

# ОРАЗМЕРЯВАНЕ И ОЦЕНКА НА РАДИОЧЕСТОТНИЯ СПЕКТЪР

## DIMENSIONING AND EVALUATION OF THE RADIO FREQUENCY SPECTRUM

**Георги Петров, НБУ, Бончо Балабанов**

НБУ, ул. Топли Дол 4А, София 1680, Balabanov@nbu.bg

**Keywords:** Radio Frequency Spectrum, Spectrum-Orbit resource, dimensioning and evaluation of the radio frequency spectrum, grade of the spectrum utilisation, market price of the Spectrum-Orbit resource, efficient spectrum-orbit utilisation.

*Abstract - Radio frequency spectrum is assumed as valuable resource. Radio spectrum throughout the world is valued at well over \$2 trillion. The Radio Frequency Spectrum resource value is necessary to obtain for comparing efficiency of the communications systems. This resource has physical dimensions, quality characteristics and market dependent unit price.*  
*Резюме - В редица публикации радиочестотният спектър (РСЧ) се разглежда като ценен естествен ресурс. Радиочестотният спектър е триизмерен ресурс: радиочестотна лента, пространство и време. РСЧ притежава качествени характеристики: качество (чистота) на спектъра, натоварване на РСЧ, използване (консумация) на РСЧ, публичен и професионален интерес към използването на РСЧ.*

### 1. Увод

Радиочестотният спектър е определен от ООН като ограничен естествен ресурс. Спектърът се характеризира със своята нематериалност и с голямото си значение за прилагане на съвременните информационни технологии [1].

Радиочестотният спектър е триизмерен ресурс с определни качествени характеристики и се използва чрез излъчване на радиочестотна мощност. Спектърът не се изразходва, но и не се възстановява и ако част от него не се използва днес, тя е безвъзвратно загубена и утре не може да се използва двойно.

По препръки на Европейската комисию всяка страна трябваше да направи инвентаризация на своя РСЧ и да набележи мерки за ефективното му използване при създаване на "единно европейско информационно пространство" [2]. Тази инвентаризация може да се извърши само след оразмеряване и оценка на националния радиочестотен спектър.

### 2. Размерност на радиочестотния спектър (Спектрално-орбитален ресурс<sup>1</sup>)

Радиочестотният спектър е три размерен ресурс:

#### 2.1.1. Радиочестотна лента (Fig.1.).

Радиочестотната лента е широчината на радиочестотния спектър зает от радио сигналите на разглежданата съобщителна система-  **$B$ , [Hz]**.

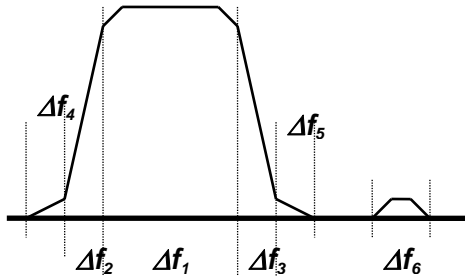
---

<sup>1</sup> Spectrum/Orbit resource

Радиочестотната лента на сигнала може да се раздели на две основни части:

- част заета от сигнала ( $\Delta f_1, \Delta f_2, \Delta f_3$ ),
- част заета от паразитни излъчвания ( $\Delta f_4, \Delta f_5, \Delta f_6$ ).

Всяка от отделните части влияе по различен начин на цената на РСЧ.

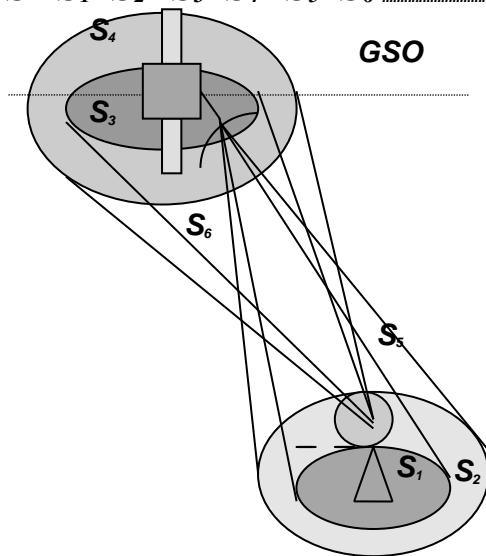


Фиг.1.

### 2.1.2. Пространство.

Това е обемът от пространството зает от радио сигнали или площта покрита с радио сигнали-  $[m^3]$  или  $[m^2]$ .

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 \dots \dots \dots (1)$$



Фиг.2

Частите на пространството за примера на Спътникова съобщителна система от Фиг.2 са:

$S_1$ -покрита зона на земната повърхност със спътников сигнал (на ниво  $-3 \text{ dB}$  спрямо центъра на лъча);

$S_2$  - зона на спътниковия лъч (смутена зона от  $-3 \text{ dB}$  до  $-30 \text{ dB}$  спрямо центъра на лъча);

$S_3$ - част от пространството около Геостационарната орбита (ГСО) облъчвана от земната станция (на ниво  $-3 \text{ dB}$  спрямо центъра на лъча);

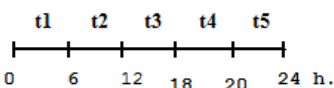
$S_4$  - част от пространството около Геостационарната орбита на ниво от  $-3$

$\text{dB}$  до  $-30 \text{ dB}$  спрямо центъра на лъча;

$S_5, S_6$ - обеми от пространството затворени от коничния спътников лъч.

### 2.1.3. Време.

Това е отрязъкът от време, когато разглежданата съобщителна система използва радиочестотния спектър -  $T$ , месец ( $M$ ), ден ( $d$ ) или час ( $h$ );



Фиг.3.

### 3. Качествени характеристики на РСЧ.

Качествените характеристики определят възможностите за използване на РСЧ. Те зависят от съобщителните радио системи и са във връзка с електромагнитната съвместимост на радио системите и при оценка на РСЧ техните стойности трябва да се разглеждат. Качествените параметри зависят от броя на работещите съобщителни системи в разглеждания радиочестотна лента и от излъчваната радиочестотна мощност. Качествените характеристики на РСЧ определят условията за реализиране на радио съобщенията. Предлагат се четири качествените характеристики.

#### 3.1. Качество (чистота) на спектъра.

Това е основна електромагнитна характеристика -  $Q$ ,  $[W^{-1}.m^2.Hz]$

$$Q=1/N, \quad (2)$$

където  $N$  е спектралната пътност на мощността на шумовете и на радиосмущенията през единица пространство  $S$ , измерена когато разглежданата съобщителна система не излъчва сигнали  $[W.m^{-2}.Hz^{-1}]$ .

Намаляването на стойността на  $Q$  ще намали пазарната цена на РСЧ.

#### 3.2. Натоварване на радиочестотния спектър.

Радио предавателите на разглежданата съобщителна система излъчват радиочестотна мощност и натоварват РСЧ със сигнали.

Натоварването на спектъра е спектралната пътност на мощността излъчена от разглежданата съобщителна система през единица пространство  $S$  -  $L$ ,  $[W.m^{-2}.Hz^{-1}]$ .

Определението на спектралното натоварване е:

$$L = K_L.P, \quad (3)$$

където  $P$  е излъчваната мощност;

$K_L$  е коефициент, зависещ от усилването на антената, затихването в пространството и радиочестотната лента на излъчените сигнали.

#### 3.3. Използване (консумация) на РСЧ.

Комплексната мярка на използването на спектъра е:

$$C = L*Q = L/N \quad (4)$$

Оценката на използване на РСЧ е отношението носеща/смущение (носеща/шум)-  $(C/N)$  в отделна част на радиочестотния ресурс. Ако системата работи с по-ниско отношение носеща/смущение, тя използва по-малко ресурс с по-ниска стойност.

#### 3.4. Обществен и професионален интерес към използването на РСЧ - $A$ .

Интересът към използването на определни части от РСЧ определя реалната му цена. Той не може да се определи теоретично предварително понеже върху него влияят пазарните условия и използваните технологии в съответните радиочестотни ленти и зависи от условията за разпространение на

радиовълните, от броя на консуматорите (абонатите) и от развитието на бизнеса в разглеждания район.

#### 4. Оценка на РСЧ и на спектрално-орбиталния ресурс

4.1. Оценката на РСЧ и на спектрално-орбиталния ресурс може да се направи чрез следната зависимост:

$$E = F_E[F_B(B) * F_S(S) * F_T(T)], \quad (5)$$

където  $F_B$ ,  $F_S$  и  $F_T$  са тегловните функции на спектралните параметри при оразмеряването на ресурса. Те зависят от вида на съобщителната система, нейната структура, от качествените характеристики и от методите за обработка на сигналите.

$F_E$  свързва методите и параметрите за оразмеряване и оценка на спектъра с функциите за оценката му.

#### 4.2. Влияние на радиочестотната лента върху оценката на РСЧ - Фиг.1.

$$F_B(B) = m_B \cdot \sum_{n=1}^k (C_{Bn} \cdot Bs_n + L_{Bn} \cdot Bi_n) \quad (6)$$

където  $Bs_n = \Delta f s_n$  и  $Bi_n = \Delta f i_n$  са частите от радиочестотната лента:

$Bs_n$  са радиочестотните ленти заети от полезния сигнал;

$Bi_n$  са радиочестотните ленти заети от паразитните излъчвания на разглежданата радио система.

$C_{Bn}$  са коефициенти пропорционални на отношението носеща/смущение.

$L_{Bn}$  са коефициенти пропорционални на мощността на радиосигнала;

$m_B = K_{m_B} * A_B$  е коефициент определящ тежестта на радиочестотната лента при оценката на РСЧ.

$K_{m_B}$  е общ коефициент за оценка на влиянието на радиочестотната лента при оценката на РСЧ.

$A_B$  е професионалният интерес към разглеждания радио честотен обхват.

$$F_B(B) = K_{m_B} \cdot A_B \cdot \sum_{n=1}^k (C_{Bn} \cdot Bs_n + L_{Bn} \cdot Bi_n) \quad (7)$$

#### 4.3. Влияние на пространството, заето от сигнала при оценката на РСЧ.

Пространството (Фиг.2), което е натоварено с радиосигналите не може да се използва от други системи със същите радио честоти. Влиянието на пространството при оценката на РСЧ е:

$$F_S(S) = m_s \sum_{n=1}^k (i_n S_n), \quad (8)$$

където  $S_n$  са отделните части на пространството;

$i_n$  са коефициенти, зависещи от качеството на сигнала, нивото му и от интереса към РСЧ в този район:

$$i_n = Q_{Sn} + L_{Sn} + A_{Sn};$$

$Q_{Sn}$  са коефициенти зависещи от качеството на РСЧ в разглежданото пространство;

$L_{Sn}$  са коефициенти зависещи от натоварването на РСЧ в разглежданото пространство;

$A_{Sn}$  са коефициенти зависещи от интереса към РСЧ в разглежданото пространство;

$m_S = m_S(C_S)$  е общ коефициент на тежестта на пространството, покрито със сигнал при оценката на РСЧ. Може да се опрости:

$$m_S = K_S \cdot C_S,$$

$K_S$  е общ коефициент за определяне на влиянието на пространството, покрито със сигнал при оценката на РСЧ.

$C_S$  е фактор на средната използваемост на РСЧ в пространството, покрито със сигнал.

За спектрално-орбиталния ресурс ще се получи:

$$F_s(S) = K_S \cdot C_S \sum_{n=1}^k ((Q_{Sn} + L_{Sn} + A_{Sn}) S_n), \quad (9)$$

Коефициентите  $S_n$  in (8,9) за спътниковата микровълнова система могат да се изразят (с някои ограничения) чрез ъгълите на антенните лъчи:

От Фиг.2:

$$S_n = K_{sn} \cdot \varphi_n^2, \quad (10)$$

за сегментите  $S_n$  и  $S_{(n-1)}$ :

$$S_{\Delta n} = S_n - S_{(n-1)} = K_{sn} \cdot (\varphi_n^2 - \varphi_{(n-1)}^2), \quad (11)$$

и по-подробно:

$$S_n = \sum_{e=1}^k (S_{kn}(\lambda_{sat}, \lambda_0, \theta_0, \xi_e, \varphi_e, \lambda_e, \theta_e)) \quad (12)$$

където  $\lambda_{sat}$  е спътниковата географска дължина на ГСО (Фиг.4);

$\lambda_0$  е географска дължина на центъра на спътниковия лъч;

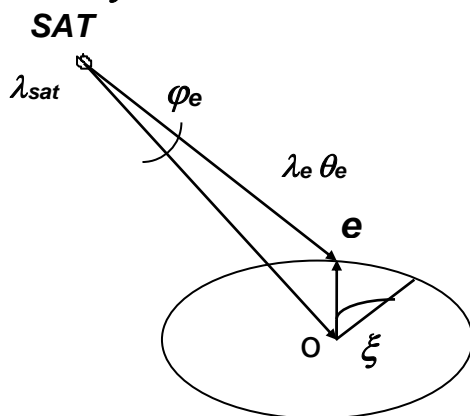
$\theta_0$  е географска ширина на центъра на спътниковия лъч;

$\xi_e$  е обхождащият ъгъл при определяне на контролните точки;

$\varphi_e$  е ширината на спътниковия лъч;

$\lambda_e$  е географска дължина на контролната точка  $e$ ;

$\theta_e$  е географска ширина на контролната точка  $e$ .

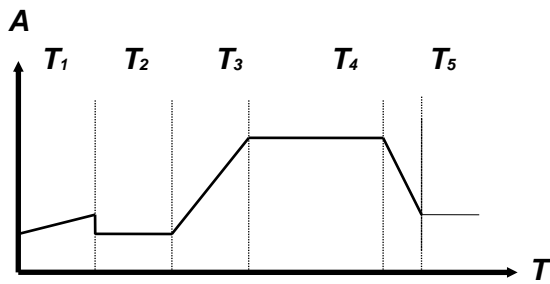


Фиг.4.

#### 4.4. Влияние на операционния временен интервал върху оценката на РСЧ.

Ако съобщителната система използва РСЧ през интервали от време, или някои оператори използват този ресурс съвместно с разделяне по време, оценката се извършва за всеки временен интервал (Фиг.5).

$$F_T(T) = m_T * \sum_{n=1}^k (A_{Tn} * T_n), \quad (13)$$



Фиг.5

където  $T_n$  са специфичните операционни интервали от време;

$A_{Tn}$  са коефициенти пропорционални на интереса на абонатите към разглеждания ресурс в този интервал от време;

$m_T$  е коефициент, определящ тежестта на операционното време върху оценката на РСЧ.

#### 4.5. Влияние на използването на спектъра върху оценката на РСЧ.

Коефициентите, които определят използването на спектъра ( $C_{Bn}$  и  $C_S$ ) се включват при определяне влиянието на отделните параметри при оценката на РСЧ (8),(9),(13).

#### 4.6. Влияние на натоварването на спектъра върху оценката на РСЧ.

Натоварването на спектъра се определя за всяка част от пространството, за всяка част от радиочестотната лента през отделните временни интервали:

$L_{Bn}$  са коефициенти пропорционални на нивото на сигнала в разглежданите радиочестотни ленти;

$L_{Sn}$  са коефициенти пропорционални на нивото на сигнала в разглежданите части от пространството, покрити със сигнал.

#### 4.7. Влияние на качеството на спектъра върху оценката на РСЧ.

$Q_{Sn}$  са коефициенти зависещи от качеството на РСЧ. Те се използват в горните формули.

#### 4.8. Влияние на публичния и професионалния интерес към използването на спектъра върху оценката на РСЧ.

Общественият и професионален интерес към използването на спектъра се отчита с коефициентите  $A_B$ ,  $A_{Sn}$  и  $A_{Tn}$ .

### 5. Определяне цената на спектъра.

Цената на РСЧ  $V$  се определя чрез неговите размери, от качествените му параметри и от степента на използването му.

След опростяване на (5) може да се запише:

$$E = F_E * B * S * T, \quad (14)$$

$$\text{където } F_E = K_E * A * P * C_d, \quad (15)$$

$$C_d = 10 * \lg C, [dB], \quad (16)$$

$$E = K_{E1} * A * B * S * T * P * C, [Hz \cdot m^2 \cdot t \cdot W \cdot dB], \quad (17)$$

или за пространствен лъч:

$$E = K_{E2} * A * B * \varphi^2 * T * P * C, [Hz \cdot deg^2 \cdot t \cdot W \cdot dB], \quad (18)$$

където  $t$  е месец ( $M$ ), час ( $h$ ) или ден ( $d$ ).

Цената на ресурса РСЧ е:

$$V = F_V \cdot E, [USD] \quad (19)$$

$$V = F_V \cdot F_E [F_B(B) \cdot F_S(S) \cdot F_T(T)], [USD] \quad (20)$$

Може да се въведе цена на единица ресурс  $V_0$ :

$$V = V_0 \cdot E$$

$$V_0 = V/E, [USD \cdot Hz^{-1} \cdot m^{-2} \cdot t \cdot W^{-1} \cdot dB^{-1}] \quad (21)$$

Цената на РСЧ ще е:

$$V = V_0 \cdot B \cdot S \cdot T \cdot P \cdot C, [USD] \quad (22)$$

За спектрално-орбиталния ресурс размерността е:

$$USD \cdot Hz^{-1} \cdot deg^{-2} \cdot t \cdot W^{-1} \cdot dB^{-1} \quad (23)$$

Пазарната цена на РСЧ се определя от клиентите и операторите чрез търгове. Единичната цена на спектъра може да варира в зависимост от характеристиките на РСЧ.

## 6. Пример

Някои от коефициентите, включени в горните изрази зависят от конкретната съобщителна система, условията на пазара, икономическото развитие на страната и могат да се дискутират.

В следващия пример се анализира Спътникова съобщителна система (Фиг.2). В примера ще се вземе предвид само областта от земната повърхност ( $S_1, S_2$ ):

$$F_S(S) = m_S(i_1 S_1 + i_2 S_2), \text{ или}$$

$$F_S(S) = K_S \cdot C_S / [(Q_{S1} + L_{S1} + A_{S1}) \cdot S_1 + (Q_{S2} + L_{S2} + A_{S2}) \cdot S_2] \quad (24)$$

Зоната на покритие, чрез параметрите на антенния лъч е:

$$F_S(S) = K_S \cdot C_S / [(Q_{S1} + L_{S1} + A_{S1}) \cdot K_{S1} \cdot \varphi_1^2 + (Q_{S2} + L_{S2} + A_{S2}) \cdot K_{S2} \cdot (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)]. \quad (25)$$

За дадена антена и спътникова позиция, ако  $\varphi_2 < 3^\circ$  и издигането на спътника над хоризонта е  $h > 30^\circ$ :

$$K_{S1} = K_{S2} = K_{SS}, \text{ и}$$

$$F_S(S) = K_S \cdot K_{SS} \cdot C_S / [(Q_{S1} + L_{S1} + A_{S1}) \cdot \varphi_1^2 + (Q_{S2} + L_{S2} + A_{S2}) \cdot (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)] \quad (26)$$

Ако паразитните излъчвания се пренебрегнат:

$$E = K_S \cdot K_{SS} \cdot C_S / [(Q_{S1} + L_{S1} + A_{S1}) \cdot \varphi_1^2 + (Q_{S2} + L_{S2} + A_{S2}) \cdot (\varphi_2^2 - \varphi_1^2)] + \\ + K_{mB} \cdot A_b (C_{B1} \cdot B_1 + C_{B2} (B_2 + B_3)) + m_T (A_{T1} T_1 + A_{T2} T_2 + A_{T3} T_3) \quad (27)$$

$$V = V_0 \cdot E \quad (28)$$

Чрез усредняване на параметрите може да се получи опростен израз, удобен за практически изчисления:

$$V = V_0 \cdot B \cdot \varphi^2 \cdot T \cdot P \cdot C \quad (29)$$

Главните характеристики на спътникова телевизионна система са дадени в Appendices 30 на Radio Regulations.

Следните стойности се предлагат за резултатите в Таблица 1. Тези резултати са само един пример за приложение на описаните методи:

$$C_{B1} = 28; \quad C_{B2} = 15; \quad C_S = 25 \text{ dB};$$

$$K_S \cdot K_{SS} = 2.10^{15}; \quad F_B(B) = K_{mB} = 10;$$

$$L_{S1} = -177 \text{ dBW Hz}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}; \quad L_{S2} = -180 \text{ dBW Hz}^{-1} \cdot \text{m}^{-2};$$

$A=0.1 \div 10$ , в зависимост от условията на пазара.  
 $A_{S1} = 1; \quad A_{S2} = 0.5;$   
 $V_0$  се определя за:  
 $\varphi = 1^\circ; \quad C=1 \text{ dB}; \quad P=1 \text{ W}.$   
 $F_T(T)=1$ , ако ресурсът се използва през цялото време.

Таблица 1.

Коефициенти	Единица	Стойност	dB
$V_0$	USD. Hz <sup>-1</sup> .deg <sup>-2</sup> . h <sup>-1</sup> .W <sup>-1</sup> .dB <sup>-1</sup>	10 <sup>-9</sup>	
$B$	MHz	27	
$\varphi$	градуси	2	
$T$ [месец]	часове	720	
$P$	W	60	
$C$	dB		28
$V_1$	USD/час	181	
$V_2$	USD/месец	130,637	

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По време на годишните икономически срещи в Давос се изнасят доклади в различни области на стопанството и технологиите. Такива са презентациите през 2007г. в областта на телекомуникациите и по-специално за стойността на радиочестотния спектър (РСЧ). Една от тях е „Радио спектърът е петрола на 21 век”<sup>2</sup> [3]. Другата е по-силна - „Дали радио спектърът е по-ценен от петрола?”<sup>3</sup> [4]. В тези доклади радиочестотният спектър в целия свят се оценява с над 2000 милиарда долара.

Точната пазарна цена на РСЧ се определя от операторите. Предложените методи за оразмеряване и оценка могат да се използват за сравняване на различни спектрални ресурси и на различни съобщителни системи. Параметрите и условията, които се отнасят до обществения клиентски и професионален интерес зависят от ситуацията и стойностите им са променливи [5,6,7].

## ЛИТЕРАТУРА

- [1]. ITU-R-SG-1, RWP-1B - Document 1/53. Definition of Spectrum use and efficiency of a Radio Sistem. Geneva, 1993.
- [2]. STUDY ON "EXPLOITING THE DIGITAL DIVIDEND" , A EUROPEAN APPROACH., SMART N° 2008/0016,2008.
- [3]. Radio Spectrum The Oil of the 21st Century, the pre-Davos summit- Seeking Alpha.mht. (Times-January 31, 2007)
- [4]. Is radio spectrum more valuable than oil? - WiMAX Day.mht
- [5]. B. Balabanov, Evaluation of the Spectrum Orbit Resource (IAF-95-M.1.06). The 46th international astronomical congress, Oslo, 1995.
- [6]. ITU-R SG-1, Doc. 1B/TEMP/22, Geneva, 1995.

<sup>2</sup> „Radio Spectrum The Oil of the 21st Century”

<sup>3</sup> „Is radio spectrum more valuable than oil?”



[7]. B. Balabanov, EVALUATION OF THE SPECTRUM/ORBIT RESOURCE, ITU Spectrum management seminar, Sofia, 1996.