



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-3-41-47>

Оригинальная статья

Original paper

УДК 621.396.946

МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОЧАСТОТНОГО СПЕКТРА

П. Ю. ЛАКИЗО

Белорусская государственная академия связи (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 01.11.2022

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

Аннотация. Одной из главных проблем использования радиочастотного спектра является его дефицит. Это связано не только с его природными свойствами как ресурса, но и с неэффективностью применения. Для высвобождения неэффективно используемой части радиочастотного спектра необходима разработка мер и механизмов управления, создающих максимально невыгодные условия для эксплуатации операторами данной части спектра. В статье рассмотрены предложения по внедрению методики, модели и критериев для символического описания оценки эффективности использования радиочастотного спектра, включая информационную и программную реализацию многоагентной системы, позволяющей осуществить автоматизированное принятие решения комплексной оценки эффективности применения спектра. Предложена модель общей эффективности применения радиочастотного спектра на основе трех видов эффективности, разработана шкала интервалов по этим видам. Выполнена оценка эффективности радиочастотного спектра на базе эталонной сети сотовой подвижной связи. Представлен вариант принятия решения по результатам оценки этой эффективности.

Ключевые слова: радиочастотный спектр, виды эффективности, многоагентная технология, система, структура многоагентной распределенной системы, управление эффективностью.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования. Лакизо, П. Ю. Метод принятия решения на основе комплексной оценки эффективности радиочастотного спектра / П. Ю. Лакизо // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 3. С. 41–47. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-3-41-47>.

DECISION-MAKING METHOD BASED ON A COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE RADIO FREQUENCY SPECTRUM

PAVEL YU. LAKIZO

Belarusian State Academy of Communications (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 01.11.2022

Abstract. One of the main problems in the use of the radio frequency spectrum is its scarcity. This is due not only to its natural properties as a resource, but also to the inefficiency of its use. Work in this direction was carried out by scientists. In order to release the inefficiently used part of the radio frequency spectrum, it is necessary to develop management measures and mechanisms that create the most unfavorable conditions for the operation of this part of the spectrum by operators. The article discusses proposals for the implementation of the methodology, the model and criteria for a symbolic description of the assessment of the effectiveness of the use of the radio frequency spectrum, including information and software implementation of a multi-agent system that allows for automated decision making, for a comprehensive assessment of the effectiveness of the use of the radio frequency spectrum.

A model of the overall efficiency of using the radio frequency spectrum based on three types of efficiency has been proposed, and a scale of intervals for these types has been developed. An assessment of the efficiency of the radio frequency spectrum based on a reference network of cellular mobile communications has been performed. A decision making variant based on the results of evaluating this efficiency is presented.

Keywords: radio frequency spectrum, types of efficiency, multi-agent technology, system, structure of a multi-agent distributed system, efficiency management.

Conflict of interests. The author declares no conflict of interests.

For citation. Lakizo P. Yu. (2023) Decision-Making Method Based on a Comprehensive Assessment of the Effectiveness of the Radio Frequency Spectrum. *Doklady BGUIR*. 21 (3), 41–47. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-3-41-47> (in Russian).

Введение

Для реализации перспективных технологий в области эффективного использования радиочастотного спектра (РЧС) необходимо создание благоприятных условий для строительства и модернизации инфраструктуры и развертывания сетей новых поколений подвижной связи. Одна из главных проблем использования РЧС – его дефицит, что связано не только с его природными свойствами как ресурса, но и с неэффективностью применения. Для высвобождения неэффективно используемой части радиочастотного спектра необходима разработка мер и механизмов управления, создающих максимально невыгодные условия для эксплуатации операторами данной части спектра.

Модель оценки эффективности использования радиочастотного спектра

Под эффективностью использования радиочастотного спектра будем понимать совокупность технических, экономических и социальных действий, направленных на максимально возможное обеспечение технических и социально-экономических потребностей государства. В связи с этим эффективность использования РЧС разделим на техническую, экономическую и социальную [1, 2].

Следует отметить, что не для всех радиослужб можно проводить оценку эффективности использования РЧС. Так, некоторые субъекты хозяйствования применяют выделенный им радиочастотный спектр в своих технологических процессах. Поэтому предлагается пользователей радиочастотного спектра разделить на тех, которые получают прямую выгоду от использования РЧС, и тех, кто получает косвенную выгоду. Предлагается субъекты хозяйствования, использующие выделенный им спектр для предоставления радиотехнологий другим субъектам хозяйствования или физическим лицам, отнести к первой группе, всех остальных – ко второй. Модель оценки общей эффективности использования РЧС представлена выражением

$$E = C_1 E_T + C_2 E_э + C_3 E_с, \quad (1)$$

где E_T , $E_э$, $E_с$ – техническая, экономическая и социальная эффективности соответственно; C_1 , C_2 , C_3 – корректирующий коэффициент для технической, экономической и социальной эффективности.

Корректирующие коэффициенты используются для того, чтобы учитывать значимость той или иной эффективности, а также ее отсутствие. Так, если значимость каждой эффективности равноценна, то $C_1 = C_2 = C_3$. В случае, когда та или иная эффективность отсутствует, следует выбирать корректирующий коэффициент, равный нулю. Общая сумма корректирующих коэффициентов $C_1 + C_2 + C_3 = 1$ [1, 3, 4].

В Республике Беларусь собственником РЧС выступает государство, что обеспечивает приоритетные условия для реализации государственных программ, в том числе обеспечения национальной безопасности, реализации научных проектов [5]. При этом реализация рыночных подходов к выделению РЧС представляется как необходимость отказа от государственной формы собственности, что не совсем верно, так как современная система правоотношений позволяет разработать механизмы обмена совокупностью правомочий без изменения титула собственности, примером является долгосрочная аренда земли.

Для комплексной оценки эффективности РЧС разработаны интервалы показателей по трем видам эффективности, а также общей эффективности с целью выявления разрывов (отклонений)

путем сравнения эталонных значений эффективности с фактически полученными по результатам деятельности операторов. В табл. 1 представлена шкала интервалов показателей технической эффективности использования радиочастотного спектра, где КОЭ – коэффициент отклонения показателей эффективности от эталонной сети.

Таблица 1. Показатели технической эффективности использования радиочастотного спектра
Table 1. Indicators of technical efficiency in the use of the radio frequency spectrum

Интервал технической эффективности / Technical efficiency interval	Ранг интервала / Interval rank	Весомость ранга a_i / Weight rank a_i	КОЭ = $a_i + 1$
1,00–0,89	0	0	1,000
0,88–0,84	1	0,015	1,015
0,83–0,79	2	0,030	1,030
0,78–0,74	3	0,045	1,045
0,73–0,69	4	0,060	1,060
0,68–0,64	5	0,075	1,075
0,63–0,59	6	0,090	1,090
0,58–0,54	7	0,105	1,105
0,53–0,49	8	0,120	1,120
0,48–0,44	9	0,135	1,135
0,43–0,39	10	0,150	1,150
0,38–0,25 и менее	11	0,175	1,175
Итого	66	1,000	–

Интервал 1,00–0,89 определяет ситуацию, когда техническая эффективность работы оператора соответствует эффективности эталонной сети. Экономическая эффективность работы оператора соответствует эффективности параметров экономического развития, социальная – параметрам социального развития, установленного государством. Интервал, характеризующий неэффективное использование РЧС, установлен в границах 0,38–0,25, так как по расчетам при значении эффективности менее 0,38 уменьшается коэффициент покрытия и нарушается требование по обеспечению зоны обслуживания в населенных пунктах республики и по автомобильным дорогам всех значений. Кроме того, снижаются экономический эффект для государства и социальный эффект для государства и пользователей от предоставления радиочастотного спектра операторам. Принятие решения по результатам оценки эффективности на основе данной модели предлагается осуществлять путем экспертных оценок.

Выполнена оценка эффективности радиочастотного спектра на основе такого критерия, как эталонная сеть сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS, построенная на базовых станциях, указанных в табл. 2. Эталонная сеть стандарта UMTS (–103 dBm) позволяет обеспечить зону обслуживания (покрытия) Республики Беларусь со следующими показателями: покрытие территории – 97,3 %, охват населения – 99,9 %.

Таблица 2. Результаты построения эталонной сети стандарта UMTS
Table 2. Results of building a reference network of the UMTS standard

Наименование показателя / Indicator name	Брест и Брестская область	Витебск и Витебская область	Гомель и Гомельская область	Гродно и Гродненская область	Минск и Минская область	Могилев и Могилевская область
Количество базовых станций	498	506	510	422	1234	399
Итого	3569					
Количество радиоканалов	1683	1434	1999	1369	5416	1397
Итого	13 298					

На рис. 1 представлено визуальное отображение рассчитанной эталонной сети сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS. С учетом полученных значений выполнен расчет эффективности использования РЧС радиоэлектронными средствами эталонной сети сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS по методике, представленной в постановлении Совета

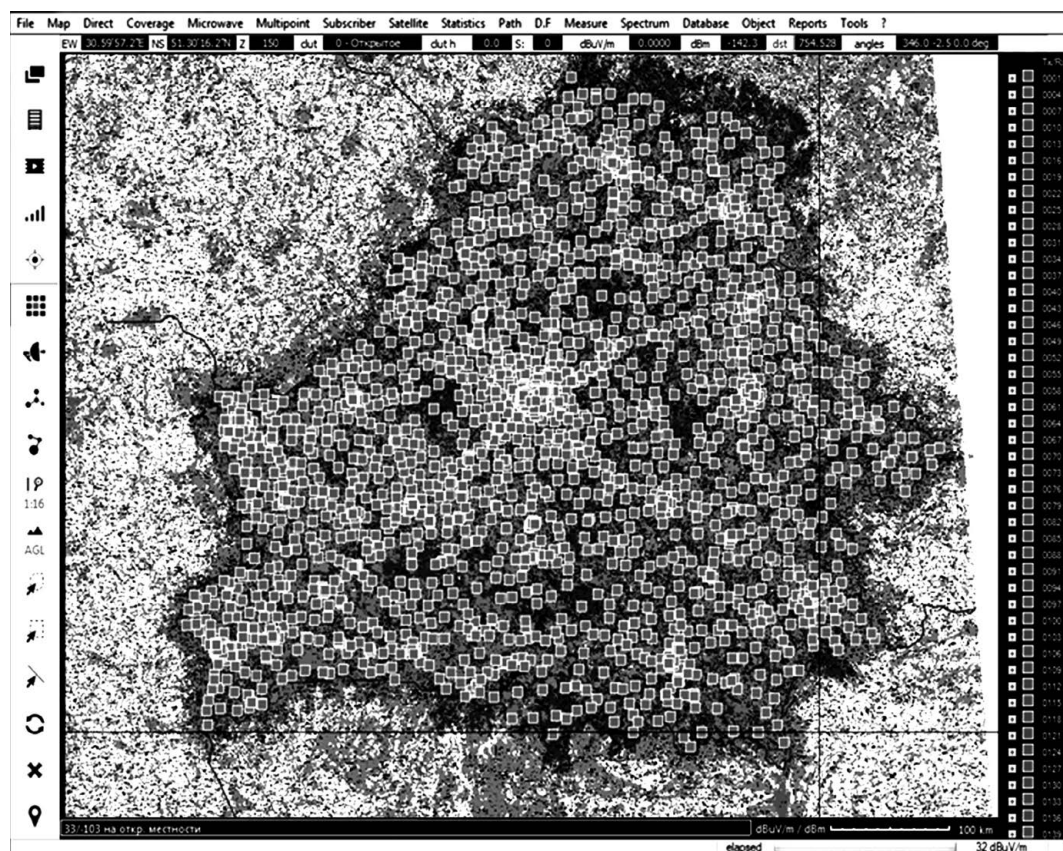


Рис. 1. Визуальное отображение рассчитанной эталонной сети сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS
Fig. 1. Visual display of the calculated reference cellular mobile telecommunication network of the UMTS standard

Министров Республики Беларусь № 1292 «Об утверждении положения о порядке определения эффективности использования радиочастотного спектра». Исходными данными служили следующие показатели: $Nk = 13\,298$ – количество радиочастотных каналов, необходимое для построения эталонной сети с заданными параметрами; $nfc = 4$ – данные, полученные исходя из среднего значения для трех операторов, действующих в Беларуси. В случае меньшего значения nfc все равно необходимо обеспечить наличие 13 298 радиоканалов для достижения параметров эталонной сети.

Планирование сети сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS отличается сложностью определения задач на каждом из этапов, поскольку используемые для ее планирования величины не имеют постоянного значения. Условия для построения эталонной сети сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS – усредняемые динамические переменные. Максимальное количество каналов, выделенных для использования РЧС UMTS (2100 МГц), равно 12. Сегодня операторам выделено по три канала, за исключением оператора 1 (два канала). Вместе с тем существует высокая вероятность прихода на рынок еще одного оператора 4. С учетом вышеизложенного и соблюдения условий равноправного доступа к радиочастотному спектру, как того требует Положение о порядке рассмотрения материалов и выделения полос радиочастот, радиочастотных каналов и радиочастот, а также порядке проведения экспертизы на электромагнитную совместимость радиоэлектронных средств и (или) высокочастотных устройств, утвержденное Указом Президента Республики Беларусь от 15.04.2003 № 192 (п. 6, Гл. 2 (7)), для существующих трех операторов сотовой подвижной электросвязи nfc принимаем равным 3. В целях обеспечения условий равноправного доступа к радиочастотному спектру для эталонной сети показатель nfc принимаем равным 4 в связи с высокой вероятностью выделения РЧС четвертому оператору.

Соотношение $nfc/mf = 1$, так как все выделенные каналы для эталонной сети должны использоваться (mf – количество радиоканалов). Площадь зоны покрытия $S_{п}$, полученная в результате расчетов и отвечающая требованиям табл. 2, составила 201 995 км², а численность населения X

на территории, где эксплуатируются радиоэлектронные средства стандарта UMTS, – 9 479 511 (99 % от населения Республики Беларусь). На основании значений S_{π} и X , необходимых для расчета по методике, представленной в постановлении Совета Министров Республики Беларусь от 31 декабря 2014 г. № 1292 «Об утверждении положения о порядке определения эффективности использования радиочастотного спектра», получено эталонное значение эффективности использования РЧС по технологии UMTS, равное 0,89. Результаты расчета технической эффективности использования радиочастотного спектра операторами сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчета эффективности использования радиочастотного спектра операторами сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS

Table 3. Results of calculating the efficiency of using the radio frequency spectrum by cellular mobile telecommunication operators of the UMTS standard

Оператор / Operator	Эффективность / Efficiency
1	0,33
2	0,64
3	0,54

Разрыв между значениями технической эффективности использования РЧС эталонной сетью и сетями операторов сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS приведен в табл. 4.

Таблица 4. Разрыв между значениями для разных операторов

Table 4. The gap between the values for different operators

Оператор / Operator	1	2	3
Разрыв / Gap	0,56	0,25	0,35

Один из вариантов принятия решения в ситуации, соответствующей представленным в табл. 3 данным, – это учет значения разрыва (табл. 4) при расчете экономической эффективности путем корректировки ее эталонного значения, осуществляемой за счет произведения данного коэффициента и КОЭ при осуществлении расчета платы за использование РЧС. Представленные в табл. 4 значения разрыва в технической эффективности использования РЧС между эталонной сетью и сетями операторов сотовой подвижной электросвязи характеризуют степень развития действующих сетей как имеющее перспективы для дальнейшего освоения. Принятое значение $n/c = 4$ позволяет сравнивать показатели эффективности использования РЧС эталонной и действующих сетей в целом. Вывод об эффективности использования РЧС и многокритериальные решения принимаются радиочастотной службой после проведения расчетов.

Показатель экономической эффективности соответствует обратно пропорциональному значению технической эффективности. Это обусловлено необходимостью увеличения ежегодной платы за используемый спектр операторами в случае образования разрывов между эталонным и фактическим значениями технической эффективности. Таким образом, чем более неэффективно используется спектр, тем более дорогим он станет для оператора сотовой подвижной связи.

Определим значение первичного эталонного показателя экономической эффективности. В качестве критерия используем размер установленной ежегодной платы по выделенному РЧС конкретному оператору. Так, размер ежегодной разовой платы одним конкретным оператором равен 1,00 (первичный эталон) показателя экономической эффективности. Из этого следует, что значение показателя экономической эффективности $E_3 \geq 1,00$. То есть, если данное значение меньше единицы, это означает, что оператор не произвел (либо частично произвел) оплату за выделенный спектр, а, следовательно, он подлежит изъятию. Показатель экономической эффективности будет равен единице в случае, если оператор достигнет значений критериев эталонной сети (технической эффективности), в этом случае оператор произведет оплату в размере установленной ежегодной платы. В случае образования разрыва оператору придется компенсировать его путем достижения показателей экономической эффективности выше единицы (вторичный эталон), что обеспечивается умножением установленной разовой платы за используемый спектр на динамический коэффициент отклонения от эталонной сети.

Произведем расчет общей эффективности РЧС каждого оператора подвижной сотовой связи по эталонной модели исходя из следующих параметров. Значения весовых коэффициентов технической C_1 и экономической C_2 эффективностей прямо пропорциональны друг другу. Данное обстоятельство обосновывается необходимостью поэтапного увеличения размера платы, осуществляемой операторами за спектр в случаях появления (увеличения) разрыва между эталонной и фактической сетями сотовой подвижной электросвязи стандарта UMTS. В связи с тем, что социальная эффективность на этапе развертывания сети может как присутствовать, так и отсутствовать, установим в этом случае значение параметра $C_3 = 0$. Таким образом, если общая сумма весовых коэффициентов $C_1 + C_2 + C_3 = 1$, а значения весовых коэффициентов технической C_1 и экономической C_2 эффективностей прямо пропорциональны друг другу, то $C_1 = 0,5$ и $C_2 = 0,5$. Рассчитаем общую эффективность операторов сотовой подвижной связи по предложенной модели с учетом влияния коэффициента отклонения от эталонной сети

$$E = C_1 E_T + C_2 E_3 \text{КОЭ} + C_3 E_c, \quad (2)$$

где $C_1 = 0,5$; $C_2 = 0,5$; $C_3 = 0$; $E \leq 1$; $E_T \leq 0,89$; $E_3 \geq 1$; $E_c = 1$; КОЭ – коэффициент отклонения показателей эффективности согласно табл. 1.

Для определения эталона экономической эффективности по каждому конкретному оператору выполним анализ ежегодной разовой платы за использование стандарта UMTS. Данные расчета приведены в табл. 5.

Таблица 5. Расчет показателей эффективности операторов сотовой подвижной связи
Table 5. Calculation of performance indicators of mobile operators

Оператор / Operator	Техническая эффективность	C	Экономическая эффективность (первичный эталон)	C	Социальная эффективность	C	Общая эффективность с учетом экономической эффективности (первичный эталон)	Экономическая эффективность (вторичный эталон)
1	0,33	0,5	1	0,5	1	0	0,665	1,67
2	0,64	0,5	1	0,5	1	0	0,82	1,36
3	0,54	0,5	1	0,5	1	0	0,77	1,46

Расчет варианта принятия решения по результатам оценки эффективности использования радиочастотного спектра приведен в табл. 6.

Таблица 6. Расчет размера ежегодной платы за использование радиочастотного спектра
Table 6. Calculation of the amount of the annual fee for the use of radio frequency spectrum

Оператор сотовой подвижной связи / Mobile operator	КОЭ, согласно табл. 1	Размер ежегодной платы, евро, за использование радиочастотного спектра		Размер дополнительной ежегодной платы, евро, в республиканский бюджет за пользование РЧС
		базовый	фактический	
1	1,175	542069,60	636931,78	94862,18
2	1,075	1853722,00	1992751,15	139029,15
3	1,105	1286348,00	1421414,54	135066,54

Выводы

1. Выполнена оценка эффективности использования радиочастотного спектра на основе разработанной шкалы интервалов показателей общей, технической, экономической и социальной эффективностей. Произведены расчеты технической, экономической и общей эффективности использования радиочастотного спектра по трем операторам сотовой связи. Определены разрывы между фактическими значениями эффективности и эталонными.

2. Предложен вариант принятия решения по результатам оценки эффективности использования радиочастотного спектра.

Список литературы

1. Вишняков, В. А. Модели для оценки эффективности использования радиочастотного спектра на основе мультиагентной технологии / В. А. Вишняков, П. Ю. Лакизо // Вестник связи. 2020. № 6. С. 50–54.
2. Лакизо, П. Ю. Построение эталонных моделей сетей сотовой связи стандартов GSM и UMTS / П. Ю. Лакизо, А. А. Карпук, Н. И. Кабак // Проблемы инфокоммуникаций. 2021. № 2. С. 12–19.
3. Вишняков, В. А. Информационная оценка эффективности радиочастотного спектра с использованием многоагентной технологии / В. А. Вишняков, П. Ю. Лакизо // Проблемы инфокоммуникаций. 2019. № 2. С. 53–58.
4. Вишняков, В. А. Информационное управление эффективностью при использовании радиочастотного спектра в Республике Беларусь / В. А. Вишняков, А. В. Табаньков // Системный анализ и прикладная информатика. 2014. № 1–3. С. 29–33.
5. Об объектах, находящихся только в собственности государства, и видах деятельности, на осуществление которых распространяется исключительное право государства [Электронный ресурс] // Закон Республики Беларусь от 15 июля 2010 г. № 169-3. Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11000169>. Дата доступа: 05.08.2022.

References

1. Vishnyakov V. A., Lakizo P. Yu. (2020) Models for Evaluating the Efficiency of Using the Radio Frequency Spectrum Based on Multi-Agent Technology. *Messenger of Communication*. (6), 50–54 (in Russian).
2. Lakizo P. Yu., Karpuk A. A., Kabak N. I. (2021) Construction of Reference Models of GSM and UMTS Cellular Communication Networks. *Problems of Infocommunications*. (2), 12–19 (in Russian).
3. Vishnyakov V. A., Lakizo P. Yu. (2019) Informational Assessment of the Effectiveness of the Radio Frequency Spectrum Using Multi-Agent Technology. *Problems of Infocommunications*. (2), 53–58 (in Russian).
4. Vishnyakov V. A., Tabankov A. V. (2014) Information Efficiency Management when Using the Radio Frequency Spectrum in the Republic of Belarus. *System Analysis and Applied Informatics*. (1–3), 29–33 (in Russian).
5. On Objects That Are Only Owned by the State, and Types of Activities, the Implementation of Which is Subject to the Exclusive Right of the State. *Law of the Republic of Belarus, July 15, 2010, No 169-3*. Available: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=H11000169> (Accessed 5 August 2022) (in Russian).

Сведения об авторе

Лакизо П. Ю., магистр управления, проректор
Белорусской государственной академии связи

Адрес для корреспонденции

220076, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Франциска Скорины, 8/2
Белорусская государственная академия связи
Тел.: +375 17 272-96-45
E-mail: plan_vgks@mail.ru
Лакизо Павел Юрьевич

Information about the author

Lakizo P. Yu., Master of Management, Vice-Rector
of the Belarusian State Academy of Communications

Address for correspondence

220076, Republic of Belarus,
Minsk, Francysk Skaryna St., 8/2
Belarusian State Academy of Communications
Tel.: +375 17 272-96-45
E-mail: plan_vgks@mail.ru
Lakizo Pavel Yurievich