

Научная статья

УДК 621.391

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-5-55-61>

Методика измерения занятости радиочастотного спектра, изменяющейся в соответствии с суточным циклом

✉ Антон Борисович Токарев, tokarevab@ircoc.vrn.ru

✉ Александр Витальевич Останков, rt.kaf@cchgeu.ru

✉ Виктор Юрьевич Полев ✉, victor.polev@mail.ru

Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, 394026, Российская Федерация

Аннотация

Актуальность. Управление использованием радиочастотного спектра требует учета реальной занятости радиоканалов и полос частот. Однако модели изменения занятости, лежащие в основе документов Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-R), не в полной мере соответствуют потребностям практики. Часть рекомендаций МСЭ-R ориентирована на оценивание локальной занятости для непродолжительных временных интервалов; другие рекомендации предполагают проведение измерений в стационарных радиоканалах, хотя далеко не для всех реальных радиоканалов можно рассчитывать на постоянство занятости на неограниченно протяженных участках оси времени. Вместе с тем, деятельность многих организаций, а значит и используемых ими ресурсов, подчиняется суточному циклу активности, что позволяет рекомендовать к рассмотрению модель изменения занятости в соответствии с суточным циклом.

Целью работы является разработка методики для осуществления сбора информации и формирования оценки суточного изменения занятости для анализируемых радиоканалов.

Используемые методы. Разработка рекомендаций по сбору данных для контроля занятости базируется на практических подходах служб радиоконтроля и классических методах статистического анализа.

Научная новизна. В настоящей работе предложена к использованию новая модель изменения занятости радиочастотных каналов в соответствии с суточным циклом, а также обоснованная со статистических позиций методика измерения занятости.

Результат. Предлагаемая методика позволяет получить практически ориентированную оценку изменения занятости, не требующую замены парка аппаратуры, традиционно используемой службами радиоконтроля; необходимые изменения могут быть реализованы относительно несложной доработкой программного обеспечения. В работе приведены предварительные рекомендации по обеспечению точности и надежности осуществляемых измерений. Вместе с тем, традиционно применяемый математический аппарат предполагает ограничение относительной погрешности измерений. Для наиболее важных с позиций практики радиоканалов с низкой занятостью такое ограничение осложняется необходимостью весьма протяженных измерений. Представляет интерес поиск альтернативных требований к точности измерений, соответствующих реальным потребностям служб радиоконтроля.

Практическая значимость: внедрение разработанной методики позволит устранить имеющееся на настоящий момент противоречие между теоретическими положениями, лежащими в основе рекомендаций МСЭ, и практикой проведения радиоконтрольных измерений.

Ключевые слова: радиоконтроль, занятость радиочастотного спектра, методика оценивания, ежесуточный цикл изменения занятости

Ссылка для цитирования: Токарев А.Б., Останков А.В., Полев В.Ю. Методика измерения занятости радиочастотного спектра, изменяющейся в соответствии с суточным циклом // Труды учебных заведений связи. 2024. Т. 10. № 5. С. 43–49. DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-5-55-61. EDN:QJAURR

Original research

<https://doi.org/10.31854/1813-324X-2024-10-5-55-61>

The Method of Measuring the Occupancy of the Radio Frequency Spectrum, Varying According to the Daily Cycle

✉ Anton B. Tokarev, tokarevab@ircoc.vrn.ru

✉ Alexander V. Ostankov, rt.kaf@cchgeu.ru

✉ Victor Yu. Polev, victor.polev@mail.ru

Voronezh State Technical University,
Voronezh, 394026, Russian Federation

Annotation

Relevance. Management of the use of the radio frequency spectrum requires taking into account the actual occupancy of radio channels and frequency bands. However, the patterns of occupancy change underlying the International Telecommunication Union (ITU-R) Radiocommunication Sector documents do not fully meet the needs of practice. Some of the ITU-R recommendations are focused on estimating local occupancy for short time intervals; other recommendations involve measurements in stationary radio channels, although only a small part of real radio channels can be counted on to have the constant occupancy throughout the time axis. At the same time, the activities of many organizations, and therefore the resources they use, are subject to a daily cycle of activity, which allows us to recommend for consideration a model of occupancy change in accordance with the daily cycle.

The aim of the work is to develop a methodology for collecting information and forming an estimate of the daily occupancy change for the analyzed radio channels.

Methods used. The development of recommendations for the collection of data for occupancy monitoring is based on the practical approaches of radio monitoring services and classical methods of statistical analysis.

Novelty. In this paper, a new model for changing the occupancy of radio frequency channels in accordance with the daily cycle is proposed for use, as well as a statistically justified method for measuring occupancy.

Result. The proposed methodology allows us to obtain a practically oriented assessment of occupancy changes, which does not require replacing the fleet of equipment traditionally used by radio monitoring services; the necessary changes can be implemented with relatively simple software modification. The paper provides preliminary recommendations for ensuring the accuracy and reliability of measurements, based on a traditionally used mathematical apparatus, which involves limiting the relative measurement error. This entails the need for very long measurements for the most important low-occupied radio channels. So, it is necessary to look for alternative measurement accuracy requirements that would meet the real needs of radio monitoring services.

Practical significance. The acceptance of the developed methodology will eliminate the currently existing contradiction between the theoretical provisions underlying the ITU recommendations and the practice of conducting radiocontrolled measurements.

Keywords: radio monitoring, radio frequency spectrum occupancy, assessment methodology, daily cycle of occupancy change

For citation: Tokarev A.B., Ostankov A.V., Polev V.Yu. The Method of Measuring the Occupancy of the Radio Frequency Spectrum, Varying According to the Daily Cycle. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2024;10(5):43–49. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2024-10-5-55-61. EDN:QJAURR

Введение

Ежегодный рост объема информации, передаваемой разнообразными радиотехническими системами, указывает на возрастание потребности в радиочастотном ресурсе, однако на практике наблюдается заметный разброс степени реального

использования различных каналов и полос частот потребителями. Одним из важнейших показателей, отражающих их реальную степень использования, является занятость радиочастотного спектра, которая определяет вероятность того, что в случайно выбранный момент времени радиоча-

стотный канал (полоса частот) будет использоваться для передачи информации [1]. И хотя уже несколько десятков лет вопросы измерения занятости находятся в сфере внимания Сектора радиосвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-R), в текущих версиях рекомендаций МСЭ сохраняется ряд неясностей. Во многих документах рекомендуется разбивать ось времени на отдельные интервалы, называемые интервалами интегрирования T_i , и использовать эти интервалы для сбора данных и формирования локальных измерений занятости. В то же время отмечается, что отдельные локальные оценки, как правило, характеризуются низкой достоверностью, однако конкретную рекомендацию, как следует накапливать (комбинировать) локальные оценки для получения устойчивых результатов, найти в документах МСЭ проблематично.

Например, во многих документах МСЭ рекомендуется выбирать интервал интегрирования T_i равным 15 минут, а рисунок 15 Отчета МСЭ-R SM.2256-1 «Измерения и оценка занятости спектра» [2] отображает результаты измерения занятости с разрешением по времени, составляющем те же 15 минут. И такой вариант контроля за изменениями занятости мог бы считаться логичным, если бы таблица 4.10-1 из справочника «Контроль за использованием спектра» [3] или таблица 1 из Рекомендации ITU-R SM.1880-2 [4] не указывали, что время, необходимое для получения обоснованной уверенности в результатах оценивания занятости, может заметно превышать 1 час. Разъяснений о том, как можно согласовать измерение занятости за 15 минут или, скажем, за последний час с необходимостью многочасового сбора данных для обеспечения достоверности получаемых результатов, разыскать в документах МСЭ не удается. Таким образом, имеется актуальная задача конкретизировать методику измерения занятости так, чтобы снять возникающие противоречия.

Циклостационарная модель изменения занятости

Причиной возникновения противоречий является, по-видимому, тот факт, что с позиции основополагающей статьи [1] анализируемые радиоканалы предполагаются стационарными, а Рекомендации МСЭ направлены на отслеживание изменений занятости вдоль оси времени. Для того, чтобы устранить выявленную разницу в базовых моделях, отметим, что с практических позиций вполне естественным является предположение о периодическом (скажем, привязанном к суточному либо недельному циклу) изменении занятости радиоканала. Т. е. один радиоканал может демонстрировать большую занятость в рабочие дни, а другой – в выходные; какие-то радиоканалы будут

интенсивнее использоваться в дневные часы, а иные каналы – в ночное время.

Предположение о зависимости занятости каналов передачи информации систем и сетей связи от времени суток не является новым. К примеру, в Отчете по научно-исследовательской работе Сектора стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи (МСЭ-T)¹ изучался вопрос о росте трафика видеоконференцсвязи под влиянием мер противодействия распространению коронавирусной инфекции. И хотя задачей Отчета была демонстрация роста трафика из-за перехода к преимущественно дистанционному режиму общения, содержащиеся в нем сведения (рисунок 1) убедительно отражают циклостационарный характер изменения объема передаваемых данных (с уменьшением объема в выходные дни, что свидетельствует в пользу недельного цикла изменения занятости).

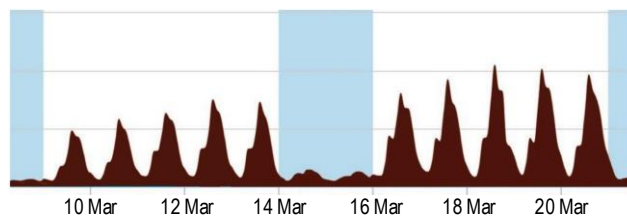


Рис. 1. Характер двухнедельного изменения трафика видеоконференцсвязи (фрагмент рисунка 2.3 из Отчета МСЭ-T)

Fig. 1. Typical Example of the Two-Week Change in Video Conferencing Traffic (Fragment of Figure 2.3 from the ITU-T Report)

Аналогичные статистические свойства трафика обсуждаются, к примеру, в статье [5]; график изменения занятости сети (рисунок 2) убедительно показывает возможность значительных колебаний объема передаваемых данных в пределах суток.

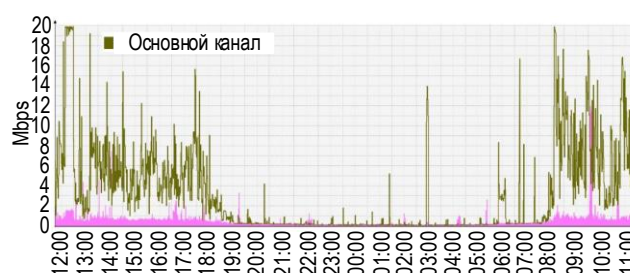


Рис. 2. Суточный характер изменения трафика [5]

Fig. 2. An Example of Daily Traffic Changes [5]

Статистическое усреднение сведений о занятости, выполненное в работе [5], позволило ее авто-

¹ Отчет по научно-исследовательской работе «Разработка рекомендаций по требованиям к качеству обслуживания в условиях его деградации при перегрузках, вызываемых пандемией, с целью обеспечения устойчивого функционирования сетей связи». URL: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Publications/TR%20Development%20of%20recommendations%20for%20service%20quality%20requirements%20under%20downgrading%20in%20pandemic%20congestion%20to%20ensure%20sustainable%20operation%20of%20communication%20networks.pdf>

рам разработать алгоритм прогнозирования динамики изменения трафика отдельного фрагмента сети (рабочего места), показанный на рисунке 3 и также имеющий циклостационарный характер.



Рис. 3. Среднесуточное изменение загрузки сети (на основе данных из [5])

Fig. 3. Average Daily Change in Network Occupancy (Based on Data From [5])

Сведения, приводимые в учебных пособиях, например [6], также убедительно свидетельствуют о суточной цикличности изменения объема передаваемых данных. На рисунке 4 представлены сформированные на основе [6] графики изменения трафика мультимедийных сообщений и трафика мобильного доступа к Intranet / Extranet. Оба графика подтверждают существенную зависимость объема трафика от времени суток.

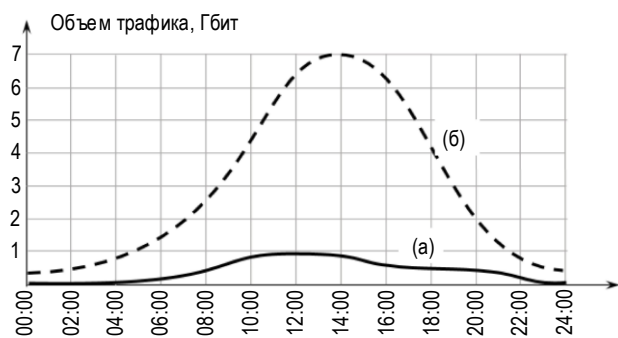


Рис. 4. Изменение трафика мультимедийных сообщений (а) мобильного доступа к Intranet / Extranet (б) [6]

Fig. 4. Changing the Traffic of Multimedia Messages (a); of Mobile Access to Intranet / Extranet (b) [6]

Возвращаясь к уже упоминавшемуся ранее рисунку 15 Отчета МСЭ-R SM.2256-1 [2], копия которого показана на рисунке 5, отметим, что и взятый из документации МСЭ-R график однозначно предполагает зависимость занятости от времени суток. Однако при обсуждении вопросов об обеспечении достоверности измерений занятости, ни в основополагающей статье [1], ни в Отчете МСЭ-R SM.2256-1, ни в справочнике [3], ни в Рекомендации ITU-R SM.1880-2 [4] циклостационарный характер изменения занятости во времени не упоминается. Вместе с тем, согласно представленным

выше сведениям, именно циклостационарная модель соответствует потребностям практики в наибольшей степени. В соответствии с этой моделью на протяжении суток занятость может существенно изменяться, но значения занятости, «привязанные» ко времени суток или к дням недели, обладают стабильностью (постоянством на продолжительных временных интервалах). Т. е. предполагается, что, если, к примеру, ежедневно замерять занятость какого-то канала в ночное время с 1 часа до 2 часов ночи, то получаемые значения будут сравнительно стабильными. Аналогичные замеры, сделанные между 13 и 14 часами, также будут давать стабильные значения, но отличающиеся от результатов ночных замеров. И именно оценка суточного (либо недельного) цикла изменения занятости представляет интерес для служб радиоконтроля.



Рис. 5. Типовая структура трафика в одном частотном канале (копия рисунка 15 из [2])

Fig. 5. Typical Traffic Structure in One Frequency Channel (Copy of Figure 15 from [2])

С позиций повышения эффективности использования радиочастотного спектра важным оказывается обнаружение радиочастотных ресурсов, которые явно недоиспользуются. К примеру, если для анализируемого канала характерна занятость, превышающая 50 % в дневные часы и близкая к нулю в ночное время, то в ночное время такой ресурс вполне можно предоставить иной радиосистеме с запретом на использование ею радиоканала в дневные часы.

Разработка методики оценивания изменений занятости во времени

Итак, циклостационарная модель изменения занятости является практически ориентированной и открывает путь для разработки методики измерений занятости, целью которой является формирование достоверной зависимости занятости радиоканалов (либо иных частотных ресурсов) от времени суток (и / или дня недели). Предложенная модель циклично изменяющейся занятости позволяет устранить противоречия между «глобальным» оцениванием занятости, характер-

ным для статьи [1], и набором не обладающих статистической устойчивостью локальных оценок занятости на отдельных 15-минутных интервалах. Действительно, если параметры аппаратуры радиоконтроля и характер радиоизлучений, наблюдаемых в канале, не позволяют сформировать достоверную оценку занятости на отдельном интервале интегрирования T_i , то следует просто продолжить аналогичные измерения на следующие сутки или еще несколько дней, и в итоге усреднить накопленные за несколько суток сведения, сформировав стабильную оценку суточного цикла изменений занятости с любой необходимой статистической устойчивостью.

Говоря о методике измерения занятости с повышенной цикличностью для стороннего пользователя, представляется желательным иметь равномерное разрешение по времени. Т.е. «хорошим конечным продуктом измерений» является, например, график изменения занятости канала в течение суток с 15-минутным разрешением по времени. Однако, если занятость канала в течение суток испытывает заметные вариации, то и требуемая продолжительность сбора данных для разных 15-минутных интервалов может существенно различаться. Это означает возможность того, что через, к примеру, 2-3 дня после начала сбора данных для некоторых радиоканалов уже окажется сформированной достоверная оценка занятости, а для иных каналов будет необходимо продолжать сбор данных еще много суток. Вместе с тем, если делить ось времени не на 15-минутные, а на часовые интервалы, то каждый часовой интервал будет характеризоваться в 4 раза большим объемом данных, который может оказаться достаточным для получения «хорошей» оценки занятости.

Отметим, что предлагаемое расширение интервала контроля до часового интервала уже используется в документах МСЭ; в частности, на уже упоминавшемся рисунке 15 Отчета МСЭ-R SM.2256-1 [2] наряду с текущими значениями занятости отображается линия, отражающая скользящее среднее значений занятости в течение последнего часа (но при этом информация о способах обеспечения и степени точности и статистической надежности этих измерений отсутствует).

Сведения из рекомендаций МСЭ-R и изложенные выше соображения обосновывают целесообразность следующей методики оценивания суточного цикла изменения занятости:

1) на протяжении нескольких суток производится накопление локальных оценок занятости для $T_i = 15$ минут:

$$SOCR_{i,j} = \frac{N_{oi}}{N_{i,j}}, \quad (1)$$

где индекс i определяет порядковый номер текущего 15-минутного интервала внутри суток; j – порядковый номер текущих суток сбора данных; $N_{i,j}$ – общее количество выборок (моментов контроля состояния радиоканала) на интервале интегрирования; N_{oi} – количество случаев регистрации занятого состояния канала;

2) для каждой из 92 контрольных точек, на которые разбивается суточный интервал при 15-минутном разрешении, рассчитывается оценка математического ожидания занятости, где в усреднении участвуют локальные оценки на двух предшествующих контрольной точке времени интервалах T_i и на двух смежных интервалах, стартом которых служит i -й момент времени (2);

3) для каждой из оценок (2) определяется количество выборок, по которым сформирована эта оценка (3).

$$SOCR(i) = \frac{1}{4J} \cdot \sum_{j=1}^J (SOCR_{i-2,j} + SOCR_{i-1,j} + SOCR_{i,j} + SOCR_{i+1,j}), \quad (2)$$

$$N(i) = \sum_{j=1}^J (N_{i-2,j} + N_{i-1,j} + N_{i,j} + N_{i+1,j}). \quad (3)$$

Если количество выборок $N(i)$ при занятости канала $SOCR(i)$ является достаточным для каждого i для обеспечения требований к точности и надежности занятости, то процедура сбора и обработки считается завершенной. Если же сведений пока недостаточно, то следует продолжать накопление данных как минимум еще на протяжении суток (рисунок 6).

Отметим, что, хотя при выборе критерия достоверности проведенных измерений для обеспечения точности и надежности оценивания занятости

следует опираться на сведения, имеющиеся в документации МСЭ-R; непосредственных рекомендаций, ориентированных на циклоstationарную модель изменения занятости, в документах МСЭ не имеется. Если полагать, что в отношении статистических характеристик продолжительности сигналов и пауз между выходами в эфир сигналов в анализируемых радиоканалах имеется достоверная априорная информация, то в качестве «инструмента» обеспечения достоверности измерений можно рекомендовать подход, изложенный,

например, в [7]. Из сопоставления темпа контроля состояния радиоканала с типовой протяженностью радиопередач выносится заключение о степени взаимной зависимости смежных по времени выборок (случаев контроля состояния радиоканала) и в соответствии с таблицей 1 определяется минимально необходимое количество накапливаемых выборок данных и продолжительности сбора информации. Предполагается, что период выборки составляет 1 с; N_{ind} – число требуемых независимых выборок; N_{dep} – число требуемых зависимых выборок; H_{dep} – число часов при зависимых выборках.



Рис. 6. Схема объединения локальных оценок, полученных на отдельных интервалах интегрирования T_i , в соответствии с предлагаемой методикой

Fig. 6. Scheme for Combining Local Estimates Obtained at Separate Integration Intervals T_i in Accordance with the Proposed Methodology

ТАБЛИЦА 1. Продолжительность сбора данных при зависимых и независимых выборках, необходимая для достижения относительной точности 10 % и уровня достоверности 95 % при различном проценте занятости

TABLE 1. Duration of Data Collection When Using Dependent and Independent Samples Required to Achieve a Relative Accuracy of 10 % and a Confidence Level of 95 % with Varying Percentages of Occupancy

Занятость (%)	N_{ind}	При средней продолжительности передач			
		порядка 1,5 сек		порядка 12 сек	
		N_{dep}	H_{dep}	N_{dep}	H_{dep}
6,67	5368	16641	4,6	128910	35,8
10	3461	10730	3,0	83112	23,1
15	2117	6563	1,8	50837	14,1
20	1535	4759	1,3	36861	10,2
30	849	2632	0,72	20388	5,7
40	573	1777	0,5	13760	3,8
50	381	1182	0,32	9149	2,5
60	253	785	0,22	6076	1,7
70	162	502	0,15	3890	1,1

Вместе с тем, считать именно такой вариант обеспечения достоверности измерений наиболее подходящим для практики сложно по многим причинам. Во-первых, априорные сведения о продолжительности сигналов и пауз в контролируемых каналах доступны не всегда. Во-вторых, требова-

ния к качеству измерений в работах [1 и 7] базируются на ограничении предельно допустимой погрешности измерений занятости, а потому при типовом пороге допустимости отклонений в 10 % при истинном уровне занятости $SO = 50$ % считается допустимыми отклонения в ± 5 %, а для $SO = 1$ % предполагается, что оценка занятости должна отличаться от SO не более чем на 0,1 %. Такого рода ограничения вполне естественны с позиции математики, но с позиции практики радиоконтроля столь жесткие требования являются избыточными, а потому вопрос управления точностью и достоверностью измерений следует считать все еще актуальным, требующим более глубокой проработки.

Заключение

Рекомендации МСЭ-R в отношении вопроса измерения занятости радиоканалов и иных частотных ресурсов предполагают контроль за изменением занятости с типовым 15-минутным разрешением по времени, однако не содержат конкретной методики обеспечения статистической достоверности подобных измерений.

В основу разработки методики измерений целесообразно положить циклостационарную модель изменений занятости с суточной, либо недельной периодичностью. Предположение о том, что занятость анализируемого канала для конкретного временного интервала в рамках суточного цикла может демонстрировать стабильные значения, вполне соответствует практике радиоконтроля и, одновременно, порождает возможность сформировать простую, понятную и надежную методику оценивания занятости.

Предложенная в настоящей работе методика не противоречит сложившейся к настоящему времени практике измерения занятости радиочастотных ресурсов, но лишь дополняет и конкретизирует ее, открывая возможность снять противоречия в вопросе обеспечения статистической достоверности измерений. Для внедрения методики в практику не требуется изменения парка аппаратуры средств радиоконтроля; достаточно простой коррекции процедуры управления сбором данных и незначительной доработки программного обеспечения. Более того, допустимым, хотя и вряд ли желательным, оказывается применение низкопроизводительных средств радиоконтроля. При их использовании накопление необходимого количества выборок будет происходить медленнее, но предлагаемая методика не накладывает существенных ограничений на темп сбора данных, а потому низкий темп сбора данных повлечет лишь необходимость затрачивать дополнительно несколько суток на процедуру сбора данных без какого-либо ущерба в качестве конечных результатов.

Предложенная методика оказывается практичной и с позиции возможности досрочного прерывания сбора данных при оценивании занятости. Представим, что за несколько суток наблюдения для каких-то 15-минутных интервалов уже собран достаточный объем данных, а достоверность измерений на иных временных интервалах еще недостаточна. Это не означает, что в отношении «проблемных» интервалов пользователь не может получить никаких полезных сведений, так как оценка занятости (2) является несмещенной, а значит в среднем результат измерений занятости

является корректным даже при краткосрочных наблюдениях; просто каждая из оценок суточного цикла должна сопровождаться сопутствующим уровнем достоверности: высоким для «хороших» временных интервалов и недостаточным для «проблемных» временных интервалов. По мере сбора данных достоверность оценивания занятости для каждого из интервалов будет в среднем возрастать. Сбор сведений прекращается, как только с необходимым уровнем достоверности будет представлен каждый из 15-минутных интервалов оценивания за сутки.

Список источников

1. Spaulding A.D., Hagn G.H. On the Definition and Estimation of Spectrum Occupancy // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. 1977. Vol. EMC-19. Iss. 3. PP. 269–280. DOI:10.1109/TEMC.1977.303595
2. Отчет МСЭ-R SM.2256-1 (08/2016) Измерения и оценка занятости спектра.
3. Handbook. Spectrum monitoring. Switzerland, Geneva, 2011.
4. Rec. ITU-R SM.1880-2 (09/2017) Spectrum occupancy measurements and evaluation. Geneva.
5. Игумнов А.О. Алгоритм прогнозирования динамики изменения трафика с использованием статистических данных // Инженерный вестник Дона. 2017. № 1(44). С. 53. EDN:ZBBNFJ
6. Голиков А.М. Транспортные и мультисервисные системы и сети связи: учебное пособие. Часть 1. Томск: Томск. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2015. 83 с.
7. Токарев А.Б., Козьмин В.А., Павлюк А.П., Полев В.Ю. Продолжительность сбора данных при измерениях занятости стационарных радиоканалов // Системы управления, связи и безопасности. 2024. № 1. С. 43–58. DOI:10.24412/2410-9916-2024-1-043-058. EDN:AYBQFD

References

1. Spaulding A.D., Hagn G.H. On the Definition and Estimation of Spectrum Occupancy. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 1977; EMC-19(3):269–280. DOI:10.1109/TEMC.1977.303595
2. Report ITU-R SM.2256-1 (08/2016) *Measurements and assessment of spectrum occupancy*.
3. *Handbook. Spectrum monitoring*. Geneva; 2011.
4. Rec. ITU-R SM.1880-2 (09/2017) *Spectrum occupancy measurements and evaluation*.
5. Igumnov A.O., Sonkin M.A. Traffic dynamic prediction algorithm using statistical data. *Engineering Journal of Don*. 2017; 1(44):53. EDN:ZBBNFJ
6. Golikov A.M. *Transport and multiservice systems and communication networks. Part 1*. Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics Publ.; 2015. 83 p.
7. Tokarev A.B., Kozmin V.A., Pavlyuk A.P., Polev V.Yu. Duration of data collection when measuring occupancy of stationary radio channels. *Control Systems, Communications and Security*. 2024;1:43–58. DOI:10.24412/2410-9916-2024-1-043-058. EDN:AYBQFD

Статья поступила в редакцию 30.07.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 03.10.2024.

The article was submitted 30.07.2024; approved after reviewing 10.09.2024; accepted for publication 03.10.2024.

Информация об авторах:

ТОКАРЕВ
Антон Борисович

доктор технических наук, доцент, профессор кафедры радиотехники Воронежского государственного технического университета
 <https://orcid.org/0000-0002-2621-4336>

ОСТАНКОВ
Александр Витальевич

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиотехники Воронежского государственного технического университета
 <https://orcid.org/0000-0002-2039-4081>

ПОЛЕВ
Виктор Юрьевич

аспирант кафедры радиотехники Воронежского государственного технического университета
 <https://orcid.org/0009-0009-1902-7207>

Авторы сообщают об отсутствии конфликтов интересов.

The authors declare no conflicts of interests.