезки сигнал от RX1 передается напрямую на TX, в эфир излучается также немодифицированный сигнал, однако в случае работы передающей станции в одночастотном режиме может возникнуть разница временных задержек между сигналом, не прошедшим блок LCI на рассматриваемой станции, и сигналом, прошедшим блок LCI на соседней станции одночастотной зоны. Это необходимо учитывать при практической эксплуатации сети вещания, как и то, что излучение в эфир немодифицированного сигнала также является нештатным режимом работы.

В табл. 2 представлены состояния системы, из которой следует, что работоспособных состояний системы в целом при данных условиях стало больше, чем в табл. 1. Граф переходов состояний системы строится аналогично графу для системы без резервирования, поэтому в целях экономии объема работы не представлен.

**Таблица 2.** Состояния системы вещания с дополнительным резервированием

№	Система	RX1	RX2	LCI	TX
1	Работает	Работает	Работает	Работает	Работает
2	Работает	Работает	Отказ	Работает	Работает
3	Восстановление	Отказ	Работает	Не работает	Не работает
4	Работает	Работает	Работает	Отказ	Работает
5	Восстановление	Работает	Работает	Работает	Отказ
6	Восстановление	Отказ	Работает	Отказ	Не работает
7	Восстановление	Отказ	Отказ	Не работает	Не работает
8	Восстановление	Отказ	Работает	Не работает	Отказ
9	Работает	Работает	Отказ	Отказ	Работает
10	Восстановление	Работает	Отказ	Работает	Отказ
11	Восстановление	Работает	Работает	Отказ	Отказ
12	Восстановление	Отказ	Отказ	Отказ	Не работает
13	Восстановление	Работает	Отказ	Отказ	Отказ
14	Восстановление	Отказ	Отказ	Не работает	Отказ
15	Восстановление	Отказ	Работает	Отказ	Отказ
16	Восстановление	Отказ	Отказ	Отказ	Отказ

Система дифференциальных уравнений по данным табл. 2 составляется также по формуле (1).

Коэффициент готовности определится как:

$$K_{Г2}(t) = \sum_{i \in E^+} p_i(t) = p_1(t) + p_2(t) + p_4(t) + p_9(t),$$

а коэффициент простоя:

$$K_{П2}(t) = \sum_{i \in E^-} p_i(t) = p_3(t) + p_5(t) + p_6(t) + p_7(t) + p_8(t) + p_9(t) + p_{10}(t) + p_{11}(t) + p_{12}(t) + p_{13}(t) + p_{14}(t) + p_{15}(t) + p_{16}(t).$$

Поток отказов определится как:

$$w_2 = \lambda_4 p_1 + \lambda_4 p_2 + \lambda_1 p_1 + \lambda_4 p_4 + \lambda_1 p_4 + \lambda_1 p_9 + \lambda_4 p_9 + \lambda_1 p_2,$$

а поток восстановления:

$$q_2 = m_4 p_5 + m_4 p_{10} + m_1 p_7 + m_1 p_3 + m_1 p_6 + m_4 p_{11} + m_1 p_{12} + m_4 p_{13}.$$

В установившемся режиме коэффициент готовности, рассчитанный в среде *SimInTech*, для данной схемы вещания составил 0.967, стационарное значение потока отказов, а также потока восстановления

составило 0.0015, т.е. при  $t \rightarrow \infty$ ,  $w_2 = q_2 = 0.0015$ . Расчетный коэффициент простоя в установившемся режиме равен 0.032.

Среднее время наработки между отказами в условных единицах равно:

$$T_2 = K_{Г2} / w_2 = 0.967 / 0.0015 = 644.67 \text{ ед.},$$

а среднее время восстановления:

$$T_2^B = K_{П2} / q_2 = 0.032 / 0.0015 = 21.33 \text{ ед.}$$

В результате исследований получены следующие выводы.

Коэффициент готовности системы вещания на типовой передающей станции с модификацией контента при использовании прямого нештатного резервирования на 5.26% выше, чем для аналогичной схемы без резервирования.

Перевод на физическое время показывает, что резервирование позволяет сократить время простоя оборудования на 19 суток 4 часа 47 минут в год.

При практически одинаковом времени восстановления оборудования, среднее время наработки между отказами системы с резервированием в 2.5 раза выше относительно системы без резервирования, что соответствует более длительному

интервалу работоспособности всего комплекса оборудования типовой станции вещания.

Следует отметить, что рассчитанные коэффициенты готовности комплекса оборудования удаленной передающей станции являются практическими, а не нормативными и определены для худшего случая с учетом влияния возможных внешних факторов. В данной работе вероятность того, что за рассматриваемый период с оборудованием произойдут все предполагаемые неисправности, принята за единицу (рассматривается худший случай), однако на практике данная вероятность будет значительно ниже.

### 3. СВЯЗЬ КОЭФФИЦИЕНТА ГОТОВНОСТИ И СОСТАВЛЯЮЩИХ QoS

Согласно руководству по измерениям в системах цифрового наземного телевидения [15], разработанному Международным союзом электросвязи, QoS характеризуется тремя основными параметрами:

- ошибкой доступности сервиса – Service Availability Error (SAE);
- ошибкой разрушения сервиса – Service Degradation Error (SDE);
- ошибкой повреждения сервиса – Service Impairments Error (SIE).

Численные значения этих параметров определяются на основании анализа информационного потока на наличие определенных ошибок первого, второго либо третьего приоритета согласно ETSI TS 101290. На основании формул для вычисления параметров, приведенных в [15], можно полагать, что в установившемся режиме  $SAE \rightarrow 0$ ,  $SDE \rightarrow 0$ ,  $SIE \rightarrow 0$ . Для рассматриваемого случая с дополнительным резервированием установившийся режим определяется при  $t \in [225; \infty)$ .

Соответственно, качество сервиса также может оцениваться только в установившемся режиме. Рассматриваемая схема организации вещания с дополнительным резервированием имеет две точки автоматического восстановления цифрового потока:

- резервирование в блоке врезки контента LCI при переходе системы из состояния 1 в состояние 2, а также из состояния 5 в состояние 10 и обратно;
- резервирование в блоке передающего устройства TX при переходе системы из состояния 1 в состояние 4, а также из состояния 2 в состояние 9 и обратно.

Автоматическое резервирование для TX подразумевает переключение от основного источника цифрового информационного потока (устройство врезки контента LCI) на резервный (приемник федерального сигнала RX1) при возникновении некоторого заданного количества ошибок в потоке либо

полного отсутствия пакетов в течение устанавливаемого времени. Автоматическое резервирование для устройства вставки LCI подразумевает переход от режима врезки, когда используются оба потока от RX1 и RX2, к трансляции на выход только основной версии T2-MI от RX1 при возникновении ошибок в локальном цифровом потоке. Обратное переключение возможно при восстановлении основного источника и наличии заданного количества корректных пакетов. Отсутствие пакетов основного потока либо ошибки в течение времени ожидания при переходе на резерв ведут к снижению QoS, в частности по параметрам SAE и SDE (TS\_sync\_loss, PAT\_error, PMT\_error, PCR\_error). В зависимости от условий переключения на резерв снижение QoS по этим параметрам вызывает кратковременное отсутствие изображения на экране абонентского приемника, пикселизацию картинки, характерное разбиение изображения на блоки. Также при резервировании может произойти замена контента в сервисе, подлежащем модификации по основной схеме. Обратное переключение на основной источник менее проблематично, поскольку происходит при отсутствии ошибок, но также может вызвать снижение QoS в частности по параметру SIE (Continuity\_count\_error, Transport\_error), что при единичном возникновении может произойти незаметно для субъективного восприятия абонента, кроме замены содержания модифицируемого канала. Моменты автоматического резервирования для рассматриваемой системы относятся к переходному режиму и ограничиваются интервалом времени  $t \in (0; 225)$ , поэтому с помощью коэффициента готовности напрямую характеризуется процент времени предоставления абоненту сигнала заданного качества, т.е. с соответствующим QoS за избранный временной период.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчетов параметров надежности системы регионализации контента на типовой эфирной передающей станции DVB-T2 с помощью системы уравнений А.Н. Колмогорова было определено, что при практически одинаковом времени восстановления оборудования с дополнительным резервированием и без него среднее время наработки между отказами системы с резервированием в 2.5 раза выше по сравнению с системой без резервирования, что соответствует более длительному интервалу работоспособности всего комплекса типовой станции ТВ вещания, а также меньшему влиянию на параметр оценки качества – QoS. Кроме того, снижение QoS обусловлено переключением оборудования на резервные источники при организации автоматического резервирования в связи с отсутствием пакетов



T2-MI потока в течении времени ожидания, а также при обратном переключении на штатную схему работы в случае восстановления основного источника сигнала.

**Вклад авторов.** Все авторы в равной степени внесли свой вклад в исследовательскую работу.

**Authors' contribution.** All authors equally contributed to the research work.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телевидение вещательное цифровое. Система эфирного наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2. ГОСТ Р 58912-2020. М.: Стандартинформ; 2020. 73 с.
2. *Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation.* (Eds.). Dosch Ch., Hemingway D., Sami W. Switzerland: ITU-R; 2016. 318 p. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/oth/0a/07/R0A0700003B0001PDFE.PDF](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/07/R0A0700003B0001PDFE.PDF)
3. ETSI TS 102773 V1.4.1 (2016-03) DVB. Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). France, 2016. URL: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102700\\_102799/102773/01.04.01\\_60/ts\\_102773v010401p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102773/01.04.01_60/ts_102773v010401p.pdf)
4. Кухарская О.В., Савин Е.З. Физические особенности замещения информационного контента в цифровом потоке для DVB-T2. *Успехи современной радиоэлектроники.* 2017;6:55–63.
5. *Устройство вставки локального контента TTV-PLPSW-0401. Руководство по эксплуатации.* Новосибирск: НПП Триада-ТВ; 2017. URL: [https://triadatv.ru/upload/iblock/d08/ip\\_mi\\_kommutator\\_rukovodstvo.pdf](https://triadatv.ru/upload/iblock/d08/ip_mi_kommutator_rukovodstvo.pdf)
6. CP330 T2-Bridge PLP Replacer User's Manual. Norway: Nevion; 2015. URL: <https://techex.co.uk/pdf/t-vips/cp330.pdf>
7. TxEdge T2 DVB-T2 Local adapter. France: Enensys Technologies, 2019. URL: <https://www.enensys.com/wp-content/uploads/2017/04/TxEdgeT2-datasheet-A.pdf>
8. Холодных П.В. *Надежность информационно-управляющих систем: методическое пособие.* СПб: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; 2015. 49 с. URL: [http://saiu.icc.spbstu.ru/media/files/staff/Kholodnykh/metod\\_reliability4.pdf](http://saiu.icc.spbstu.ru/media/files/staff/Kholodnykh/metod_reliability4.pdf)
9. Тиссен О.В., Ливашвили А.И. Методика расчета параметров надежности системы цифрового телевидения стандарта DVB-T2 на типовой передающей станции. *Радиотехника и электроника.* 2020;65(7):695–704. <https://doi.org/10.31857/S003384942007013X>
10. Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. *Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств.* Минск: БГУИР; 2010. 71 с. URL: [https://www.bsuir.by/m/12\\_108786\\_1\\_72356.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_108786_1_72356.pdf)
11. Постников И.Н. Расчет характеристик надежности телекоммуникационной системы. В сб.: *Перспективы развития информационных технологий. Телекоммуникационные системы и компьютерные сети.* 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-harakteristik-nadezhnosti-telekommunikatsionnoy-sistemy/viewer>
12. Громов Ю.Ю., Иванова О.Г., Мосягина Н.Г., Набатов К.А. *Надежность информационных систем.* Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ; 2010. 88 с. URL: <https://tstu.ru/book/elib/pdf/2010/gromov.pdf>

## REFERENCES

1. *Televidenie veshchatel'noe tsifrovoe. Sistema efnogo nazemnogo tsifrovogo televizionnogo veshchaniya vtorogo pokoleniya DVB-T2. GOST R 58912-2020.* (Digital video broadcasting. Second generation of digital terrestrial television broadcasting system DVB-T2. GOST R 58912-2020). Moscow: Standartinform; 2020. 73 p. (in Russ.).
2. *Handbook on Digital Terrestrial Television Broadcasting Networks and Systems Implementation.* (Eds.). Dosch Ch., Hemingway D., Sami W. Switzerland: ITU-R; 2016. 318 p. Available from URL: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/oth/0a/07/R0A0700003B0001PDFE.PDF](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/oth/0a/07/R0A0700003B0001PDFE.PDF)
3. ETSI TS 102773 V1.4.1 (2016-03) DVB. Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2). France: 2016. Available from URL: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/102700\\_102799/102773/01.04.01\\_60/ts\\_102773v010401p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102700_102799/102773/01.04.01_60/ts_102773v010401p.pdf)
4. Kukharskaya O.V., Savin E.Z. Physical features of replacement of information contents in the digital stream for DVB-T2. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki = Achievements of Modern Radioelectronics.* 2017;6:55–63 (in Russ.).
5. *Ustroistvo vstavki lokal'nogo kontenta TTV-PLPSW-0401. Rukovodstvo po ekspluatatsii (Local content inserter TTV-PLPSW-0401: user manual).* Novosibirsk: NPP Triada-TV; 2017. (in Russ.). Available from URL: [https://triadatv.ru/upload/iblock/d08/ip\\_mi\\_kommutator\\_rukovodstvo.pdf](https://triadatv.ru/upload/iblock/d08/ip_mi_kommutator_rukovodstvo.pdf)
6. *CP330 T2-Bridge PLP Replacer User's Manual.* Norway: Nevion, 2015. Available from URL: <https://techex.co.uk/pdf/t-vips/cp330.pdf>
7. TxEdge T2 DVB-T2 Local adapter. France: Enensys Technologies, 2019. Available from URL: <https://www.enensys.com/wp-content/uploads/2017/04/TxEdgeT2-datasheet-A.pdf>
8. Kholodnykh P.V. *Nadezhnost' informatsionno-upravlyayushchikh sistem: metodicheskoe posobie (Reliability of information management systems).* St Petersburg: Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo; 2015. 49 p. (in Russ.). Available from URL: [http://saiu.icc.spbstu.ru/media/files/staff/Kholodnykh/metod\\_reliability4.pdf](http://saiu.icc.spbstu.ru/media/files/staff/Kholodnykh/metod_reliability4.pdf)
9. Tissen O.V., Livashvili A.I. Reliability evaluation method for DVB-T2 systems on typical transmitter stations. *Journal of Communications Technology and Electronics.* 2020;65(7):826–834. <https://doi.org/10.1134/S106422692007013X>  
[Tissen O.V., Livashvili A.I. Metodika rascheta parametrov nadezhnosti sistemy tsifrovogo teleshchaniya standartar DVB-T2 na tipovoi peredayushchei stantsii. *Radiotekhnika i elektronika = Journal of Communications Technology and Electronics.* 2020;65(7):695–704 (in Russ.).]

13. Программное обеспечение SimInTech v2.20.10.28. Единый реестр Российских программ № 2379. URL: <https://project797652.turbo.site/page363830#93279bd3-2068-4a20-a89e-b4c17ae80365>
14. Лейбов А., Майзульс Р., Шавдия Ю. Нормирование показателей надежности сетей цифрового телевизионного вещания. *Broadcasting. Телевидение и радиовещание*. 2014;3. URL: <http://broadcasting.ru/articles2/Regandstan/normirovanie-pokazateley-nadezhnosti-setey-tsifrovogo-televizionnogo-veschaniya>
15. Report ITU-R BT.2389-0. Guidelines on measurements for digital terrestrial television broadcasting systems. ITU-R. Switzerland: ITU-R; 2016.
10. Borovikov S.M., Tsyrel'chuk I.N., Troyan F.D. *Raschet pokazatelei nadezhnosti radioelektronnykh sredstv (Calculation of indicators of reliability of radio-electronic means)*. Minsk: BGUIR; 2010. 71 p. (in Russ.). Available from URL: [https://www.bsuir.by/m/12\\_108786\\_1\\_72356.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_108786_1_72356.pdf)
11. Postnikov I.N. Calculation of the characteristics of the reliability of the telecommunication system. In: *Prospects for the development of information technology. Telecommunication systems and computer networks*. 2013. (in Russ.). Available from URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-harakteristik-nadezhnosti-telekommunikatsionnoy-sistemy/viewer>
12. Gromov Yu.Yu., Ivanova O.G., Mosyagina N.G., Nabatov K.A. *Nadezhnost' informatsionnykh system (Reliability of information systems)*. Tambov: Izdatel'stvo GOU VPO TGTU; 2010. 88 p. (in Russ.). Available from URL: <https://tstu.ru/book/elib/pdf/2010/gromov.pdf>
13. Software SimInTech v2.20.10.28. Unified Register of Russian Programs No. 2379. Available from URL: <https://project797652.turbo.site/page363830#93279bd3-2068-4a20-a89e-b4c17ae80365>
14. Leibov A., Maizul's R., Shavdiya Yu. Standardization of reliability indicators of digital television broadcasting networks. *Broadcasting. Televidenie i radioveshchanie*. 2014;3 (in Russ.). Available from URL: <http://broadcasting.ru/articles2/Regandstan/normirovanie-pokazateley-nadezhnosti-setey-tsifrovogo-televizionnogo-veschaniya>
15. Report ITU-R BT.2389-0. Guidelines on measurements for digital terrestrial television broadcasting systems. ITU-R. Switzerland: ITU-R; 2016.

#### Об авторах

**Сай Сергей Владимирович**, д.т.н., заведующий кафедрой «Вычислительная техника», Тихоокеанский государственный университет (680000, Россия, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136). E-mail: 000493@pnu.edu.ru. Scopus ID 14042260800, <https://orcid.org/0000-0002-4506-1857>

**Сорокин Николай Юрьевич**, к.т.н., проректор, Тихоокеанский государственный университет (680000, Россия, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136). E-mail: 004040@pnu.edu.ru. Scopus ID 26325081400, <https://orcid.org/0000-0002-2044-7534>

**Тиссен Ольга Владимировна**, инженер средств радио и телевидения филиала ФГУП РТРС «Дальнево-сточный РЦ» (680000, Россия, Хабаровск, ул. Павловича, д. 7А). E-mail: kuharskaya\_olga\_1991@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6666-1907>

#### About the authors

**Sergei V. Sai**, Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Computer technology, Pacific National University (136, Tikhookeanskaya ul., Khabarovsk, 680000 Russia). E-mail: 000493@pnu.edu.ru. Scopus ID 14042260800, <https://orcid.org/0000-0002-4506-1857>

**Nikolay Yu. Sorokin**, Cand. Sci. (Eng.), Vice-Rector, Pacific National University (136, Tikhookeanskaya ul., Khabarovsk, 680000 Russia). E-mail: 004040@pnu.edu.ru. Scopus ID 26325081400, <https://orcid.org/0000-0002-2044-7534>

**Olga V. Tissen**, Engineer, FGYP RTRN «Far eastern regional center» (7A, Pavlovicha ul., Khabarovsk, 680000 Russia). E-mail: kuharskaya\_olga\_1991@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-6666-1907>