

ZALECENIE ITU-R RS.1260-1*, **

Możliwość współużytkowania między aktywnymi sensorami pokładowymi a innymi służbami w zakresie częstotliwości 420–470 MHz

(Zagadnienie ITU-R 218/7)

(1997-2003)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

zważywszy

- a) że przy pomocy radarów z aperturą syntetyczną (SAR) można dokonywać pomiarów zawartości wilgoci w glebie i biomasy leśnej, wykrywać głębokie struktury geologiczne, takie jak uskoki, szczeliny, synkliny i antykliny, a także dokonywać pomiarów głębokości pokrywy lodowej na Antarktydzie oraz badać właściwości hydrogeologiczne suchych i półsuchych regionów;
- b) że dzięki eksperymentalnym SARom zainstalowanym na pokładach statków powietrznych wykazano potencjał prowadzenia takich pomiarów;
- c) że przedmiotowe SARy umieszczane na pokładach statków kosmicznych muszą działać na częstotliwościach poniżej 500 MHz, aby penetrować gęstą roślinność i powierzchnię Ziemi w sposób powtarzalny w skali światowej;
- d) że podczas Konferencji Organizacji Narodów Zjednoczonych „Środowisko i Rozwój” w Rio de Janeiro w 1992 r. podkreślono potrzebę monitorowania lasów;
- e) że w Uchwale 727 (Rev.WRC-2000) ujęto zapotrzebowanie na widmo częstotliwości do 6 MHz na potrzeby służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) w zakresie częstotliwości 420–470 MHz w celu spełnienia wymogów służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych);
- f) że pasma częstotliwości w zakresie 420–470 MHz są obecnie przeznaczone dla służb radiolokalizacji, stałej, amatorskiej, operacji kosmicznych i ruchomej;
- g) że w ramach służby amatorskiej prowadzi się operacje z zastosowaniem słabego sygnału (w tym operacje Ziemia-Księżyc-Ziemia) skupione wokół częstotliwości 432 MHz, zaś operacje służby amatorskiej satelitarnej (zarówno na łączach „w górę” jak i „w dół”) prowadzone są w zakresie 435–438 MHz;

* UWAGA – Następujące administracje - Arabia Saudyjska, Dżibuti, Egipt, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Jordania, Kuwejt, Maroko, Mauretania, Syryjska Republika Arabska, Tunezja i Jemen - sprzeciwiają się zatwierdzeniu niniejszego zalecenia. Więcej informacji można znaleźć w odpowiednim Raporcie podsumowującym RA 03.

** 7 Radiokomunikacyjna Grupa Studiów wprowadziła poprawki redakcyjne do tego zalecenia.

- h) że części tych pasm wykorzystywane są w innych celach, w tym:
- na użytek radarów profilu wiatru w zakresie 440–450 MHz, a w przypadku niekompatybilności między radarami profilu wiatru i innymi zastosowaniami, w zakresach 420-435 MHz i 438-440 MHz (Uchwała 217 (WRC-97));
 - na użytek odbiorników polecenia zniszczenia rakiety nośnej w obrębie bezpiecznego obszaru kosmodromu (range safety) w zakresie 449,75–450,25 MHz (Regulamin Radiokomunikacyjny uwaga 5.286) a także w pobliżu częstotliwości 421,0, 425,0, 427,0, 440,0 i 445,0 MHz w Stanach Zjednoczonych Ameryki i w Brazylii, zaś we francuskich departamentach zamorskich w Regionie 2 i w Indiach w zakresie 433,75–434,25 MHz (Regulamin Radiokomunikacyjny uwaga 5.281);
- j) że niektóre SARy umieszczane na pokładach statków kosmicznych mogą wytwarzać na powierzchni Ziemi wyższą gęstość strumienia mocy niż wynoszą poziomy gęstości wymagane do ochrony służby stałej i służby ruchomej lądowej, dla których przeznaczony jest dany zakres częstotliwości;
- k) że współużytkowanie częstotliwości z radarami profilu wiatru może być niewykonalne z uwagi na zakłócenia aktywnego sensora pokładowego na pokładach statków kosmicznych;
- l) że SARy i służba amatorska (pierwszej ważności w Regionie 1 i drugiej ważności w Regionach 2 i 3, poza przypadkami określonymi w Regulaminie Radiokomunikacyjnym w uwadze 5.278) mogą współużytkować zakres 430–440 MHz podejmując odpowiednie środki określone w dodatku 1 do niniejszego zalecenia;
- m) że ponadto w postanowieniach Regulaminu Radiokomunikacyjnego w uwagach 5.274, 5.275, 5.276, 5.277, 5.278, 5.281 i 5.283 ujęto wykaz państw, które zdefiniowały części pasma pomiędzy 430 a 440 MHz jako mające status pasma pierwszej ważności dla służby stałej, ruchomej, operacji kosmicznych lub amatorskiej;
- n) że niektóre badania dotyczące współużytkowania wykazały, że współużytkowanie częstotliwości między służbami amatorskimi i niektórymi proponowanymi SARami w służbie satelitarnych badań Ziemi jest możliwe dla niektórych amatorskich trybów transmisji, takich jak FM czy wielodostęp z podziałem czasowym (TDMA), byłoby jednak trudne przy wykorzystaniu fali ciągłej i jednowstęgowego trybu pracy;
- o) że w zaleceniu ITU-R M.1462 ujęto parametry techniczne i operacyjne oraz kryteria ochrony dla radarów (umieszczanych na pokładach statków powietrznych, na pokładach statków i radarów śledzących służących do wykrywania obiektów kosmicznych) pracujących w służbie radiolokalizacyjnej w zakresie częstotliwości 420-450 MHz;
- p) że niektóre SARy umieszczane na pokładach statków kosmicznych mogą powodować niedopuszczalne zakłócenia pracy naziemnych radarów śledzących służących do wykrywania obiektów kosmicznych działających w zakresie 420–450 MHz, jeżeli radar SAR umieszczany na pokładach statków kosmicznych znajduje się w zasięgu naziemnych radarów (tj. powyżej optycznego (widzialnego) horyzontu radarów);
- q) że naziemne radary śledzące służące do wykrywania obiektów kosmicznych wyśledzą niektóre SARy umieszczane w przestrzeni kosmicznej i że wynikający z tego niepożądany poziom odbieranej mocy w SARach umieszczanych w przestrzeni kosmicznej może być bliski ich maksymalnej zdolności obsługi mocy;

- r) że niektóre SARy umieszczane w przestrzeni kosmicznej mogą powodować zakłócenia pracy radarów pokładowych działających w zakresie 420–450 MHz, umieszczonych na statkach powietrznych i oceanicznych, a prawdopodobieństwo i intensywność tych zakłóceń zależy w dużym stopniu od parametrów SARów;
- s) że wszelkie, nawet krótkotrwałe szkodliwe zakłócenia powodowane przez SARy w stosunku do odbiorników polecenia zniszczenia mogą zagrażać bezpieczeństwu życia i mienia;
- t) że z uwagi na złożoność wdrażania urządzeń służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) na tych niskich częstotliwościach, należy spodziewać się, że zaledwie kilka takich platform będzie się jednocześnie znajdować na orbicie,

zaleca

1 aby podczas stosowania aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, działających w pasmach użytkowanych przez służby amatorską, amatorską satelitarną, stałą, radiolokalizacyjną, operacji kosmicznych, ruchomą i ruchomą satelitarną w zakresie 420–470 MHz przestrzegano ograniczeń technicznych i operacyjnych określonych w dodatku 1 do niniejszego zalecenia;

2 aby aktywne sensory umieszczone w przestrzeni kosmicznej, działające w zakresie 420–450 MHz, nie były uruchamiane w zasięgu naziemnych radarów śledzących służących do wykrywania obiektów kosmicznych wymienionych w tabeli 2, chyba że przeprowadzono szczegółową analizę dotyczącą uwzględnienia skutków przetwarzania odbiorników radarów przy niepożądanych sygnałach SARów, na podstawie oceny poszczególnych przypadków, i w miarę możliwości próbę terenową w celu potwierdzenia zgodności z dwustronnym uzgodnieniem zainteresowanych administracji;

3 opracowanie takiego SARu umieszczanego w przestrzeni kosmicznej, przeznaczonego do pracy w zakresie 420–450 MHz, który by tolerował niepożądane poziomy mocy sygnału będące skutkiem jego śledzenia przez naziemne radary śledzące służące do wykrywania obiektów kosmicznych;

4 zapewnienie w razie konieczności wystarczających separacji częstotliwości i geograficznych między SARami umieszczanymi na pokładach statków kosmicznych a radarami profilu wiatru w zakresach 420–432 MHz i 438–450 MHz;

5 takie wybieranie pasm częstotliwości dla aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, aby nie nakładały się z pasmami częstotliwości użytkowanymi przez odbiorniki polecenia zniszczenia rakiety nośnej w obrębie bezpiecznego obszaru kosmodromu, wymienionymi w *motywie h*);

6 aby, w przypadkach, gdy *zalecenie 5* jest trudne do wdrożenia, aktywne sensory przeznaczone do pracy w przestrzeni kosmicznej w zakresach częstotliwości przeznaczonych dla odbiorników polecenia zniszczenia rakiety nośnej w obrębie bezpiecznego obszaru kosmodromu nie były uruchamiane w miarę możliwości w określonej odległości od miejsc, w których steruje się zdalnie rakietami nośnymi za pomocą poleceń, w celu uniknięcia zakłóceń pracy odbiorników rakiet nośnych, powodowanych przez aktywne sensory umieszczone w przestrzeni kosmicznej.

Dodatek 1

Ograniczenia techniczne i operacyjne dla służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) działającej w zakresie 420–470 MHz

W celu ochrony stacji działających w istniejących służbach, transmisje SARu ze stacji w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) działającego w zakresie częstotliwości 420–470 MHz podlegają technicznym i operacyjnym ograniczeniom określonym szczegółowo w niniejszym dodatku.

Poniższe ograniczenia określono w oparciu o badania ITU-R. W dodatku 2 przedstawiono możliwości współużytkowania między aktywnymi sensorami umieszczonymi w przestrzeni kosmicznej a innymi służbami w zakresie częstotliwości 420–470 MHz.

1 Ograniczenia techniczne

TABELA 1

Ograniczenia techniczne dla służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) działającej w zakresie 420–470 MHz

Parametr	Wartość
Szczytowa gęstość strumienia mocy na powierzchni Ziemi z głównego listka anteny	-140 dB(W/(m ² · Hz))
Maksymalna średnia gęstość strumienia mocy na powierzchni Ziemi z głównego listka anteny	-150 dB(W/(m ² · Hz))
Maksymalna średnia gęstość strumienia mocy na powierzchni Ziemi z pierwszego listka bocznego anteny	-170 dB(W/(m ² · Hz))

2 Ograniczenia operacyjne

Służba satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) działająca w zakresie 420–450 MHz nie może prowadzić transmisji w zasięgu naziemnych radarów śledzących, wymienionych w tabeli 2, służących do wykrywania obiektów kosmicznych, chyba że przeprowadzono szczegółową analizę dotyczącą uwzględnienia skutków przetwarzania odbiorników radarów przy niepożądanych sygnałach SARu i w miarę możliwości próbe terenową.

W związku z powyższymi ograniczeniami, urządzenia wykorzystywane przez służbę satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) są opracowywane w sposób umożliwiający programowalne wyłączenie emisji częstotliwości radiowej nad obszarami geograficznymi lub państwami, gdzie postanowienia ITU lub przepisy prawa krajowego nie pozwalają na ich pracę.

Profil operacyjny urządzeń wykorzystywanych w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) jest zorientowany na kampanię, skierowany na określone obszary geograficzne i ogranicza czas działania urządzenia do minimum wymaganego do osiągnięcia celów kampanii. W związku z tym, aby dokonać pomiarów przy pomocy urządzenia, nie jest wymagana jego ciągła praca i można się spodziewać wielomiesięcznych przerw między następnymi pomiarami na tym samym obszarze.

Cykl pracy operacyjnej w trybie kampanii będzie wynosił maksymalnie 15% (zazwyczaj 10%). Instrument, który nie działa w trybie kampanii, będzie wyłączany.

RYSUNEK 1

Przykład strefy wykluczenia wokół radarów śledzących służących do wykrywania obiektów kosmicznych dla SAR na orbicie 550 km

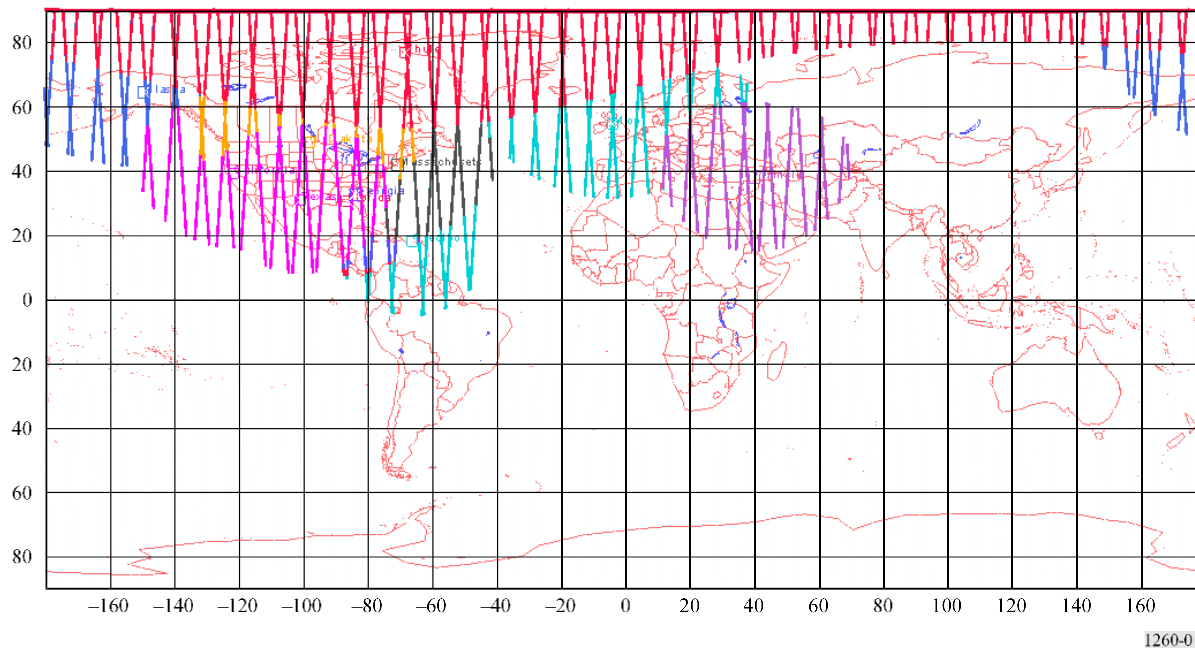


TABELA 2

Radary śledzące, służące do wykrywania obiektów kosmicznych, działające w zakresie 430–440 MHz

Lokalizacja radaru	Szerokość geograficzna	Długość geograficzna
Massachusetts (Stany Zjednoczone Ameryki)	41,8° N	70,5° W
Teksas (Stany Zjednoczone Ameryki)	31,0° N	100,6° W
Kalifornia (Stany Zjednoczone Ameryki)	39,1° N	121,5° W
Georgia (Stany Zjednoczone Ameryki)	32,6° N	83,6° W
Floryda (Stany Zjednoczone Ameryki)	30,6° N	86,2° W
Dakota Północna (Stany Zjednoczone Ameryki)	48,7° N	97,9° W
Alaska (Stany Zjednoczone Ameryki)	64,3° N	149,2° W
Thule (Grenlandia)	76,6° N	68,3° W
Fylingdales Moor (Wielka Brytania)	54,5° N	0,4° W
Pirinclik (Turcja)	37,9° N	40,0° E

3 Kryteria ochrony dla istniejących służb w przedziale częstotliwości 420-470 MHz

Nie wszystkie wymienione w niniejszej sekcji kryteria ochrony są włączone do zaleceń ITU-R. W związku z tym, niektóre spośród tych kryteriów ochrony uzyskano z informacji pochodzących z badań ITU-R. W tabeli 3 odzwierciedlono informacje dostępne w momencie opracowywania niniejszego zalecenia.

Należy wziąć pod uwagę, że każde przyszłe zalecenie, w którym zostaną określone kryteria ochrony dla którejkolwiek danej służby, mają pierwszeństwo w stosunku do wartości przedstawionych w tabeli, uzyskanych na podst. badań ITU-R.

TABELA 3

Kryteria ochrony dla służb w przedziale częstotliwości 420-470 MHz

Zakres częstotliwości (MHz)	Służby ITU-R	Procenty czasu i kryteria w kolumnach 4 i 5 stosuje się wyłącznie w przypadku następujących obszarów geograficznych	Maksymalny procent czasu, przez jaki dopuszczalne jest przekroczenie kryteriów ⁽¹⁾	Kryteria zakłóceń w stacjach odbiorczych	Źródła
430–440	Amatorska	W zakresie bezpośredniej widoczności (LOS) stacji naziemnych amatorskich położonych w regionach zdefiniowanych w <i>motywie 1)</i>	1%	gęstość strumienia mocy = $-204 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}^{(2)}$	badania ITU-R
435–438	Amatorska satelitarna	W zasięgu LOS stacji ziemskich satelitarnych amatorskich położonych w regionach zdefiniowanych w <i>motywie 1)</i>	1%	gęstość strumienia mocy = $-197 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$	badania ITU-R
435–438	Amatorska satelitarna	W zasięgu LOS odbiorników stacji kosmicznych amatorskich	1%	gęstość strumienia mocy = $-187 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}$	badania ITU-R
420-470 ⁽³⁾	Stała	W zasięgu LOS stacji w służbie stałej, w tym stacji położonych w regionach zdefiniowanych w <i>motywie m)</i>	Nie dotyczy	$(I/N)_{\text{ŚREDNI}} = -20 \text{ dB}$ (równowartość 1% częściowej utraty wydajności)	Zalecenia ITU-R F.758 i ITU-R F.1108
420–432 i 438–450	Radiolokalizacja	W zasięgu LOS radarów profilu wiatru	⁽⁴⁾	$(I/N)_{\text{SZCZYTOWY}} = -6 \text{ dB}$	Zalecenie ITU-R M.1462
420–450	Operacji kosmicznych	W zasięgu LOS odbiorników polecenia zniszczenia rakiet nośnych położonych w regionach zdefiniowanych w <i>motywie m)</i>	Wymagana separacja częstotliwości lub geograficzna		badania ITU-R

TABELA 3 (koniec)

Zakres częstotliwości (MHz)	Służby ITU-R	Procenty czasu i kryteria w kolumnach 4 i 5 stosuje się wyłącznie w przypadku następujących obszarów geograficznych	Maksymalny procent czasu, przez jaki dopuszczalne jest przekroczenie kryteriów ⁽¹⁾	Kryteria zakłóceń w stacjach odbiorczych	Źródła
420–450	Radiolokalizacja	W zasięgu LOS naziemnych radarów śledzących służących do wykrywania obiektów kosmicznych ⁽⁵⁾	⁽⁴⁾	$(I/N)_{SZCZYTOWY} = -6 \text{ dB}$	Zalecenie ITU-R M.1462
420–450	Radiolokalizacja	W zasięgu LOS radarów umieszczanych na statkach	⁽⁴⁾	$(I/N)_{SZCZYTOWY} = -6 \text{ dB}$	Zalecenie ITU-R M.1462
420–450	Radiolokalizacja	W zasięgu LOS radarów umieszczanych na pokładach statków powietrznych	⁽⁴⁾	$(I/N)_{SZCZYTOWY} = -6 \text{ dB}$	Zalecenie ITU-R M.1462
420-470 ⁽³⁾	Ruchoma	W zasięgu LOS stacji ruchomych, w tym stacji położonych w regionach zdefiniowanych w <i>motywie m)</i>	0,1%	gęstość strumienia mocy = $-204 \text{ dB(W/(m}^2 \cdot \text{Hz))}^{(2)}$	badania ITU-R

- ⁽¹⁾ Uwzględniając wszystkie aktywne SARy w tym zakresie częstotliwości.
- ⁽²⁾ Maksymalna zagregowana gęstość strumienia mocy dla zakresu 430–440 MHz opiera się na maksymalnym dopuszczalnym poziomie zakłócenia uśrednionego listka bocznego amatorskiej anteny odbiorczej.
- ⁽³⁾ W zakresie częstotliwości 430–440 MHz służby stała i ruchoma są przeznaczone wyłącznie w niektórych państwach na podstawie zapisów zawartych w uwagach.
- ⁽⁴⁾ Kryterium określone w Zaleceniu ITU-R M.1462 opiera się na ochronie systemów radiolokalizacyjnych przed zakłóceniami o charakterze zbliżonym do szumu. Współużytkowanie między systemami radiolokalizacyjnymi a aktywnymi sensorami umieszczonymi w przestrzeni kosmicznej przy większych poziomach zakłóceń, niż poziomy określone w Zaleceniu ITU-R M.1462, może być możliwe dzięki zastosowaniu technik przetwarzania sygnału służących do filtrowania niepożądanych sygnałów SARu na podstawie oceny poszczególnych przypadków i w miarę możliwości próbę terenową w celu potwierdzenia zgodności z dwustronnym uzgodnieniem zainteresowanych administracji.
- ⁽⁵⁾ Służba satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) działająca w zakresie 420–450 MHz nie prowadzi transmisji w zasięgu naziemnych radarów śledzących służących do wykrywania obiektów kosmicznych wymienionych w tabeli 2, chyba że przeprowadzono szczegółową analizę dotyczącą uwzględnienia skutków przetwarzania odbiorników radarów przy niepożądanych sygnałach SARu na podstawie oceny poszczególnych przypadków i w miarę możliwości próbę terenową w celu potwierdzenia zgodności z dwustronnym uzgodnieniem zainteresowanych administracji.

Dodatek 2

Metoda oceny i osłabiania zakłóceń

1 Wprowadzenie

Przedstawiona tu metoda pozwala na oszacowanie, czy niepożądany sygnał odbierany przez inne służby od aktywnego sensora pokładowego w zakresie 420–470 MHz może powodować trudności w przypadku, gdy jest on obsługiwany na wspólnych pasmach częstotliwości. Duża część zawartości niniejszego dodatku została zaczerpnięta z dodatku 1 do Zalecenia ITU-R RS.1280 – Wybór parametrów emisji aktywnego sensora pokładowego w celu osłabienia potencjału zakłócenia

naziemnych radarów pracujących w zakresie częstotliwości 1–10 GHz. Obliczenia podkreślają liczbę parametrów sensora, które można wybrać w celu poprawienia sytuacji współużytkowania.

2 Obliczanie zakłóceń w stosunku do innych służb

Gęstość strumienia mocy średniego sygnału zakłócającego I_{pfd} (dB(W/(m² · Hz))) i poziom mocy średniego sygnału zakłócającego I (dBW), odbieranych przez inne służby, a pochodzących z aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, oblicza się z następujących wzorów:

$$I_{pfd} = 10 \lg P_t + 10 \lg (\tau PRF) + G_t - (130,99 + 20 \lg R + 10 \lg B) + OTR - PG \quad (1a)$$

i

$$I = 10 \lg P_t + 10 \lg (\tau PRF) + G_t + G_r - (32,44 + 20 \lg (fR)) + OTR - PG \quad (1b)$$

gdzie:

- P_t : szczytowa transmitowana moc sensora umieszczonego w przestrzeni kosmicznej (W)
- τ : szerokość impulsu sensora pokładowego (s)
- PRF : częstotliwość powtarzania impulsów sensora pokładowego (Hz)
- G_t : zysk anteny sensora pokładowego w kierunku innej służby (dBi)
- R : zakres odchylenia między sensorem a radarem (km)
- B : szerokość pasma sensora (MHz)
- OTR : tłumienie odbiornika przy dostrojeniu (dB)
- PG : zysk przetwarzania (dB), tłumienie niepożądanych sygnałów powodowane przetwarzaniem sygnału odbiornika (jeżeli nie jest znany przyjmuje się wartość zero)
- f : częstotliwość (MHz).

Z równania (1a) otrzymuje się średni poziom zakłócenia sygnału gęstości strumienia mocy, zaś z równania (1b) otrzymuje się średni poziom zakłócenia sygnału mocy. Średni poziom zakłócenia mocy jest stosowany w przypadku, gdy można określić, że zastosowanie takie jest odpowiednie. Na przykład radar wykonujący szybką transformację Fouriera na odebranych sygnałach „rozmyje” odmienny sygnał impulsowy na wielu wiązkach, co skutkuje uśrednionym poziomem sygnału zakłócającego. Wyrażenie tłumienia odbiornika przy dostrojeniu oblicza się z następujących wzorów:

$$OTR = 10 \lg (B_r/B_t) \text{ dla } B_r \leq B_t \quad (2a)$$

$$= 0 \quad \text{dla } B_r > B_t \quad (2b)$$

gdzie:

- B_r : szerokość pasma odbiornika
- B_t : szerokość pasma transmitowanego sygnału zakłócającego.

Jeżeli istotny jest szczytowy sygnał zakłócający, powinno się odrzucić drugi wyraz równania (1) i obliczyć tłumienie odbiornika przy dostrojeniu z następującego wzoru:

Impuls na wejściu bez modulacji częstotliwości:

$$OTR = 20 \lg (B_r \tau) \quad \text{dla } B_r \tau < 1 \quad (3a)$$

$$= 0 \quad \text{dla } B_r \tau > 1 \quad (3b)$$

Impuls na wejściu z modulacją częstotliwości:

$$OTR = 10 \lg \left(\frac{B_r^2 \tau}{B_c} \right) \text{ dla } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} < 1 \quad (4a)$$

$$= 0 \quad \text{dla } \frac{B_r^2 \tau}{B_c} > 1 \quad (4b)$$

gdzie:

- B_r : szerokość pasma pośredniej częstotliwości odbiornika innych służb
- B_c : szerokość pasma sygnału świergotowego sensora pokładowego
- τ : szerokość impulsu sensora.

3 Kryteria zakłóceń w odniesieniu do innych służb

W tabeli 1 podano szczególne kryteria dla określonych systemów w innych służbach w zakresie wartości granicznych maksymalnej zagregowanej gęstości strumienia mocy w stacjach odbiorczych (dB(W/(m² · Hz))) oraz maksymalny procent czasu, przez jaki dopuszczalne jest przekroczenie wartości granicznych gęstości strumienia mocy. W kilku przypadkach stosuje się odmienne kryteria przedstawione poniżej.

3.1 Radary dozorowania w służbie radiolokalizacyjnej

Przyjmuje się, że otrzymanego S/N radarów dozorowania nie można obniżyć o więcej niż 0,5 dB przez okres dłuższy niż czas pojedynczego przeszukania, tj. 10 s. Wartość ta jest równa wskaźnikowi mocy I/N równemu -9 dB na etapie pośredniej częstotliwości odbiornika. Średni poziom mocy sygnału zakłócającego uznaje się za istotny w przypadku radarów dozorujących.

3.2 Radary śledzące w służbie radiolokalizacyjnej

W przypadku radarów śledzących często stosuje się „granice skutecznego zasięgu” w celu wykluczenia wszystkich powracających sygnałów innych, niż te pochodzące z określonych pożądanych zasięgów. W celu określenia podatności radaru śledzącego na zakłócający ciąg impulsów, istotne jest, aby wziąć pod uwagę ułamek impulsów zakłócających, które pokrywają się ze skutecznymi granicami zasięgu. Zbieżność impulsów zakłócających ze skutecznymi granicami zasięgu będzie zależać od tego, czy pożądane i niepożądane PRF są powiązane wielokrotnością liczby całkowitej (przypadek I) czy nie (przypadek II). Ułamek pokrywających się impulsów f_c , oblicza się ze wzorów:

$$f_c = \frac{GCF(PR F_i, PR F_g)}{PR F_g} \quad \text{dla przypadku I} \quad (5a)$$

$$f_c = PR F_i (\tau_g + \tau_i) \quad \text{dla przypadku II} \quad (5b)$$

gdzie:

$PR F_i$: zakłócające PRF

$PR F_g$: granice PRF

$GCF(PR F_i, PR F_g)$: największy wspólny współczynnik $PR F_i$ i $PR F_g$

τ_i : szerokość impulsu zakłócającego

τ_g : szerokość granicy skutecznego zasięgu.

Należy zauważyć, że w przypadku gdy $\tau_i > \tau_g$ a pożądane i niepożądane PRF nie są powiązane wielokrotnościami liczby całkowitej (przypadek II), f_c jest w przybliżeniu równe cyklowi pracy impulsów zakłócających. Sytuację taką uznaje się za typowy przypadek i stosuje się ją przy określaniu progu degradacji dla radaru śledzącego.

Aby otrzymać wysoce precyzyjne dane dotyczące pozycji danych obiektów, w radarach śledzących stosuje się anteny o wysokim zysku z odpowiednio zdefiniowanymi wąskimi wiązkami głównymi. Serwomechanizm stara się utrzymać oś promieniowania głównej wiązki anteny na celu; serwomechanizm napędzany jest za sprawą sygnału błędu wytwarzanego przez błąd kątowy pomiędzy celem a osią promieniowania anteny. Docierające do radaru niepożądane sygnały mogą zwiększyć dany błąd odchylenia.

Próg degradacji dla radarów śledzących wyrażony jako dopuszczalny ułamek pokrywających się impulsów zakłócających f_c , jako funkcja stosunku S/I na wyjściu pośredniej częstotliwości wyraża się jako:

$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{gdy } S/I > 1 \quad (6a)$$

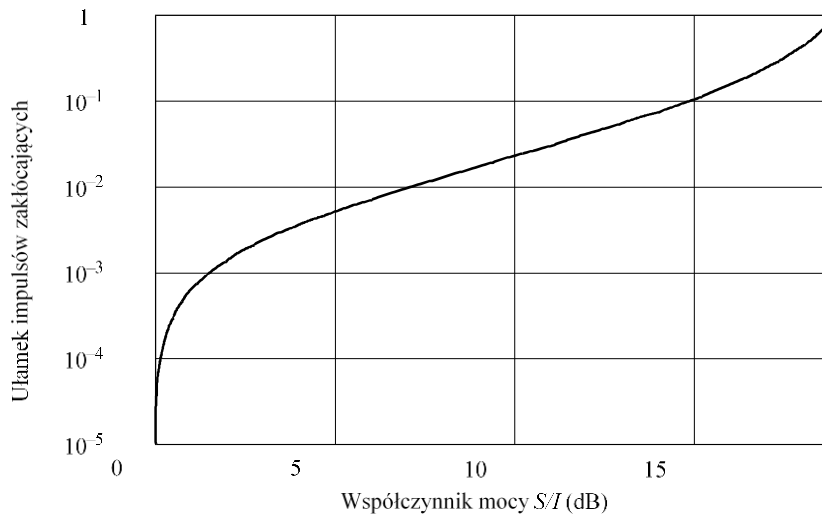
$$f_c = \frac{a^2 - 1}{\frac{90B_r\tau}{(S/I - 1)} - 1} \quad \text{gdy } S/I < 1 \quad (6b)$$

gdzie:

- a : współczynnik związany z całkowitym błędem śledzenia z uwzględnieniem degradacji wynikającej z zakłócenia (np. $a = 1,1$ pozwala na 0,1% lub 10% wzrostu związanego z zakłóceniem)
- B_r : szerokość pasma filtra pośredniej częstotliwości radaru wynosząca 3 dB
- τ : długość docelowych impulsów (należy zauważyć, że $B_r \tau \cong 1$ dla radaru śledzącego)
- S/I : współczynnik mocy S/I na wyjściu pośredniej częstotliwości radaru (wyrażony inaczej niż w dB).

Na rysunku 2 przedstawiono wykres ułamka pokrywających się impulsów w stosunku do S/I na wyjściu pośredniej częstotliwości radaru dopuszczający 10% wzrostu błędu śledzenia radaru, wynikającego z zakłóceń. Ułamek pokrywających się impulsów jest w przybliżeniu równy cyklowi pracy sensora (6%), tak więc S/I o wartości 13 dB odpowiada 10% błędowi śledzenia. Należy przyjąć, że S/I musi wynosić ≥ 13 dB dla okresów czasu dłuższych niż 3 s. (Ponieważ kryterium zakłócenia zostało opracowane w oparciu o zbieżność impulsów zakłócających z granicą skutecznego zasięgu radaru, powinno się zastosować szczytową moc sygnału zakłócającego.)

RYSUNEK 2
Radar S/I jako ułamek pokrywających się impulsów
(10% wzrost błędu śledzenia)



1260-02

4 Przykładowa analiza niepożądanego sygnału pochodzącego z sensora umieszczonego w przestrzeni kosmicznej w stosunku do innych służb

4.1 Parametry techniczne

4.1.1 Sensor umieszczony w przestrzeni kosmicznej

W tabeli 4 przedstawiono parametry techniczne reprezentatywnego sensora umieszczonego w przestrzeni kosmicznej, użytego do poniższej analizy.

TABELA 4
Parametry SAR1 umieszczonego w przestrzeni kosmicznej

Parametr	Wartość
Wysokość orbity (km)	750
Nachylenie orbitalne (w stopniach)	98,4
Szczytowa moc promieniowania częstotliwości radiowej (W)	400
Średnia moc promieniowania częstotliwości radiowej (W)	4,4
Szerokość impulsu (μ s)	50
Częstotliwość powtarzania impulsów (Hz)	2 200
Modulacja impulsowa	Linearna FM
Szerokość pasma impulsu (MHz)	4,8
Szczytowy zysk anteny (dB)	27,9
Orientacja anteny (w stopniach)	37 od nadiru
Pierwszy listek boczny anteny (dB)	-17,6 od szczytu
Piąty listek boczny anteny (dB)	-34 od szczytu

4.1.2 Radary umieszczone na pokładach statków powietrznych

W Zaleceniu ITU-R M.1462 określono parametry oraz kryteria ochrony dla radarów pracujących w zakresie częstotliwości 420-450 MHz. Wcześniejsze analizy wykazały, że aktywne sensory umieszczone w przestrzeni kosmicznej nie są technicznie kompatybilne z naziemnymi radarami śledzącymi o wysokiej czułości, służącymi do wykrywania obiektów kosmicznych.

W analizie symulacji komputerowej wzięto pod uwagę kompatybilność SARów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej z radarami umieszczanymi na pokładach statków powietrznych w tym zakresie częstotliwości. Wyniki w przypadku radarów umieszczanych na pokładach statków oceanicznych są podobne do wyników uzyskanych w przypadku radarów umieszczanych na pokładach statków powietrznych. We projekcie zmiany treści zalecenia określono szerokość pasma odbiornika pokładowego jako równą 1 MHz, zaś antenę radaru jako mającą zysk układu płaszczyznowego równy 22 dBi. Na potrzeby analizy założono, że antena przeszukuje w azymucie przy kącie elewacji równym 0°. Kryterium ochrony dla radarów *I/N* wynosi -6 dB.

4.2 Metoda i wyniki analizy

4.2.1 Symulacje komputerowe

4.2.1.1 Zysk przetwarzania

W analizie potencjalnych zakłóceń odbiorników służby radiolokalizacyjnej powodowanych przez SARy umieszczone w przestrzeni kosmicznej założono brak zysku przetwarzania (tj. zdolności do tłumienia zakłóceń wywołanych przetwarzaniem sygnału odbiornika). W przypadku systemów radiolokalizacyjnych stosowne może być zbadanie możliwej reakcji odbiornika na impulsowe sygnały zakłócające, takie jak sygnały pochodzące z SARów.

Informacje szczegółowe dotyczące odporności radarów na impulsowe sygnały zakłócające zasadniczo nie są publikowane. Wiele współczesnych odbiorników radarów, w szczególności tych, które muszą pełnić funkcję dozoru w obecności znaczących zakłóceń biernych, będzie jednak korzystać z cyfrowego przetwarzania Dopplera w celu rozpoznania docelowych obiektów spośród biernych zakłóceń. Skutkiem, jaki szybka transformacja Fouriera wywrze na nadchodzące zakłócenia impulsowe będzie „rozmycie” mocy impulsu szczytowego na sąsiadujących pasmach/wiązkach dopplerowskich, co spowoduje uśrednienie mocy zakłócającej.

4.2.1.2 Kryterium zakłócenia radaru

W Zaleceniu ITU-R M.1462 określono *I/N* równe -6 dB jako kryterium ochrony dla radarów umieszczanych na pokładach statków powietrznych. Nie określono żadnego procentu czasu ani żadnego okresu czasu, przez który dopuszcza się przekroczenie tej wartości zakłócenia. Stosowanie pojęcia procentu czasu, przez który dopuszczalne jest przekroczenie dozwolonej wartości zakłócenia w stosunku do radarów, w szczególności do radarów dozoru, takich jak radary umieszczane na pokładach statków powietrznych uwzględnionych w niniejszej analizie, jest niewłaściwe. Pojęcie utraty danych lub dopuszczalnego „przestoju” może być stosowane w odniesieniu do łącza komunikacyjnego lub systemu sensorów, jednak wykrywanie celu – podstawowa i krytyczna funkcja systemu radarowego – zachodzi w jednej chwili, w związku z czym długotrwałe przestoje nie mają w tym wypadku znaczenia.

Podjęcie stosowane w wielu podobnych analizach w ITU-R polega na badaniu wyników symulacji przy założeniu, że degradacja radaru dozoru nie jest możliwa przez okres czasu przekraczający pojedyncze przeszukanie anteny. Oznacza to, że cel może pozostać nienamierzony podczas pierwszego okresu przeszukania, w czasie którego w innym wypadku namierzenie zostałoby skutecznie zakończone. W niniejszej analizie radary umieszczane na pokładach statków powietrznych są wyposażone w anteny o czasach obrotu rzędu 10 s. W związku z tym, zakłócenie

nie powinno przekraczać $I/N = -6$ dB przez dłużej niż 10 s. (Przy takim założeniu, cel poruszający się z prędkością 800 km/h zbliża się do innego celu ~ 2 km od miejsca, w którym, w przypadku braku zakłóceń powinien być on zostać namierzony. W zależności od sytuacji scenariusz taki może lub nie może być dopuszczalny.) Po zbadaniu wyników symulacji (przy zastosowaniu zarówno szczytowej jak i średniej mocy zakłócającej w stosunku do radarów) wyraźnie widać, że współużytkowanie częstotliwości między SARami umieszczanymi w przestrzeni kosmicznej a radarami może być trudne.

4.2.1.3 Wyniki symulacji komputerowej

Symulacje przeprowadzono z wykorzystaniem radaru typu SAR1 (zob. tabela 5). W tabeli 6 przedstawiono wyniki symulacji komputerowej spodziewanego środowiska zakłóceń pochodzących od SAR1 umieszczanych na pokładach statków kosmicznych w stosunku do systemów w służbie radiolokalizacyjnej. Wszelkie symulacje przeprowadzono w 2-sekundowych odstępach czasu przez okres 60 dni. Należy zauważyć, że w tabeli 6 przedstawiono również dwa wyniki z uwzględnieniem procentu czasu trwania zakłócenia.

Pierwszy z nich stanowi procent czasu, przez jaki przekroczone jest kryterium zakłócenia w okresach czasu, gdy co najmniej jeden SAR jest widoczny (tj. jest ponad horyzontem) dla stacji ziemskiej(-ich); drugi wynik stanowi procent czasu, przez jaki przekroczone jest kryterium zakłócenia, w stosunku do całego okresu symulacji, (tj. włączając czas, gdy na niektórych częściach Ziemi nie jest widoczny żaden SAR).

TABELA 5

Szczytowe/średnie zakłócenia gęstości strumienia mocy pochodzące z głównych listków i z listków bocznych SAR1 działającego w paśmie P na powierzchni Ziemi

Parametr	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)	400,00	26,02
Szczytowy zysk wiązki głównej anteny (dBi)	27,90	27,90
Poziom listków bocznych anteny (dBi)	-6,10	-6,10
$1/(4\pi)$	$7,96 \times 10^{-2}$	-10,99
$1/(\text{odległość})^2$ (km)	972,80	-119,76
$1/\text{szerokość pasma}$ (MHz)	1/4,80	-66,81
Szerokość impulsu (μs)	50	
Częstotliwość powtarzania impulsów (Hz)	2 200	
Szczytowa gęstość mocy w listku głównym (dBW)		-75,86
Szczytowa gęstość mocy w listku bocznym (dBW)		-109,86
Szczytowa gęstość strumienia mocy w listku głównym (dB(W/(m ² · Hz)))		-143,6
Średnia gęstość strumienia mocy w listku głównym (dB(W/(m ² · Hz)))		-153,2
Szczytowa gęstość strumienia mocy w listkach bocznych (dB(W/(m ² · Hz)))		-177,6
Średnia gęstość strumienia mocy w listkach bocznych (dB(W/(m ² · Hz)))		-187,2

TABELA 6

Wyniki symulacji komputerowej

Odbiornik	Kryterium	SAR1
Radar umieszczony na pokładzie statku powietrznego	I/N , najgorszy (dB)	36,2
	I/N , średni (dB)	-4,4
	Procent czasu przez który $I/N > -6$ dB (SAR widzialny) (%)	12,0
	Procent czasu przez który $I/N > -6$ dB (W każdym przypadku) (%)	0,6
	Maksymalny czas przez który $I/N > -6$ dB (min)	4,8
	Średni czas przez który $I/N > -6$ dB (s)	7,3
	Liczba przypadków gdy $I/N > -6$ dB (przypadków)	3 823

5 Procedura stosowania metody

Średnią gęstość strumienia mocy aktywnego sensora umieszczonego w przestrzeni kosmicznej powinno się badać na etapie projektowania. Stosując równania od (1) do (4) można określić, jakie parametry mogą zostać dostosowane podczas projektowania sensora pokładowego, aby poprawić współużytkowanie z innymi służbami. Ewentualne zmiany dotyczą prawdopodobnie mocy nadajnika, zysku anteny (w szczególności poziomów listków bocznych), szerokości impulsu i prędkości powtarzania impulsów oraz szerokości pasma sygnału świergotowego.

Podczas analizowania kompatybilności sensora pokładowego i określonego systemu służby powinno się uwzględnić zysk przetwarzania, jeżeli taki istnieje, gdyż w analizie założono brak takiego zysku. Założenie takie jest prawidłowe w ogólnych przypadkach, gdyż nie wszystkie stacje odbiorcze wyróżniają się zyskiem przetwarzania.

Za przykład mogą posłużyć dwa radary działające w zakresie częstotliwości 420-450 MHz:

- radar śledzący o szerokości pasma pośredniej częstotliwości równej 0,1 MHz (radar 1);
- radar przechwytyjący umieszczony na pokładzie statku powietrznego o szerokości pasma pośredniej częstotliwości równej 1 MHz (radar 2).

Jeżeli sensor pokładowy, określony w tabeli 4, może działać przy wykorzystaniu różnych szerokości impulsów i różnych szerokości pasma sygnału świergotowego, jak określono w tabeli 7, możliwe jest wtedy osiągnięcie znaczącej redukcji poziomu mocy niepożądanego sygnału.

TABELA 7

Przykład redukcji odebranej niepożądanego mocy sensora, uzyskanej przez zmiany szerokości impulsów i szerokości pasma sygnału świergotowego sensora

	Nowe wartości parametru dla SAR1		ΔOTR (dB)	$\Delta P_{\text{średnia}}$ (dB)	ΔI (dB)
	τ (μs)	B_c (MHz)			
Radar 1	25	6	-4,0	Niedostępne ⁽¹⁾	-4,0
Radar 2	25	6	-0,0	-3,0	-3,0

⁽¹⁾ Uznano za odpowiednie zastosowanie średniej mocy sygnału zakłócenia w przypadku radaru umieszczanego na pokładach statków powietrznych i szczytowej mocy sygnału zakłócenia w przypadku radaru śledzącego.

6 Wnioski

Wykazano, że aby poprawić parametry emisji aktywnego sensora umieszczonego w przestrzeni kosmicznej, powinna być możliwa redukcja gęstości strumienia mocy, co miałyby na celu poprawę kompatybilności z innymi służbami. Moc nadajnika sensora, charakterystyka zysku anteny, szerokość impulsu, PRF oraz szerokość pasma sygnału świergotowego (jeżeli stosuje się modulację częstotliwości) stanowią parametry możliwe do dostosowania celem poprawy kompatybilności.

ZALECENIE ITU-R BO.1293-2

Maski ochronne i powiązane metody obliczania zakłócenia systemów radiodifuzyjnych satelitarnych stosujących emisję cyfrową

(Zalecenie ITU-R 223/11)

(1997-2000-2002)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że współczynniki ochronne i powiązane maski ochronne są istotnymi parametrami sygnałów telewizyjnych w służbie radiodifuzyjnej satelitarnej i powiązanych łączy dosyłowych;
- b) że plany ujęte w Załącznikach 30 i 30A do Regulaminu Radiokomunikacyjnego opracowano przy zastosowaniu wartości współczynnika ochronnego i metod obliczania zakłócenia opartych na odchyleniach stałej częstotliwości i danych rodzajach sygnałów;
- c) że w nowych systemach złożonych do Biura Radiokomunikacji, które mają zostać włączone do przedmiotowych planów, proponuje się stosowanie nowych rodzajów sygnałów, dla których nie są dostępne maski ochronne i jedynie ograniczone metody obliczania zakłócenia;
- d) że Biuro Radiokomunikacyjne wezwało radiokomunikacyjną Grupę Studiów 6 do dostarczenia dodatkowych metod i kryteriów ochrony mających na celu ocenę zakłóceń pochodzących z tych sygnałów i przez nie powodowanych;
- e) że definicja masek ochronnych i powiązanych metod obliczania zapewnia bardzo przydatne informacji techniczne podczas zmiany treści planów dla Regionów 1 i 3 w Załącznikach 30 i 30A do Regulaminu Radiokomunikacyjnego;
- f) że różne administracje i organizacje przeprowadziły serię badań, które sprawdziły poprawność proponowanej metody obliczania zakłócenia,

uznając

- a) że dzięki maskom ochronnym rozszerza się przydatność współczynników ochronnych, które same są powiązane z odchyleniami stałej częstotliwości;
- b) że odpowiednie maski ochronne dla obliczeń zakłócenia między emisjami cyfrowymi można uzyskać przy zastosowaniu metody określonej w dodatku 3;
- c) że podczas Światowej Konferencji Radiokomunikacyjnej (Stambuł, 2000) (WRC-2000) przyjęto nowe plany dla służby radiodifuzyjnej satelitarnej i powiązanych łączy dosyłowych dla Regionów 1 i 3 opierające się na modulacji cyfrowej, a także nowe wykazy dla Regionów 1 i 3, aktualizując tym samym Załączniki 30 i 30A;
- d) że administracje są uprawnione do wdrożenia w każdej chwili swoich przydziałów ujętych w planie, bez żadnych przyszłych ograniczeń dotyczących parametrów, na których oparte są plany,

zaleca

1 stosowanie postanowień dodatku 1 w odniesieniu do każdej analizy kompatybilności równoważnego marginesu ochronnego/całkowitego równoważnego marginesu ochronnego, przeprowadzonej na podstawie art. 4 i 5 Załączników 30 i 30A;

2 stosowanie powiązanych metod obliczania zakłócenia równoważnego marginesu ochronnego/całkowitego równoważnego marginesu ochronnego ujętych w dodatku 2 w odniesieniu do analizy kompatybilności, o której mowa w *zaleceniu 1*.

UWAGA 1 – Metodę obliczania służącą do generowania masek ochronnych określonych w dodatku 3 dla sieci służby radiodyfuzyjnej satelitarnej używających wszystkich rodzajów emisji cyfrowych kluczowanych z przesunięciem fazy można zastosować w analizie kompatybilności dla dwustronnej koordynacji między administracjami.

UWAGA 2 – Potrzebne są dalsze badania w celu opracowania masek chroniących przed zakłóceniami między innymi rodzajami emisji (tj. zakłóceniami pochodzącymi z emisji analogowych względem emisji analogowych, z cyfrowych względem analogowych i z analogowych względem cyfrowych). Do momentu dostępności takich masek, przy obliczaniu zakłóceń między emisjami w przypadku zakłócenia cyfrowego, powinno się stosować metodę określoną w dodatku 1.

DODATEK 1

Obliczanie zakłócenia cyfrowego w przypadku braku odpowiednich masek ochronnych

Podczas stosowania metody obliczania określonej w dodatku 2, pożądane jest zastosowanie najodpowiedniejszej maski ochronnej dla rozważanej sytuacji zakłóceń cyfrowych (tj. najodpowiedniejszej wartości dla $D_i(f_{oi})$ w dodatku 2). Na przykład w przypadku zakłóceń cyfrowych względem emisji cyfrowych, maskę taką można uzyskać przy zastosowaniu metody obliczania określonej w dodatku 3.

Niezbędne są dalsze badania dotyczące uzyskiwania odpowiednich ogólnych masek ochronnych dla przypadku zakłóceń cyfrowych względem emisji analogowych.

Do momentu dostępności takich masek, przy obliczaniu zakłóceń między dwiema emisjami w przypadku gdy emisją zakłócającą jest emisja cyfrowa, powinno się stosować metodę przedstawioną poniżej.

Wartość $D(f_o)$ oblicza się z następującego wzoru:

$$D(f_o) = 10 \lg(B/b(f_o)) + K$$

gdzie:

$b(f_o)$: pokrywające się szerokości pasma pomiędzy zakłócającą falą nośną a pożądaną falą nośną (MHz)

B : niezbędna szerokość pasma zakłócającej fali nośnej (MHz)

K : pozytywny współczynnik obciążający.

Zasadniczo metoda obliczania maski ochronnej, taka jak metoda określona w dodatku 3, określa ilościowo wartość K , która może się różnić w zależności od pożądanych i zakłócających parametrów sygnału oraz od odchylenia częstotliwości między dwoma sygnałami (w rzeczywistości przy pomocy metody określonej w dodatku 3 nie można wyraźnie obliczyć współczynnika K , lecz raczej oblicza się bezpośrednio wartość $-D(f_o)$).

W przypadku braku odpowiednich masek ochronnych, które określają ilościowo współczynnik K , zarówno pośrednio jaki i bezpośrednio, powinno się przyjąć, że $K = 0$, co odpowiada najgorszemu przypadkowi.

DODATEK 2

Metody obliczania zakłócenia związane z dodatkami 1 i 3*

1 Wprowadzenie

Celem niniejszego dodatku jest zdefiniowanie ogólnej metody obliczania sytuacji zakłócenia w planach dla służby radiodyfuzyjnej satelitarnej przy wzięciu pod uwagę różnych kategorii zakłóceń (np. wspólnokanałowych, kanałów sąsiednich itp.).

Zdefiniowaną poniżej ogólną metodę obliczania zakłócenia, powiązaną z odpowiednimi metodami obliczania masek ochronnych, powinno się stosować do ustalania wartości niezbędnych do oceny sytuacji zakłócenia między różnymi emisjami w planach służby radiodyfuzyjnej satelitarnej.

2 Terminologia, symbole i operatorzy

W celu uproszczenia niniejszego dodatku i ułatwienia jego zrozumienia, terminologię, symbole i operatorów zdefiniowano w następujący sposób:

Jednostkowy, se (single entry): uwzględnia się pojedynczą zakłócającą falę nośną

Zagregowany, ag (aggregate): uwzględnia się wszystkie zakłócające fale nośne

Równoważny, eq (equivalent): połączenie zakłócenia przy wykorzystywaniu wspólnych częstotliwości i zakłócenia przy odchyleniu częstotliwości

Całkowite, ov (overall): połączenie zakłóceń łącza dosyłowego (up) i łącza w dół (dn)

f_o : odchylenie częstotliwości = różnica między częstotliwościami środkowymi dwóch fal nośnych

C/I : współczynnik sygnału do zakłócenia (dB)

PR: współczynnik ochronny (dB)

EPM: równoważny margines ochronny (dB)

OEPM: całkowity równoważny margines ochronny (dB)

* Metodę tę opracowano w celu przeprowadzenia analizy kompatybilności przydziałów, o które złożono do Biura Radiokomunikacji wniosek na podstawie postanowień Załączników 30 i 30A do Regulaminu Radiokomunikacyjnego, i zastosowano w niej inne parametry, niż używane przy wdrażaniu planów (szerokość pasm w kanale, częstotliwość środkowa, rodzaj emisji itp.).

X : redukcja całkowitego C/I spowodowana zakłóceniami w łączy dosyłowym (dB)

$$\text{Operator } \oplus: A \oplus B = -10 \lg \left(10^{-A/10} + 10^{-B/10} \right)$$

$$\text{Operator } \ominus: A \ominus B = -10 \lg \left(10^{-A/10} - 10^{-B/10} \right)$$

$$\text{Operator } \Sigma\oplus: \sum_{n=1}^N \oplus A_n = -10 \lg \left(10^{-A_1/10} + 10^{-A_2/10} + \dots + 10^{-A_n/10} \right)$$

3 Metody obliczania zakłócenia

Aby obliczyć sytuację zakłócenia przydziału potrzebne są dwa główne elementy:

- równoważny zagregowany współczynnik sygnału do zakłócenia, $C/I_{eq, ag}$, odpowiednio na łączach w górę i w dół, $C/I_{eq, ag, up}$, $C/I_{eq, ag, dn}$;
- całkowite wspólnokanałowe (lub na wspólnych częstotliwościach) współczynniki ochrony pożądanej fali nośnej, PR_{ov} .

Ponadto niezbędne są definicje równoważnego marginesu ochronnego (zob. uwaga 1) i całkowitego równoważnego marginesu ochronnego.

UWAGA 1 – równoważny margines ochronny nie jest potrzebny w przypadku stosowania niniejszej metody w odniesieniu do planu służby radiodifuzyjnej satelitarnej w Regionie 2.

3.1 Pierwsze elementy, tj. równoważne zagregowane współczynniki sygnału do zakłócenia, oblicza się w następujący sposób, zarówno dla łączy w górę jak i łączy w dół:

$$C/I_{eq, ag, up} = \sum_{i=1}^m \oplus \left(C/I_{i, se, up} + D_i(fo_i) \right)$$

$$C/I_{eq, ag, dn} = \sum_{i=1}^n \oplus \left(C/I_{i, se, dn} + D_i(fo_i) \right)$$

gdzie:

- m : liczba zakłócających fal nośnych na łączy dosyłowym
- n : liczba zakłócających fal nośnych na łączy w dół
- fo : odchylenie częstotliwości między częstotliwościami środkowymi pożądanej fali nośnej i jednej zakłócającej fali nośnej; wartość dodatnia lub ujemna (MHz)
- $D(fo)$: różnica (dB) między odpowiednią wartością maski ochronnej bez odchylenia częstotliwości (tj. z wartością środkową na 0 MHz) a wartością maski ochronnej z odchyleniem częstotliwości równym fo MHz.

W odniesieniu do przypadku pożądanej cyfrowej fali nośnej i niepożądanego cyfrowej fali nośnej, wartość $D(fo) = -I(fo)$, gdzie $I(fo) (\equiv I(\Delta f))$, zdefiniowano w dodatku 3 przy założeniu kanału linearnego i nieliniowego.

Nadal istnieje potrzeba zdefiniowania odpowiednich masek dla innych połączeń pożądanych i zakłócających rodzajów fali nośnej (zakłócenia cyfrowe względem emisji analogowych). Do momentu dostępności takich masek, przy dokonywaniu oceny $D(fo)$ powinno się stosować model określony w dodatku 1.

Z przedmiotowych pierwszych elementów można obliczyć całkowity równoważny zagregowany współczynnik sygnału do zakłócenia (oznaczany $C/I_{ov, eq, ag}$) w następujący sposób:

$$C/I_{ov, eq, ag} = C/I_{eq, ag, up} \oplus C/I_{eq, ag, dn}$$

3.2 Drugi główny element tj. całkowity współczynnik ochronny, PR_{ov} , jest związany z rodzajem pożądaných fal nośnych.

Oprócz przedmiotowego drugiego elementu można również zdefiniować współczynnik ochronny dla łącza dosyłowego i współczynnik ochronny dla łącza w dół, odpowiednio PR_{up} and PR_{dn} . Przyjmując dany wzrost X współczynnika ochronnego łącza w dół w celu zezwolenia na zakłócenie na łączu dosyłowym, PR_{up} i PR_{dn} definiuje się w następujący sposób:

$$PR_{dn} = PR_{ov} + X$$

$$PR_{up} = PR_{ov} \ominus PR_{dn}$$

3.3 Definicje EPM_{up} , EPM_{dn} i OEPM.

$$OEPM = C/I_{ov, eq, ag} - PR_{ov}$$

$$EPM_{up} = C/I_{eq, ag, up} - PR_{up}$$

$$EPM_{dn} = C/I_{eq, ag, dn} - PR_{dn}$$

DODATEK 3

Obliczanie masek ochronnych dla zakłóceń między różnymi rodzajami cyfrowych fal nośnych

1 Metoda

Przyjmuje się, że na potrzeby obliczania zakłócenia, cyfrową falę nośną można przedstawić jako źródło białego szumu, po którym zastosowany jest filtr o charakterystyce pierwiastka z podniesionego cosinusa przetwarzający impuls. Współczynnik poszerzenia pasma α_i tego filtra można swobodnie określić w zakresie $0 \leq \alpha_i \leq 1$ (spadek 0% do 100%). Szerokość pasma filtra 3 dB określa się przez prędkość transmisji symbolu, R_i , dla cyfrowego sygnału zakłócającego.

Poziom zakłócenia cyfrowego narażający pożądaný sygnał cyfrowy zależy od:

- odchylenia częstotliwości między sygnałami pożądanymi a sygnałami zakłócającymi, Δf ;
- parametrów filtra odbiornika;
- parametrów kanału transmisyjnego, przez który przepływa sygnał zakłócający.

Filtr odbiornika jest również przedstawiany jako filtr o charakterystyce pierwiastka z podniesionego cosinusa ze współczynnikiem poszerzania pasma, α_w , gdzie ($0 \leq \alpha_w \leq 1$), i szerokością pasma 3 dB określoną prędkością transmisji pożądanego sygnału R_w .

Wzmocnienie wysokiej mocy sygnału zakłócającego powoduje ponowny wzrost widmowego listka bocznego. Zakłócenia wytwarzane przez listki boczne są nieistotne w przypadku niskich wartości Δf , nabierają jednak znaczenia w miarę wzrostu odchylenia częstotliwości.

Należy uwzględnić wyłącznie dwa pierwsze listki boczne. Udział zakłócenia wytwarzanego przez dalsze listki boczne jest nieistotny we wszystkich możliwych scenariuszach transmisji.

Poziom każdego listka bocznego dostosowuje się w stosunku do głównego listka widmowego, aby odzwierciedlić parametry kanału nieliniarnego. Względny poziom każdego listka bocznego zawiera dwie składowe: L_s i X :

- wartość L_s , która zależy od parametrów nieliniarnych wzmacniacza wysokiej mocy (HPA) i od poziomu wzbudzenia wzmacniacza (spadek mocy). L_s ma inną wartość dla każdego listka bocznego;
- wartość X przedstawiająca wynik filtracji na wyjściu HPA. Przyjmuje się, że ta wartość tłumienia jest taka sama dla wszystkich widmowych listków bocznych. Jest to podejście zachowawcze, gdyż zysk filtra po przejściu przez HPA nie jest płaski, lecz poszerza się od częstotliwości środka kanału wraz ze wzrostem odchylenia częstotliwości.

Parametry L_s i X wyraża się w decybelach.

Parametry R_i i R_w wyraża się w Msymbol/s. Całkowite szerokości pasma sygnału pożądanego i sygnału zakłócającego wyraża się odpowiednio jako $R_w(1 + \alpha_w)$ MHz oraz $R_i(1 + \alpha_i)$ MHz. Parametr różnicy częstotliwości Δf wyraża się w MHz. Zakłócenie na wyjściu odbiornika filtra uznaje się za zakłócenie o charakterze zbliżonym do szumu.

W celu obliczania mocy pożądanego sygnału na wejściu odbiornika i udziału mocy zakłócenia wytwarzanego przez widmowy listek główny i przez każdy z listków bocznych stosuje się wspólny algorytm. Udział każdej mocy oblicza się według następującej procedury (definicje użytych poniżej terminów ujęto w § 3):

- a) dostosowanie parametrów na wejściu (R_i , R_w , α_i , α_w , δf , L_s i X) do odpowiednich wartości aby obliczyć udział mocy (pożyczany sygnał, sygnał zakłócający głównego listka widmowego lub sygnał zakłócający widmowego listka bocznego);
- b) obliczenie dziewięciu par wartości granicznych (U_n , L_n , $n = 1, \dots, 9$);
- c) obliczenie pięciu wyrażeń udziału mocy (C_m , $m = 1, \dots, 5$);
- d) obliczenie całkowitej odebranej mocy, P .

$$P = 10^{\frac{L_s - X}{10}} \sum_{m=1}^5 C_m$$

Poziom mocy zakłócenia (Δf), mierzony na wyjściu filtra odbiornika i wyrażony względem mocy pożądanego fali nośnej dla C/I łącza odniesienia równego 0 dB (tj. zakładając równowartość mocy pożądanego fali nośnej i zakłócającej fali nośnej) oblicza się w następujący sposób.

Krok 1: Należy obliczyć moc pożądanego sygnału P_w na wyjściu filtra odbiornika, stosując powyższy algorytm i określając wartości parametrów wejścia następująco:

$$R_i = R_w, \quad \alpha_i = \alpha_w, \quad \delta f = 0, \quad L_s = 0, \quad X = 0$$

Krok 2: Należy obliczyć udział mocy sygnału zakłócającego wytwarzanego przez widmowy listek główny P_0 na wyjściu filtra odbiornika, stosując ten sam algorytm i określając parametry wejścia następująco:

$$\delta f = \Delta f, \quad L_s = 0, \quad X = 0$$

Krok 3: Należy obliczyć udział mocy sygnału zakłócającego wytwarzanego przez pierwszy widmowy listek boczny P_1 przy następująco określonych parametrach wejścia:

$$\delta f = |\Delta f| - R_i, \quad L_s = L_1 \neq 0, \quad X \neq 0$$

Wartość L_s zależy od parametrów nieliniarnych HPA i jego poziomu wzbudzenia. Wartość X zależy od parametrów tłumienia pozapasmowego filtra po przejściu przez HPA.

Krok 4: Należy obliczyć udział mocy sygnału zakłócającego wytwarzanego przez drugi widmowy listek boczny P_2 , przy następująco określonych parametrach wejścia:

$$\delta f = |\Delta f| - 2R_i, \quad L_s = L_2 \neq L_1 \neq 0, \quad X \neq 0$$

Wartość L_s ponownie zależy od parametrów nieliniarnych HPA i jego poziomu wzbudzenia. Wartość X jest taka sama jak w kroku 3.

Krok 5: Należy obliczyć względną moc zakłócenia dla parametrów danego sygnału i odchylenia częstotliwości:

$$I(\Delta f) = 10 \lg \left(\frac{P_0 + P_1 + P_2}{P_w} \right) \quad \text{dB}$$

2 Przykładowe obliczenie maski ochronnej

Na potrzeby (dowolnego) przykładu przyjmuje się następujące parametry poświadanych i zakłócających sygnałów:

Poświadany sygnał cyfrowy:

Prędkość transmisji, $R_w = 27,5$ Msymbol/s

Współczynnik poszerzania pasma, $\alpha_w = 0,35$ (35% spadek cosinusa).

Zakłócający sygnał cyfrowy:

Prędkość transmisji, $R_i = 27,5$ Msymbol/s

Współczynnik poszerzania pasma, $\alpha_i = 0,35$ (35% spadek cosinusa).

Poziomy listków bocznych:

Poziom pierwszego listka bocznego, $L_{s1} = -17,0$ dB

Poziom drugiego listka bocznego, $L_{s2} = -27,5$ dB.

Filtrowanie po HPA:

Tłumienie listka bocznego, $X_f = 12,0$ dB.

Przyjmuje się, że odchylenie częstotliwości między sygnałami pożądanymi a sygnałami zakłócającymi, Δf ; wynosi 38,36 MHz. Zastosowanie metody obliczania określonej w § 1 w niniejszym dodatku i określonej szczegółowo w § 3 w niniejszym dodatku przedstawia się następująco:

Krok 1: Należy obliczyć moc pożądanego sygnału P_w , na wyjściu filtra odbiornika:

$$\begin{aligned} R_i &= R_w, & \alpha_i &= \alpha_w, & L_s &= 0, & X &= 0, & \delta f &= 0 \\ L_1 &= U_8 = U_9 = -8,937 \\ U_1 &= L_2 = U_2 = L_3 = U_3 = L_4 = U_4 = L_5 = U_5 = L_6 = L_7 = L_8 = L_9 = 8,937 \\ U_6 &= U_7 = 18,563 \\ C_1 &= 0,825, & C_2 &= 0, & C_3 &= 0, & C_4 &= 0,088, & C_5 &= 0 \\ P_w &= 0,913 \end{aligned}$$

Krok 2: Należy obliczyć moc sygnału zakłócającego P_0 , wywołanego przez widmowy listek główny na wyjściu filtra odbiornika:

$$\begin{aligned} L_s &= 0, & X &= 0, & \delta f &= \Delta f \\ L_1 &= L_3 = L_4 = 29,422, & U_1 &= L_2 = L_5 = L_7 = 8,937, & L_6 &= L_9 = 47,297, & L_8 &= -18,563 \\ U_9 &= -8,937, & U_2 &= U_5 = -29,422, & U_3 &= U_4 = U_6 = 18,563, & U_7 &= U_8 = -19,797 \\ C_1 &= 0, & C_2 &= 0, & C_3 &= 0, & C_4 &= 0, & C_5 &= 0 \\ P_0 &= 0 \end{aligned}$$

Krok 3: Należy obliczyć moc sygnału zakłócającego P_1 , wywołanego przez pierwszy widmowy listek boczny na wyjściu filtra odbiornika:

$$\begin{aligned} L_s &= L_{s1}, & X &= X_f, & \delta f &= |\Delta f| - R_i \\ L_1 &= 1,923, & U_1 &= L_2 = L_3 = L_4 = L_5 = L_7 = 8,937, & U_2 &= U_5 = L_8 = -1,923 \\ U_3 &= U_4 = U_6 = 18,563, & L_6 &= L_9 = 19,797, & U_7 &= 7,703, & U_8 &= U_9 = -8,937 \\ C_1 &= 0,605, & C_2 &= 0, & C_3 &= 0, & C_4 &= 0, & C_5 &= 0 \\ P_1 &= 7,618 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

Krok 4: Należy obliczyć moc sygnału zakłócającego P_2 , wywołanego przez drugi widmowy listek boczny na wyjściu filtra odbiornika:

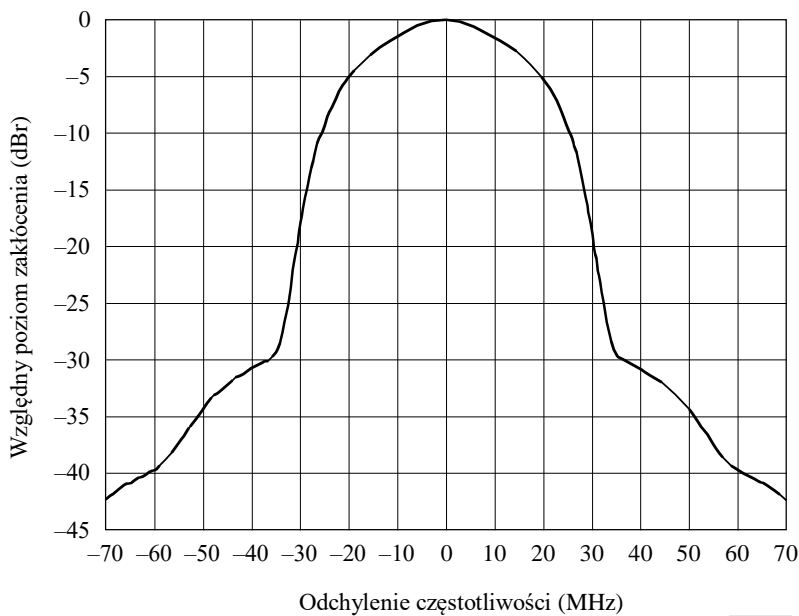
$$\begin{aligned} L_s &= L_{s2}, & X &= X_f, & \delta f &= |\Delta f| - 2R_i \\ L_1 &= U_8 = U_9 = -8,937, & U_1 &= U_3 = U_4 = L_9 = -7,703, & L_2 &= L_3 = L_4 = L_5 = L_6 = 8,937 \\ U_2 &= U_5 = U_7 = 18,563, & L_7 &= L_8 = 25,578, & U_6 &= 1,922 \\ C_1 &= 0,395, & C_2 &= 0, & C_3 &= 0, & C_4 &= 0, & C_5 &= 0 \\ P_2 &= 4,431 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

Krok 5: Należy obliczyć całkowitą moc zakłócenia względem mocy pożądanego sygnału:

$$I(\Delta f) = -30,5$$

Maska ochronna przedstawiona na rys. 1 powstała w rezultacie zastosowania takiej procedury dla zakresu odchyżeń częstotliwości.

RYSUNEK 1



1293-01

3 Algorytmy: obliczanie mocy odebranego sygnału (pożądanego lub zakłócającego)

3.1 Wartości graniczne

$$A = (1 - \alpha_w) \frac{R_w}{2}$$

$$B = (1 + \alpha_w) \frac{R_w}{2}$$

$$C = (1 - \alpha_i) \frac{R_i}{2}$$

$$D = (1 + \alpha_i) \frac{R_i}{2}$$

$$L_1 = \max(-A; \delta f - C)$$

$$L_4 = \max(A; \delta f - C)$$

$$L_7 = \max(A; -\delta f + C)$$

$$U_1 = \min(A; \delta f + C)$$

$$U_4 = \min(B; \delta f + C)$$

$$U_7 = \min(B; -\delta f + D)$$

$$L_2 = \max(-A - \delta f; C)$$

$$L_5 = \max(A; -\delta f - C)$$

$$L_8 = \max(-B; -\delta f + C)$$

$$U_2 = \min(A - \delta f; D)$$

$$U_5 = \min(B; -\delta f + C)$$

$$U_8 = \min(-A; -\delta f + D)$$

$$L_3 = \max(-A + \delta f; C)$$

$$L_6 = \max(A; \delta f + C)$$

$$L_9 = \max(-B; \delta f + C)$$

$$U_3 = \min(A + \delta f; D)$$

$$U_6 = \min(B; \delta f + D)$$

$$U_9 = \min(-A; \delta f + D)$$

UWAGA 1:

$\max(a; b)$: maksymalna wartość a i b

$\min(a; b)$: minimalna wartość a i b

δf = częstotliwość sygnału zakłócającego – częstotliwość sygnału pożądanego.

3.2 Funkcje

Gdy $1 \leq n \leq 3$:

$$p_n(a,b) = \begin{cases} f_n(a) - f_n(b) & \text{for } a > b \\ 0 & \text{for } a \leq b \end{cases}$$

$$f_1(x) = \left(\frac{x}{R_i} \right) \quad f_2(x) = \frac{\alpha_i}{2\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x - R_i}{\alpha_i R_i} \right) \quad f_3(x) = \frac{\alpha_w R_w}{2\pi R_i} \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x - R_w}{\alpha_w R_w} \right)$$

Gdy $4 \leq n \leq 5$:

$$p_n(a,b,\delta f) = \begin{cases} f_n(a,\delta f) - f_n(b,\delta f) & \text{for } a > b \\ 0 & \text{for } a \leq b \end{cases}$$

$$f_4(x,y) = \begin{cases} f_{4a}(x,y) & \text{for } \alpha_w R_w = \alpha_i R_i \\ = f_{4b}(x,y) & \text{for } \alpha_w R_w \neq \alpha_i R_i \end{cases} \quad f_5(x,y) = \begin{cases} f_{5a}(x,y) & \text{for } \alpha_w R_w = \alpha_i R_i \\ = f_{5b}(x,y) & \text{for } \alpha_w R_w \neq \alpha_i R_i \end{cases}$$

$$f_{4a}(x,y) = \frac{1}{16\pi R_i} \left(2\pi x \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2y + R_i - R_w}{\alpha_i R_i} \right) - \alpha_i R_i \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{4x - 2y - R_i - R_w}{\alpha_i R_i} \right) \right)$$

$$f_{4b}(x,y) = \frac{\alpha_i \alpha_w R_w}{4\pi(\alpha_i^2 R_i^2 - \alpha_w^2 R_w^2)} \left(\alpha_i R_i \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x - R_w}{\alpha_w R_w} \right) \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{2y - 2x + R_i}{\alpha_i R_i} \right) + \alpha_w R_w \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x - R_w}{\alpha_w R_w} \right) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2y - 2x + R_i}{\alpha_i R_i} \right) \right)$$

$$f_{5a}(x,y) = \frac{1}{16\pi R_i} \left(\alpha_i R_i \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{4x - 2y - R_i + R_w}{\alpha_i R_i} \right) - 2\pi x \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2y + R_i + R_w}{\alpha_i R_i} \right) \right)$$

$$f_{5b}(x,y) = \frac{\alpha_i \alpha_w R_w}{4\pi(\alpha_i^2 R_i^2 - \alpha_w^2 R_w^2)} \left(\alpha_i R_i \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x + R_w}{\alpha_w R_w} \right) \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x - 2y - R_i}{\alpha_i R_i} \right) - \alpha_w R_w \sin\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x + R_w}{\alpha_w R_w} \right) \cos\left(\frac{\pi}{2} \frac{2x - 2y - R_i}{\alpha_i R_i} \right) \right)$$

3.3 Udział mocy

$$C_1 = p_1(U_1, L_1) + \frac{1}{2} \sum_{n=2}^5 p_1(U_n, L_n) + \frac{1}{4} \sum_{n=6}^9 p_1(U_n, L_n)$$

$$C_2 = p_2(U_2, L_2) + p_2(U_3, L_3) + \frac{1}{2} [p_2(U_6 - \delta f, L_6 - \delta f) + p_2(U_7 + \delta f, L_7 + \delta f) + p_2(U_8 + \delta f, L_8 + \delta f) + p_2(U_9 - \delta f, L_9 - \delta f)]$$

$$C_3 = p_3(U_4, L_4) + p_3(U_5, L_5) + \frac{1}{2} [p_3(U_6, L_6) + p_3(U_7, L_7) + p_3(-L_8, -U_8) + p_3(-L_9, -U_9)]$$

$$C_4 = p_4(U_6, L_6, \delta f) + p_4(U_7, L_7, -\delta f)$$

$$C_5 = p_5(U_8, L_8, -\delta f) + p_5(U_9, L_9, \delta f)$$

3.4 Całkowita moc odebranego sygnału

$$\text{Power} = 10^{10} \frac{L_s - X}{10} \sum_{m=1}^5 C_m$$

ZAŁĄCZNIK 1

DO DODATKU 3

Notyfikacja parametrów powiązanych z emisjami cyfrowymi

Przy zastosowaniu metody określonej w dodatku 3 na potrzeby obliczania masek ochronnych dla przypadku zakłóceń między emisjami cyfrowymi, wymagana jest notyfikacji parametrów powiązanych z każdą z cyfrowych emisji. Parametry te to:

- rodzaj modulacji cyfrowej (metoda ta ma zastosowanie wyłącznie w przypadku sygnałów kluczowanych z przesunięciem fazy);
- prędkość transmisji symbolu ($M_{\text{symbol/s}}$);
- współczynnik poszerzania pasma cyfrowego filtra przetwarzającego impuls (przyjmuje się, że jest to filtr cosinusa ze współczynnikiem poszerzania pasma lub przybliżony) o wartości w zakresie od 0 do 1;
- względne poziomy pierwszego i drugiego listka bocznego, L_{s1} i L_{s2} (dB);
- tłumienie listka bocznego X (dB) będące wynikiem filtrowania po przejściu przez HPA.

Trzy pierwsze parametry wymagane są na podstawie postanowień załącznika 4 do Regulaminu Radiokomunikacyjnego. Ponadto, zaleca się dodanie dwóch ostatnich elementów do załącznika 4 do Regulaminu Radiokomunikacyjnego przez przyszłą właściwą konferencję.

Większość cyfrowych telewizyjnych fal nośnych na łączu w dół zajmuje całą szerokość pasma transpondera, a transponder obsługiwany jest przy nasyceniu dla maksymalnej mocy na łączu w dół. Badania wykazały, że w danych warunkach odpowiednie względne poziomy listka bocznego wynoszą odpowiednio -18 dB i -30 dB. Ponadto, w związku z tym, że na wyjściu pokładowego HPA (wzmacniacz z lampą o fali bieżącej) zawsze występuje filtrowanie (multiplekser na wyjściu), parametr X jest inny niż zero. Dokładna wartość X będzie się różniła w zależności od systemu. Wydaje się, że wartość 12 dB jest minimalną wartością zachowawczą, którą powinny przekraczać wszystkie nowe systemy wdrażające przylegające kanały polaryzacyjne.

Dla łączu w górę zazwyczaj nie istnieją filtry po przejściu przez HPA, HPA jest obsługiwany jednak przy spadku mocy w celu kontroli poziomów pozapasmowych listków bocznych. Jest mało prawdopodobne, aby na łączach dosyłowych systemów w służbie radiodyfuzyjnej satelitarnej poziomy listków bocznych wynoszące -29 dB i $-39,5$ dB zostały przekroczone.

ZALECENIE ITU-R S.1340-0^{*,**}

**Współużytkowanie łączy dosyłowych przez służbę ruchomą satelitarną
i służbę radionawigacyjną lotniczą w kierunku
Ziemia-kosmos w zakresie częstotliwości 15,4–15,7 GHz**

(Zagadnienie ITU-R 243/4)

(1997)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że Uchwała 117 Światowej Administracyjnej Konferencji Radiokomunikacyjnej (Genewa, 1995) (WARC-95) wzywa ITU-R do przeprowadzenia badań sytuacji współużytkowania łączy dosyłowych (Ziemia-kosmos) przez służbę ruchomą satelitarną i służbę radionawigacyjną lotniczą w zakresie 15,45–15,65 GHz;
- b) że zakres 15,4–15,7 GHz jest przeznaczony dla służby radionawigacyjnej lotniczej na prawach pierwszej ważności oraz że zastosowanie ma ust. S4.10 Regulaminu Radiokomunikacyjnego;
- c) że WRC-95 dodała przeznaczenie dla służby stałej satelitarnej w zakresie 15,45–15,65 GHz w odniesieniu do łączy dosyłowych niegeostacjonarnych sieci satelitarnych (NGSO) w służbie ruchomej satelitarnej w kierunku Ziemia-kosmos;
- d) że zapotrzebowanie na łącza dosyłowe (Ziemia-kosmos) systemów satelitarnych NGSO w służbie ruchomej satelitarnej musi być zaspokojone w tym zakresie;
- e) że emisje ze stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej mogą powodować niedopuszczalne zakłócenia w pracy satelitów;
- f) że nalega się, aby administracje użytkujące stacje w służbie radionawigacyjnej lotniczej ograniczyły średnią e.i.r.p. do 42 dBW w celu ograniczenia zakłóceń w pracy satelitów NGSO; wartość ta jest przedmiotem weryfikacji i badania ITU-R (zob. ust. S5.511C Regulaminu Radiokomunikacyjnego);
- g) że koordynacja emisji ze stacji radionawigacyjnych lotniczych ze stacjami kosmicznymi realizującymi łącza dosyłowe nie jest uważana za praktyczną;
- h) że emisje ze stacji ziemskich realizujących łącza dosyłowe propagowane po powierzchni Ziemi mogą powodować szkodliwe zakłócenia w pracy stacji radionawigacyjnych lotniczych;
- j) że zgodnie z ust. S5.511C Regulaminu Radiokomunikacyjnego w celu ochrony służby radionawigacyjnej lotniczej nałożono pewne ograniczenia na służbę stałą satelitarną;
- k) że przedmiotowy zakres częstotliwości jest w dość znacznym stopniu użytkowany przez służbę radionawigacyjną lotniczą na potrzeby stacji pokładowych oraz stacji znajdujących się na lądzie i na oceanie;

* Niniejsze zalecenie powinno zostać przekazane radiokomunikacyjnej Grupie Studiów 8.

** Radiokomunikacyjna Grupa Studiów 4 wprowadziła poprawki redakcyjne do tego zalecenia w 2001 w zgodzie z Uchwałą ITU-R 44 (RA-2000).

- l) że zgodnie z ust. S5.511B Regulaminu Radiokomunikacyjnego stacje statków powietrznych nie mogą transmitować w zakresie 15,45–15,65 GHz;
- m) że parametry techniczne i operacyjne stacji radionawigacyjnych lotniczych są dość dobrze znane;
- n) że parametry techniczne i operacyjne łączy dasyłowych nie są odpowiednio zdefiniowane;
- o) że konieczne są metody wyznaczania odległości koordynacyjnych i separacyjnych, wymaganych między stacjami ziemskimi realizującymi łącza dasyłowe a stacjami radionawigacyjnymi lotniczymi w celu ochrony stacji radionawigacyjnych lotniczych;
- p) że przeprowadzono badania w odniesieniu do powyższych *zaleceń*,
zaleca

1 ograniczenie łączy dasyłowych dla służby ruchomej satelitarnej do zakresu 15,43–15,63 GHz (zob. uwaga 1);

2 aby emisje wyrażane jako skuteczna e.i.r.p. (E_{eff}) ze stacji radionawigacyjnych lotniczych nie przekraczały następujących wartości:

2,12.1 dla systemów lądowania statków powietrznych oraz dla szerokości pasm łączy dasyłowych większych niż 3 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 53 & \text{dBW} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 53 - 0,833(\varphi - 8) & \text{dBW} & \text{dla} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 48 & \text{dBW} & \text{dla} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 48 - 9(\varphi - 32) & \text{dBW} & \text{dla} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 30 & \text{dBW} & \text{dla} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 30 - 0,2(\varphi - 40) & \text{dBW} & \text{dla} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

2.2 dla radarów statków powietrznych ogólnego przeznaczenia oraz dla szerokości pasm łączy dasyłowych większych niż 1 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 62 & \text{dBW} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 20 \\ 62 - 0,56(\varphi - 20)^2 & \text{dBW} & \text{dla} & 20 \leq \varphi < 25 \\ 48 & \text{dBW} & \text{dla} & 25 \leq \varphi < 29 \\ 71,86 - 25 \log(\varphi - 20) & \text{dBW} & \text{dla} & 29 \leq \varphi < 68 \\ 29,8 & \text{dBW} & \text{dla} & 68 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

gdzie:

$$E_{eff} = E_p - 15 \lg(1 + 5/PW) \quad \text{dBW}$$

E_{eff} : e.i.r.p., która powoduje taki sam poziom zakłóceń modulowanego fázowo sygnału, jak źródło zakłóceń zbliżonych do szumów ciągłych

E_p : szczytowa e.i.r.p. impulsu (dBW) stacji radionawigacyjnej lotniczej

PW : czas trwania impulsu (μ s) stacji radionawigacyjnej lotniczej

φ : kąt elewacji (w stopniach) nad lokalną płaszczyznę poziomą;

3 aby łącza dasyłowe w kierunku Ziemia-kosmos były przeznaczone do pracy w środowisku zakłóceń zdefiniowanym w *zaleceniu* 2;

4 aby w związku z *zaleceniami* 2 i 3 koordynacja emisji ze stacji radionawigacyjnych lotniczych z satelitarnymi stacjami odbiorczymi nie była wymagana;

5 aby e.i.r.p. transmitowana w kierunku lokalnej płaszczyzny poziomej przez stację ziemską realizującą łącza dosyłowe nie przekraczała 54 dB (W/MHz) (zob. uwaga 2);

6 aby radary umieszczone na powierzchni określone w dodatku 1 nie działały w zakresie 15,43–15,63 GHz;

7 aby odległości koordynacyjne wymagane w celu ochrony stacji radionawigacyjnych lotniczych przed szkodliwymi zakłóceniami wywoływanymi emisjami stacji ziemskich realizujących łącza dosyłowe wynosiły:

- 515 km od powierzchni lądowania statków powietrznych dla systemów lądowania (ALS);
- 600 km od statków powietrznych użytkujących radary ogólnego przeznaczenia (MPR);
- 270 km od miejsca lądowania statków powietrznych dla radarowych systemów detekcji i pomiarów;

8 aby w dodatkach 1, 2 i 3 zawarto dodatkowe informacje.

UWAGA 1 – Zakres częstotliwości określony w *zaleceniu* 1 jest nieco inny niż zakres przeznaczony przez WRC-95. Zaleca się stosowanie tej różnicy w celu ułatwienia współużytkowania między łączami dosyłowymi NGSO służby ruchomej satelitarnej a służbą radionawigacyjną lotniczą. *Zalecenie* 1 zostanie poddane weryfikacji w późniejszym terminie zgodnie z wynikiem przyszłej WRC.

UWAGA 2 – dodatkowe ograniczenia w zakresie projektu i ograniczenia operacyjne mogą zostać nałożone na łącza dosyłowe służby ruchomej satelitarnej w kierunku Ziemia-kosmos w celu uwzględnienia wartości progowych dla służby radioastronomicznej podanych w Zaleceniu ITU-R RA.769.

DODATEK 1

Systemy radionawigacyjne lotnicze w zakresie częstotliwości 15,4–15,7 GHz

1 Radary umieszczone na powierzchni (SBR)

Radary umieszczone na lądzie i statkach są używane do detekcji, lokalizowania i śledzenia ruchu statków powietrznych i innych pojazdów poruszających się po powierzchni lotnisk oraz innych obszarach lądowania statków powietrznych.

1.1 Charakterystyki promieniowania anteny

- nominalna szerokość wiązki 3 dB: $<3,5^\circ$ w płaszczyźnie pionowej, odwrotny kosekans do -31°
 $0,35^\circ$ pozioma;
- zakres częstotliwości: 15,65–16,7 GHz;
- polaryzacja: kołowa;
- typowy zysk: 43 dBi;
- maksymalny poziom listka bocznego: 25 dB poniżej zysku szczytowego;
- maksymalny poziom listka tylnego: 35 dB poniżej zysku szczytowego;
- zakres pochylenia w pionie: $\pm 1,5^\circ$;
- maksymalny zakres przeszukiwania w płaszczyźnie poziomej: 360° .

1.1.1 Obwiednia charakterystyki anteny w płaszczyźnie pionowej

W oparciu o uzyskane dane i parametry na poziomie listków bocznych oraz z zyskiem szczytowym skierowanym na $+1,5^\circ$, obwiednię charakterystyki anteny w elewacji definiuje się w następujący sposób, gdzie φ oznacza kąt elewacji (w stopniach):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 & \text{dBi} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 4 \\ 43 - 5(\varphi - 4) & \text{dBi} & \text{dla} & 4 \leq \varphi < 9 \\ 18 & \text{dBi} & \text{dla} & 9 \leq \varphi < 16 \\ 43,2 - 21 \log \varphi & \text{dBi} & \text{dla} & 16 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{dla} & 48 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

1.1.2 Obwiednia charakterystyki anteny w azymucie

W oparciu o uzyskane dane i parametry na poziomie listków bocznych obwiednię charakterystyki anteny w azymucie definiuje się w następujący sposób, gdzie φ oznacza relatywny kąt azymutu (w stopniach):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 43 - 110 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 0,4767 \\ 18 & \text{dBi} & \text{dla} & 4,4767 \leq \varphi < 0,72 \\ 17,07 - 6,5 \lg \varphi & \text{dBi} & \text{dla} & 0,72 \leq \varphi < 48 \\ 8 & \text{dBi} & \text{dla} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

1.2 Pozostałe parametry

1.2.1 Nadawanie

- szczytowa e.i.r.p.: 86 dBW;
- częstotliwość powtarzania impulsów: 8 192 Hz;
- czas trwania impulsów: 0,04 μ s;
- szerokość pasma impulsów 3,5 dB: 25 MHz.

1.2.2 Odbiór

- typowy zysk anteny: 43 dBi;
- typowy współczynnik szumów: 6,2–6,9 dB.

2 Systemy lądowania statków powietrznych (ALS)

Systemy ALS są systemami ogólnego przeznaczenia, które użytkuje się na statkach, jako przenośne lub stałe systemy lądowe oraz na potrzeby lądowań wahadłowców. Jednym z takich systemów jest mikrofalowy system lądowania MLS (MSBLS). Niektóre parametry różnią się w poszczególnych aplikacjach.

2.1 Charakterystyki promieniowania anten stacji umieszczonych na powierzchni

Charakterystyki promieniowania anten są podobne dla wszystkich aplikacji, również w systemie MLS (MSBLS). Zasięg przeszukiwania różni się w zależności od aplikacji. Poniższe wskaźniki zasięgu przeszukiwania obejmują wszystkie aplikacje.

Antena uzupełniająca systemu ALS składa się z anteny w płaszczyźnie pionowej i anteny w azymucie.

Część systemu ALS obejmująca antenę w płaszczyźnie pionowej jest używana do transmitowania danych w kącie pionowym do statku powietrznego.

- nominalne szerokości wiązki 3 dB: 1,3° w płaszczyźnie pionowej,
40° w płaszczyźnie poziomej;
- zakres częstotliwości: 15,4–15,7 GHz;
- polaryzacja: pozioma i pionowa;
- typowy zysk: 28 dBi;
- maksymalny poziom listka bocznego: 17 dB poniżej szczytowego zysku w obu płaszczyznach;
- maksymalny zakres przeszukiwania w płaszczyźnie pionowej: 0 do 30°.

Część systemu ALS obejmująca antenę w azymucie jest używana do transmitowania informacji o azymucie do statku powietrznego.

- nominalna szerokość wiązki 3 dB: 2,0° pozioma
6,5° pionowa;
- pionowa charakterystyka promieniowania nie pozwala na osiągnięcie co najmniej 20 dBi zysku na poziomie 20° nad horyzontem;
- zakres częstotliwości: 15,4–15,7 GHz;
- polaryzacja: pozioma i pionowa;
- typowy zysk: 33 dBi;
- maksymalny poziom listka bocznego: 17 dB poniżej szczytowego zysku w obu płaszczyznach;
- maksymalny zakres przeszukiwania w płaszczyźnie poziomej: ±35°.

2.1.1 Połączona obwiednia charakterystyki anteny w płaszczyźnie pionowej

Połączoną charakterystykę anteny w płaszczyźnie pionowej w oparciu o uzyskane dane zdefiniowano w następujący sposób, gdzie φ oznacza kąt elewacji (w stopniach):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 & \text{dBi} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 33 - 0,833(\varphi - 8) & \text{dBi} & \text{dla} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 28 & \text{dBi} & \text{dla} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 28 - 9(\varphi - 32) & \text{dBi} & \text{dla} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 10 & \text{dBi} & \text{dla} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 10 - 0,2(\varphi - 40) & \text{dBi} & \text{dla} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

2.1.2 Charakterystyki promieniowania anteny w azymucie

Obwiednia charakterystyki w azymucie anteny w płaszczyźnie pionowej definiuje się w następujący sposób, gdzie φ oznacza relatywny kąt azymutu (w stopniach):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 28 - 0,0062 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 70 \\ -2,37 & \text{dBi} & \text{dla} & 70 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

Charakterystykę obwiedni w azymucie anteny w azymucie definiuje się w następujący sposób, gdzie φ oznacza relatywny kąt azymutu (w stopniach):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 33 - 2 \varphi^2 & \text{dBi} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 3 \\ 15 & \text{dBi} & \text{dla} & 3 \leq \varphi < 5 \\ 32,5 - 25 \lg \varphi & \text{dBi} & \text{dla} & 5 \leq \varphi < 48 \\ -9,53 & \text{dBi} & \text{dla} & 48 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

2.2 Pozostałe parametry

2.2.1 Nadawanie

- szczytowa e.i.r.p.: 71 dBW;
- częstotliwość powtarzania impulsów: 3 334 Hz;
- czas trwania impulsów: 0,333 μ s;
- szerokość pasma impulsów 3,5 dB: 3 MHz.

2.2.2 Odbiór

- typowy zysk anteny: 8 dBi;
- typowy współczynnik szumów: 8 dB.

3 Wielozadaniowe radary statków powietrznych (MPR)

Radar statku powietrznego typu MPR jest radarem radionawigacyjnym, radiolokalizacyjnym i radarem pogodowym.

3.1 Charakterystyki promieniowania anten

Antena ma kształt paraboli o średnicy około 0,3 m, która jest przeszukiwana w płaszczyźnie pionowej i poziomej odnośnie do kursu i sztucznego horyzontu statku powietrznego:

- nominalna szerokość wiązki 3 dB: 4,5° w płaszczyźnie poziomej;
- zakres częstotliwości: 15,4–15,7 GHz;
- polaryzacja: pionowa;
- typowy zysk: 30 dBi;
- maksymalny zakres przeszukiwania w płaszczyźnie poziomej: $\pm 45^\circ$;
- maksymalny zakres przeszukiwania w płaszczyźnie pionowej: $\pm 20^\circ$.

Obwiednię charakterystyki anteny definiuje się w następujący sposób, gdzie φ oznacza relatywny kąt w azymucie (w stopniach):

$$G(\varphi) = \begin{cases} 30 & \text{dBi} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 20 \\ 30 - 0,56 (\varphi - 20)^2 & \text{dBi} & \text{dla} & 20 \leq \varphi < 25 \\ 16 & \text{dBi} & \text{dla} & 25 \leq \varphi < 29 \\ 39,86 - 25 \lg (\varphi - 20) & \text{dBi} & \text{dla} & 29 \leq \varphi < 68 \\ -2,17 & \text{dBi} & \text{dla} & 68 \leq \varphi \leq 180 \end{cases}$$

3.2 Pozostałe parametry

3.2.1 Nadawanie

- szczytowa e.i.r.p.: 70 dBW;
- częstotliwość powtarzania impulsów: 800 Hz;
- czas trwania impulsów: 2 μ s;
- szerokość pasma impulsów 3,5 dB: 0,5 MHz.

3.2.2 Odbiór

- typowy zysk anteny: 30 dBi;
- typowy współczynnik szumów: 8 dB.

4 Radarowy system detekcji i pomiarów (RSMS)

Techniki pomiarowe przy użyciu techniki radarowej w paśmie 15 GHz szczególnie nadają się w przypadku mniejszych statków powietrznych, w tym helikopterów, i oferują korzyści kompaktowego, lekkiego sprzętu z dobrą kierunkowością anten oraz więcej niż odpowiednią wydajnością w wielu operacyjnych aplikacjach radionawigacyjnych, które nie są możliwe przy niższych częstotliwościach ze względu na propagację lub z innych powodów. Do użytku w trybie pomiaru wysokości wyższe pasmo częstotliwości przynosi korzyści związane z projektem systemu, takie jak niższe sprzężenia skrośne i brak skutków triangulacji, które są szczególnie istotne dla dokładnych pomiarów w bardzo niskich (metrycznych) separacjach. W przypadku niektórych aplikacji operacyjnych stanowią one jedyne możliwe rozwiązanie techniczne.

Systemy wykorzystujące te techniki są szeroko stosowane w niektórych częściach świata, gdzie stanowią one istotny wkład w zapewnienie bezpieczeństwa pracy statków powietrznych. Pomiar wysokości i odległości od ziemi jest jednym z najbardziej krytycznych parametrów w pracy statków powietrznych, w przypadku gdy jest wykorzystywany w celu pomocy w końcowych etapach lądowania. Wysoka dokładność i praca bez zakłóceń mają zasadnicze znaczenie dla powodzenia i poprawy bezpieczeństwa.

Systemy RSMS są zasadniczo używane w operacjach niskopoziomowych przeprowadzanych na wysokościach do około 1 500 m. W znacznej większości aplikacji stosuje się zamocowanie anteny, które pozwala na transmitowanie i odbiór w płaszczyźnie pionowej do dołu. Zmniejszenie mocy proporcjonalnie do wysokości powyżej terenu stosuje się w celu ograniczenia rozproszenia i innych skutków niepożądanych.

4.1 Parametry systemu RSMS

4.1.1 Nadajnik

- zakres częstotliwości: 15,63–15,65 GHz;
- moc szczytowa: 30 dBmW;
- zysk anteny: 13 dBi, listki wsteczne <5 dBi;
- częstotliwość powtarzania impulsów: 58 kHz;
- długość impulsów (max): 500 ns;
- cykl pracy (max): 3%;
- szerokość pasma impulsu 3,5 dB: 2 MHz.

4.1.2 Odbiornik

- zysk anteny: 13 dBi, listki wsteczne <5 dBi;
- współczynnik szumów: 6 dB.

DODATEK 2

Kryteria w zakresie emisji dla służby radionawigacyjnej lotniczej oraz możliwość współużytkowania łączy dosyłowych dla służby ruchomej satelitarnej (Ziemia-kosmos) w zakresie częstotliwości 15,4–15,7 GHz

1. Wprowadzenie

Podstawową metodą ochrony satelitów NGSO przed niedopuszczalnymi zakłóceniami jest ustalenie maksymalnych wartości granicznych e.i.r.p. ze stacji radionawigacyjnych lotniczych oraz minimalnych wartości granicznych e.i.r.p. w odniesieniu do emisji ze stacji ziemskich realizujących łączy dosyłowe.

Alternatywnie można ustalić tylko maksymalne wartości graniczne e.i.r.p. w odniesieniu do stacji radionawigacyjnych lotniczych, które definiują środowisko zakłóceń, w którym łączy dosyłowe muszą mieć możliwość działania. Takie rozwiązanie alternatywne wydaje się bardziej atrakcyjne, ponieważ jest mniej skomplikowane i pozwala na maksymalną swobodę projektowania i działania łączy dosyłowych. Do takiego podejścia odniesiono się w kolejnych sekcjach.

Każda z tych metod stanowi skuteczny sposób na eliminowanie potrzeby koordynacji. W tym przypadku koordynacja jest niepraktyczna.

2 Parametry systemów radionawigacyjnych lotniczych

Zidentyfikowano kilka systemów, które działają w tym zakresie. Należą do nich radary umieszczone na powierzchni (SBR) używane na lądzie i na statkach do celów wykrywania, lokalizowania i śledzenia ruchu statków powietrznych i innych pojazdów na obszarach lądowania statków powietrznych, tj. systemy ALS, MPR i RSMS. Charakterystyki promieniowania anten tych systemów są ważnym elementem przy ustalaniu e.i.r.p. jako funkcji kąta elewacji. Zysk obwiedni charakterystyki anteny i inne istotne parametry przedstawiono w dodatku 1.

3 Analizy

3.1 Zakłócenia impulsowe sygnałów cyfrowych

Grupa zadaniowa 4/4 zbadała zakłócenia sygnałów cyfrowych wywoływane przez radary. Pomiarzy zostały wykonane w szerokim zakresie częstotliwości powtarzania impulsów (PRF), (1–100 kHz) oraz cykli pracy, d , (0,01%–100%) dla prędkości radarów i przesyłania danych od 2 Mbit/s do 45 Mbit/s dla 3/4 kodowanych sygnałów cyfrowych z modulacją QPSK i nadmiarowym kodowaniem korekcyjnym (FEC) działających przy bitowej stopie błędów na poziomie 1×10^{-6} . Wyprowadzono

równanie empiryczne na podstawie uzyskanych danych, które można zastosować celem powiązania szczytowej e.i.r.p. radaru impulsowego, E_p , ze skuteczną e.i.r.p., E_{eff} , tj. e.i.r.p., która spowodowałaby ten sam poziom zakłóceń (zob. zalecenie ITU-R S.1068). Rzeczywista średnia e.i.r.p., E_{ave} , jest równa szczytowej e.i.r.p. pomnożona przez cykl pracy. W takich warunkach równanie empiryczne ma następującą postać:

$$E_{eff} = E_p - 15 \lg (1 + 0,5(PRF/d)) \quad \text{dBW} \quad (1)$$

gdzie PRF wyrażony jest w kHz, a d jest wartością procentową.

Ponieważ szerokość impulsu, PW , jest równa (d/PRF), równanie (1) można przedstawić jako:

$$E_{eff} = E_p - 15 \lg (1 + 5/PW) \quad \text{dBW} \quad (2)$$

gdzie PW jest wyrażone w mikrosekundach.

Przy funkcji widmowej gęstości mocy $[(\sin x)/x]^2$ szczytowa widmowa gęstość mocy jest w przybliżeniu 3,5 dB większa od gęstości mocy uśrednionej na szerokości pasma $2/PW$. Szerokość pasma 3,5 dB (BW) (BW) (MHz) wynosi w przybliżeniu $1/PW$. W związku z tym, efektywna gęstość e.i.r.p. E_{eff}/MHz , dla szerokości pasm sygnałów łączy dosyłowych (BW) (MHz) mniejszych niż $1/PW$, wynosi:

$$E_{eff}/\text{MHz} = E_p - 10 \lg (2/PW) + 3,5 - 15 \lg (1 + 5/PW) \quad \text{dBW} \quad (3)$$

oraz dla (BW) równemu lub większemu niż ($1/PW$) (E_{eff}/MHz) uśredniona dla (BW) wynosi:

$$E_{eff}/\text{MHz} = E_p - 10 \lg (2/PW) + 3,5 - 15 \lg (1 + 5/PW) - 10 \lg [(BW) (PW)] \quad \text{dBW} \quad (4)$$

3.2 Wartości graniczne emisji stacji radionawigacyjnych lotniczych

Radary umieszczone na powierzchni można dostosować do pracy w zakresie 15,63-15,7 GHz. Przesuwając zakres 15,45–15,65 GHz do 15,43–15,63 GHz, nie trzeba uwzględniać zakłóceń w pracy łączy dosyłowych w kierunku Ziemia-kosmos.

Dominujący obszar funkcjonowania radarów wielozadaniowych (MPR) znajduje się nad oceanem, który w większości przypadków będzie wykraczał poza odległość koordynacyjną stacji ziemskich realizujących łączy dosyłowe i tym samym nie będzie wymagać koordynacji ze stacjami ziemskimi realizującymi łączy dosyłowe. W związku z tym działanie MPR w zakresie 15,4–15,7 będzie dozwolone, nawet jeśli zastosowanie będą miały ograniczenia geograficzne (zob. dodatek 3). Radarowy system detekcji i pomiarów (RSMS) obecnie działa w zakresie 15,4–15,7 GHz, w związku z czym ograniczenia geograficzne również mogą mieć zastosowanie.

Wartości parametrów dla równań (2), (3) i (4) w odniesieniu do systemów radionawigacyjnych lotniczych ALS, MPR i RSMS podano w dodatku 1 wraz z funkcjami zysku obwiedni anteny. Dzięki tym informacjom wartości E_{eff} można obliczyć jako funkcję kąta elewacji. Szczytowa e.i.r.p. oraz PW są ograniczone równaniami (2), (3) i (4). Kąt elewacji, φ , wyrażono w stopniach.

3.2.1 Wartości graniczne E_{eff} systemu ALS

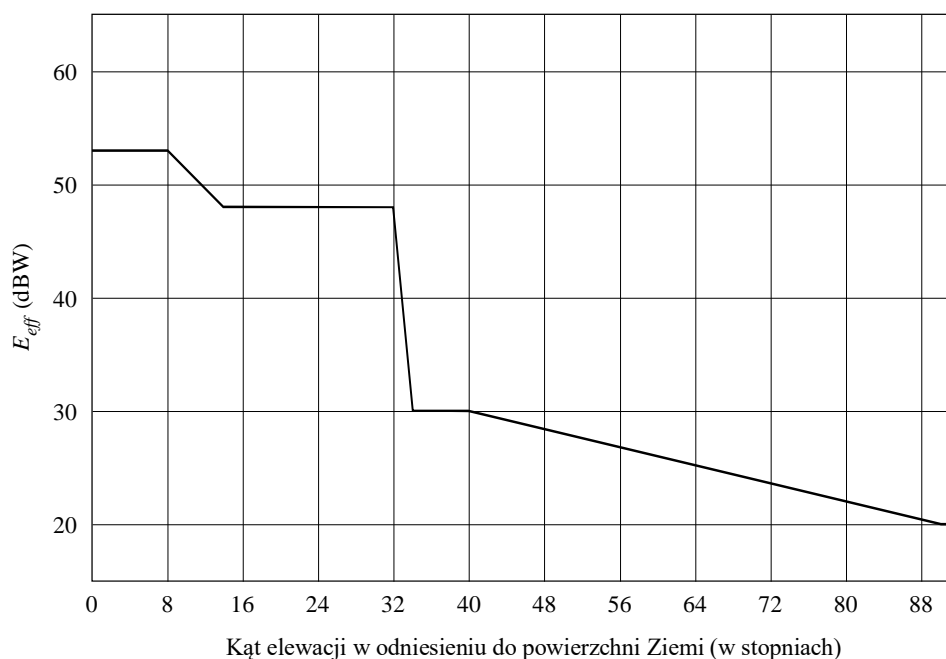
W przypadku szerokości pasma sygnału łączy dosyłowych większych niż 3 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 53 & \text{dBW} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 8 \\ 53 - 0,833(\varphi - 8) & \text{dBW} & \text{dla} & 8 \leq \varphi < 14 \\ 48 & \text{dBW} & \text{dla} & 14 \leq \varphi < 32 \\ 48 - 9(\varphi - 32) & \text{dBW} & \text{dla} & 32 \leq \varphi < 34 \\ 30 & \text{dBW} & \text{dla} & 34 \leq \varphi < 40 \\ 30 - 0,2(\varphi - 40) & \text{dBW} & \text{dla} & 40 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

Funkcję tę przedstawiono na rys. 1.

RYSUNEK 1

Wartości graniczne skutecznej e.i.r.p., E_{eff} , systemu ALS



1340-01

3.2.2 Wartości graniczne E_{eff} systemu MPR

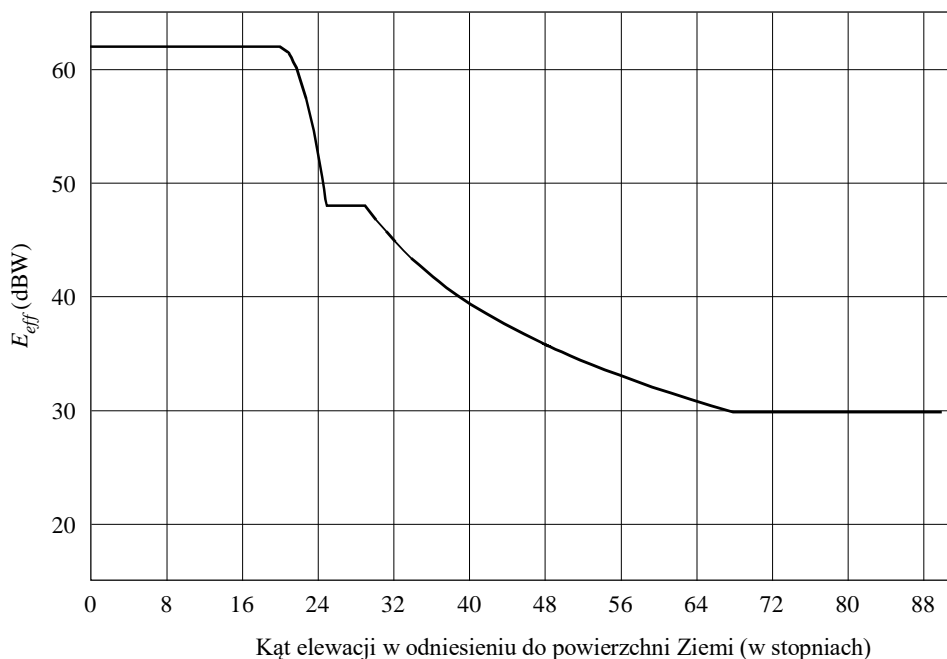
W przypadku szerokości pasma sygnału łączy dosyłowych większych niż 1 MHz:

$$E_{eff} = \begin{cases} 62 & \text{dBW} & \text{dla} & 0 \leq \varphi < 20 \\ 62 - 0,56(\varphi - 20)^2 & \text{dBW} & \text{dla} & 20 \leq \varphi < 25 \\ 48 & \text{dBW} & \text{dla} & 25 \leq \varphi < 29 \\ 71,86 - 25 \lg(\varphi - 20) & \text{dBW} & \text{dla} & 29 \leq \varphi < 68 \\ 29,8 & \text{dBW} & \text{dla} & 68 \leq \varphi \leq 90 \end{cases}$$

Funkcję tę przedstawiono na rys. 2.

E_{eff} w odniesieniu do RSMS dla kątów elewacji większych niż 0° wynosi $-13,1$ dBW.

RYSUNEK 2

Wartości graniczne skutecznej e.i.r.p., E_{eff} , systemu MPR

1340-02

3.3 Wpływ na e.i.r.p trasy w górę łącza dosyłowego

Ochronę przed zakłóceniami trasy w górę wywoływanymi przez stacje radionawigacyjne lotnicze można osiągnąć poprzez zapewnienie odpowiedniej e.i.r.p. w górę ścieżki ze stacji ziemskiej.

W przypadku zakłóceń w pracy sygnału 3/4 FEC QPSK, współczynnik sygnału do zakłócenia C/I , dla 1×10^{-6} BER wyniósł około 9 dBi w przypadku pomiarów opisanych w sekcji 3.1. C/I odnosi się do stanu, w którym zakłócenia z innych źródeł są nieistotne. Ponieważ procent czasu, przez który działa stacja radionawigacyjna, i kontur jej anteny -3 dB jest w połączeniu z satelitą jest bardzo niski, zakłada się że współczynnik C/I na poziomie 9 dB może być dopuszczalny dla tak niewielkiego procenta czasu. Dla niezakodowanego sygnału z modulacją QPSK współczynnik C/I wynosi około 12 dB.

E.i.r.p. trasy w górę wymagana w celu pokonania tych zakłóceń jako funkcję szerokości pasma sygnału łącza dosyłowego można obliczyć poprzez założenie, że w jednym momencie uzyskana zostanie tylko jedna wartość jednego rodzaju. Ogólnie wymagane mogą być wartości e.i.r.p. w przedziale 60 do 70 dBW.

4 Podsumowanie

- wartości graniczne skutecznej e.i.r.p. podane w § 3.2 są zgodne z działaniem obecnie istniejących systemów radionawigacyjnych lotniczych;
- określenie maksymalnego środowiska zakłóceń, jakie musi zostać zaakceptowane przez łącza dosyłowe służby ruchomej satelitarnej pozwala projektantom i operatorom łączy dosyłowych na maksymalną swobodę w zakresie wypełniania wymogów dotyczących usług oraz eliminuje potrzebę określania wysokości orbit, charakterystyki promieniowania anten satelitarnych itp., które mogą być zaangażowane w wyznaczanie minimalnych wartości e.i.r.p.;
- minimalne wartości e.i.r.p. stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe wymagane do pracy w środowisku maksymalnych zakłóceń zawarte w § 3.3 w kierunku Ziemia-kosmos są możliwe do osiągnięcia.

DODATEK 3

Odległości koordynacyjne między stacjami ziemskimi realizującymi łącza dosyłowe w służbie ruchomej satelitarnej pracującymi w kierunku Ziemia-kosmos a stacjami w służbie radionawigacyjnej lotniczej w zakresie 15,4–15,7 GHz

1 Parametry systemu radionawigacyjnego lotniczego

Zidentyfikowano kilka systemów, które działają w tym zakresie. Należą do nich systemy lądowania statków powietrznych (ALS) i wielozadaniowe radary umieszczone na pokładach statków powietrznych (MPR). Parametry i analizy niezbędne do wyznaczenia odległości koordynacyjnych przedstawiono w poniższej sekcji.

2 Odległości koordynacyjne

2.1 Analizy

Odległość koordynacyjną, D_c , konieczną dla zapewnienia ochrony przed zakłóceniami w pracy stacji działających w służbie radionawigacji lotniczej wywoływanymi przez stacje ziemskie realizujące łącza dosyłowe w służbie ruchomej satelitarnej oblicza się według wzorów zawartych w poniższych sekcjach.

$$D_c = D_{fsl} + D_{oth} + D_{as} \quad \text{km} \quad (5)$$

gdzie:

D_{fsl} : całkowity zasięg horyzontu radiowego (km)

D_{oth} : odległość pozahoryzontalna odpowiadająca niezbędnemu tłumieniu pozahoryzontalnemu (km)

D_{as} : odległość między statkiem powietrznym a powierzchnią lądowania (km) (ma zastosowanie w przypadku systemów ALS i RSMS)

$$D_{fsl} = (2r h_1)^{0,5} + (2r h_2)^{0,5} \quad \text{km} \quad (6)$$

gdzie:

r : promień Ziemi jako 4/3 wartości geometrycznej w celu uwzględnienia refrakcji atmosferycznej (8500 km)

h_1 : wysokość stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej (km)

h_2 : wysokość stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe (km)

$$L_{oth} = E_{esd} + 168,6 - L_{fsl} + G/T - I/N \quad \text{dB} \quad (7)$$

gdzie:

L_{oth} : wartość pozahoryzontalnego tłumienia propagacyjnego dodana do L_{fsl} (dB) (tę funkcję przedstawiono poniżej i na rys. 1, którą wyprowadzono z 5% funkcji dla pasma 15 GHz w Zaleceniu ITU-R P.528; tj. tłumienie przekraczające 95% czasu)

E_{esd} : maksymalna gęstość e.i.r.p. stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe w kierunku (jako 54 dB(W/MHz))

L_{fsl} : tłumienie w wolnej przestrzeni dla D_{fsl} (dB)

G/T : zysk/temperatura szumów stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej (dB)

I/N : dopuszczalne zakłócenie/szumy stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej (dB)

Wartości L_{oth} jako funkcja D_{oth} przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1

D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)	D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)	D_{oth} (km)	L_{oth} (dB)
0	0	175	78	350	104
25	24	200	82	375	107
50	45	225	86	400	110
75	57	250	90	425	113
100	64	275	94	450	116
125	69	300	98	475	118
150	74	325	101	500	120

Wartości D_{oth} dla L_{oth} między wartościami podanymi można ekstrapolować na podstawie:

$$D_{oth} = D_{ith} + 25[(L_{oth} - L_{ith})/(L_{jth} - L_{ith})] \quad \text{km} \quad (8)$$

gdzie:

L_{ith} : kolejna niższa wartość L_{oth} w tabeli 1, z L_{oth} wyznaczonego równaniem (7)

L_{jth} : kolejna wyższa wartość L_{oth} w tabeli 1, z L_{oth} wyznaczonego równaniem (7)

2.2 Obliczone odległości koordynacyjne

Biorąc pod uwagę równania i metody obliczeń oraz niektóre wartości parametrów określone w § 2.1, jak również inne konieczne wartości parametrów, wartości koordynacyjne oblicza się według metody przedstawionej w tabeli 2:

TABELA 2

Parametr	ALS	MPR	RSMS
h_1 (km)	7,6	15	1,5
h_2 (km)	0,01	0,01	0,01
D_{fst} (km)	372	518	172,7
D_{as} (km)	100	0	40
L_{fst} (dB)	167,7	170,6	160,9
G/T (dB)	-22,7	-2,0	-24,4
I/N (dB)	-10	-10	-10
L_{oth} (dB)	42,2	60	47,3
D_{oth} (km)	46,7	85,7	54,8
D_c (km)	518,7	603,7	267,5

Dla MPR można zastosować odległość koordynacyjną 600 km. MPR zasadniczo działają nad obszarami oceanów, co w większości przypadków oznacza odległości większe niż 600 km od stacji ziemskich realizujących łącza dosyłowe i nie wymaga koordynacji. Jeśli stacje ziemskie realizujące łącza dosyłowe znajdowałyby się w głębi lądu, zwiększyłyby się obszary funkcjonowania nad oceanem.

2.3 Zmniejszenie wartości granicznych stacji ziemskich

Zmniejszenie maksymalnej wartości granicznej gęstości e.i.r.p. w kierunku horyzontu stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe powinno ograniczyć odległość koordynacyjną. Przy użyciu funkcji przedstawionej na rys. 3 odległości koordynacyjne w zestawieniu z E_{esd} przedstawiono w tabeli 3:

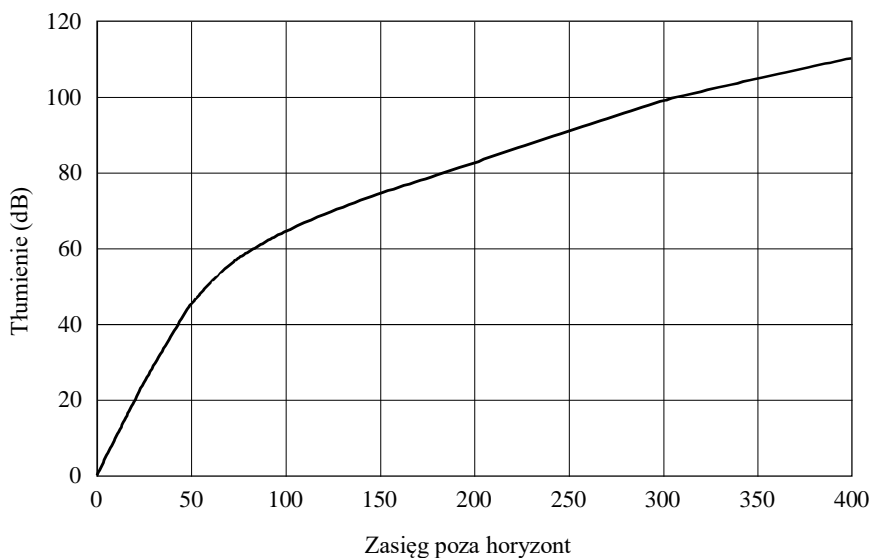
TABELA 3

E_{esd} (dB(W/MHz))	ALS (km)	MPR (km)	RSMS (km)
54	519	604	268
44	507	573	254
34	495	561	242
24	485	549	231

Wyraźnie widać, że odległość koordynacyjna dla ALS, MPR i RSMS, w przypadku gdy odległość znajduje się w znacznym stopniu w zasięgu widoczności, nie jest bardzo wrażliwa na gęstość e.i.r.p. promieniowanej w kierunku horyzontu.

RYSUNEK 3

Tłumienie dodane do tłumienia w wolnej przestrzeni w zasięgu horyzontu



1340-03

3 Podsumowanie

- maksymalny poziom emisji ze stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe w lokalnej płaszczyźnie poziomej powinien być ograniczony do 54 dB (W/MHz);
- dzięki temu ograniczeniu progowa odległość koordynacyjna wynosząca około 515 km jest konieczna w celu ochrony stacji ALS działających w służbie radionawigacyjnej lotniczej przed niedopuszczalnymi zakłóceniami wywoływanymi przez emisje ze stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe. Wspomniana odległość wynosi około 600 km dla MPR i 270 km dla RSMS;
- progowa odległość koordynacyjna dla ALS, MPR i RSMS nie jest znacznie zmniejszona przez ograniczenie maksymalnych dopuszczalnych emisji ze stacji ziemskich realizujących łącza dosyłowe.

Powyższą metodę można stosować w połączeniu z innymi technikami osłabiania, aby zminimalizować odległości separacyjne podczas koordynacji.

4 Czynniki ograniczeń służące do zmniejszania odległości separacyjnych w obrębie odległości koordynacyjnej

Należy uwzględnić poniższe kwestie, w przypadku gdy jest to konieczne w odniesieniu do stacji ziemskich realizujących łącza dosyłowe działających w kierunku Ziemia-kosmos, które mają być położone w obrębie odległości koordynacyjnej:

- zazwyczaj stacje ziemskie realizujące łącza dosyłowe posiadają szerokości wiązki anteny mniejsze niż 1° i działają na kątach elewacji większych niż 5° . Pozwoli to obniżyć e.i.r.p. w kierunku stacji radionawigacyjnej lotniczej i tym samym zmniejszy odległość separacyjną;
 - jeśli wartości graniczne przeszukiwania w płaszczyźnie poziomej systemu lądowania statków powietrznych ALS nie obejmują azymutu w kierunku stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe, to przestrzeń powietrzna dla systemu lądowania statku powietrznego jest niezgodna z wymogami stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe, co mogłoby potencjalnie zmniejszyć odległość separacyjną nawet o 100 km;
 - wykorzystywanie kopców ziemi specjalnie zbudowanych wokół anten stacji ziemskich realizujących łącza dosyłowe w celu zapewnienia dodatkowej izolacji w kierunku stacji radionawigacyjnej lotniczej;
 - można rozważyć położenie geograficzne stacji ziemskiej realizującej łącza dosyłowe w celu wykorzystania naturalnego blokowania terenu, co zwiększy tłumienie trasy propagacji;
 - wszelką dyskryminację anteny statku powietrznego, jaka zajdzie w przypadku gdy statek powietrzny znajdzie się w przestrzeni powietrznej systemu lądowania i gdy korzysta z takiego systemu lądowania.
-

ZALECENIE ITU-R S.1428-1

Charakterystyki odniesienia promieniowania anteny stacji ziemskiej w służbie stałej satelitarnej stosowane do oceny zakłóceń spowodowanych satelitami NGSO w zakresach częstotliwości pomiędzy 10,7 GHz a 30 GHz

(Zagadnienie ITU-R 42/4)

(2000-2001)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że dla anten stacji ziemskich w służbie stałej satelitarnej (FSS), w zaleceniu ITU-R S.465 określa się charakterystykę odniesienia promieniowania anteny, która reprezentuje obwiednię maksymalnego poziomu listków bocznych względem poziomu listka głównego;
- b) że charakterystyki odniesienia szczytowej obwiedni promieniowania anteny są niezbędne do obliczenia zakłóceń dotyczących odbiornika nieruchomego i jednego nieruchomego źródła zakłóceń w celu zapewnienia, że uwzględniony jest najgorszy przypadek oraz że w służbie stałej satelitarnej okoliczności takie przeważały w przeszłości;
- c) że przy występowaniu wielu źródeł zakłóceń lub wielu odbiorników, których położenia znacząco zmieniają się z czasem, poziom odebranych zakłóceń niewątpliwie zależy od minimalnych i maksymalnych poziomów listków bocznych charakterystyki zysku anteny odpowiednio odbiornika poszkodowanego lub źródła zakłóceń, oraz że w służbie stałej satelitarnej takie okoliczności mają miejsce coraz częściej;
- d) że dla stacji ziemskich w służbie stałej satelitarnej potrzebna jest odpowiednia charakterystyka odniesienia promieniowania anteny, którą można wykorzystać w obliczeniach zakłóceń pochodzących z poruszających się źródeł lub odbiorników;
- e) że dla ułatwienia wykorzystywania w komputerowych symulacjach zakłóceń charakterystyka odniesienia promieniowania anteny powinna obejmować wszystkie kąty pozaosiowe od 0° do $\pm 180^\circ$ na wszystkich płaszczyznach zawierających oś główną;
- f) że charakterystyka odniesienia promieniowania anteny powinna być zgodna zarówno z teorią anten, jak i z wynikami pomiarów przeprowadzonych na możliwie największej liczbie anten stacji ziemskich w służbie stałej satelitarnej;
- g) że właściwe może być ustanowienie różnych charakterystyk odniesienia promieniowania anteny dla różnych zakresów D/λ i dla różnych pasm częstotliwości dla służby stałej satelitarnej;
- h) że do celów określenia osiągu anteny odpowiednie są charakterystyki odniesienia szczytowej obwiedni określone w Zaleceniu ITU-R S.580;
- j) że wykorzystanie charakterystyki odniesienia promieniowania anteny powinno skutkować poziomem zakłóceń, który byłby reprezentatywny dla poziomów odebranych przez anteny spełniające odpowiednie zalecenia ITU-R dotyczące charakterystyki promieniowania anteny,

zaleca

1 aby do obliczania zakłóceń w odniesieniu do poruszających się źródeł zakłóceń lub odbiorników poszkodowanych przez zakłócenie pochodzące od służby stałej satelitarnej stosowano następującą charakterystykę odniesienia promieniowania anteny stacji ziemskiej:

dla $20 \leq \frac{D}{\lambda} \leq 25$:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{dla } \varphi_m \leq \varphi < \left(95 \frac{\lambda}{D} \right)$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 95 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi < 33,1^\circ$$

$$G(\varphi) = -9 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 33,1^\circ < \varphi \leq 80^\circ$$

$$G(\varphi) = -5 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 80^\circ < \varphi \leq 180^\circ$$

dla $25 < \frac{D}{\lambda} \leq 100$:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{dla } \varphi_m \leq \varphi < \left(95 \frac{\lambda}{D} \right)$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 95 \frac{\lambda}{D} \leq \varphi \leq 33,1^\circ$$

$$G(\varphi) = -9 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 33,1^\circ < \varphi \leq 80^\circ$$

$$G(\varphi) = -4 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 80^\circ < \varphi \leq 120^\circ$$

$$G(\varphi) = -9 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 120^\circ < \varphi \leq 180^\circ$$

gdzie:

D : antena

λ : długość fali wyrażona w tej samej jednostce*

φ : kąt pozaosiowy anteny (w stopniach)

$$G_{max} = 20 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 7,7 \quad \text{dBi}$$

$$G_1 = 29 - 25 \lg \left(95 \frac{\lambda}{D} \right)$$

$$\varphi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{stopni}$$

* D jest średnicą zastępczą dla anten niesymetrycznych.

dla $\frac{D}{\lambda} > 100$:

$$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{dla } \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{dla } \varphi_r \leq \varphi < 10^\circ$$

$$G(\varphi) = 34 - 30 \lg \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 10^\circ \leq \varphi < 34,1^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 34,1^\circ \leq \varphi < 80^\circ$$

$$G(\varphi) = -7 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 80^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{dBi} \quad \text{dla } 120^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$$

gdzie:

$$\text{dziennik } G_{max} = 20 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 8,4 \quad \text{dBi}$$

$$G_1 = -1 + 15 \lg \frac{D}{\lambda} \quad \text{dBi}$$

$$\varphi_m = \frac{20 \lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{stopni}$$

$$\varphi_r = 15,85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0,6} \quad \text{stopni}$$

UWAGA 1 – Do celów obliczania lub symulacji komputerowej całkowitej mocy na wyjściu anteny spowodowanej wieloma źródłami zakłóceń o zróżnicowanych polaryzacjach, należy założyć, że wkład składowych ortogonalnych na kątach pozaosiowych do 30° i w regionach poza obsługiwanymi do 120° jest nieistotny. Poza tymi regionami kątów, nawet jeżeli antena paraboliczna wykazuje bardzo małą dyskryminację polaryzacji, do celów obliczania zakłóceń NGSO/GSO nie trzeba uwzględniać wkładu składowych ortogonalnych.

UWAGA 2 – Niniejsze zalecenie oparto na badaniach większej liczby anten parabolicznych. Wymagane są dalsze badania dotyczące zastosowania referencyjnych charakterystyk zalecanych dla układu płaszczyznowego anten.

UWAGA 3 – W przyszłości, po udostępnieniu danych dotyczących zmierzonej wydajności anten w zakresie 20/30 GHz, niniejsze zalecenie może wymagać korekty.

UWAGA 4 – W ramach niniejszego zalecenia, stosowanie terminu „poruszający się” w odniesieniu do ziemskiej stacji w służbie stałej satelitarnej oznacza stację ziemską śledzącą w służbie FSS, a nie stację ziemską ruchomą.

ZALECENIE ITU-R BO.1443-3

Wzorce odniesienia anteny stacji ziemskiej w służbie BSS do wykorzystania podczas oceny zakłóceń spowodowanych przez satelity NGSO w zakresach częstotliwości objętych postanowieniami Załącznika 30 RR*

(Zagadnienie ITU-R 73/6)

(2000-2002-2006-2013)

Zakres tematyki

Celem niniejszego zalecenia jest przedstawienie trójwymiarowych wzorców odniesienia anteny stacji ziemskiej dla służby radiodfuzyjnej satelitarnej (BSS), które mogą być użyte do obliczania zakłóceń generowanych przez satelity NGSO w służbie FSS względem anten stacji ziemskich w służbie BSS.

Słowa kluczowe

Zysk wzorca, GSO, BSS.

Skróty/Słownik

Zysk wzorca jest zdefiniowany w postaci:

$$\text{Zysk} = G(\varphi, \theta)$$

gdzie:

- φ : pozaosiowy kąt anteny w stosunku do osi przycelowania (stopnie)
- θ : kąt płaski anteny (stopnie) (azymut 0° określa płaszczyznę poziomą).

Powiązane zalecenia i sprawozdania ITU

Zalecenie ITU-R S.672-4	Wzorzec promieniowania anteny satelitarnej do użycia jako projekt konstrukcji w służbie stałej satelitarnej użytkującej satelity geostacjonarne
Zalecenie ITU-R S.1428-1	Wzorce odniesienia promieniowania stacji ziemskiej FSS do wykorzystania podczas oceny zakłóceń spowodowanych przez satelity NGSO w zakresach częstotliwości pomiędzy 10,7 GHz a 30 GHz
Zalecenie ITU-R S.1503-1	Opis funkcjonalny stosowany przy opracowywaniu narzędzi programowych do określania zgodności sieci systemu stałego satelitarne na orbicie niegeostacjonarnej z limitami określonymi w art. 22 Regulaminu Radiokomunikacyjnego

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

* Podstawę dla wzorców uwzględnionych w niniejszym zaleceniu, w tym metodę analizy i przedstawiania danych, która określa stopień dopasowania zbiorów danych do zalecanego wzorca, zawarto w Sprawozdaniu ITU-R BO.2029 – Pomiar i powiązane analizy wzorca promieniowania anteny stacji ziemskiej w służbie radiodfuzyjnej satelitarnej. Sprawozdanie to, wraz ze zbiorami nieprzetworzonych danych i arkuszami kalkulacyjnymi wykorzystanymi do analizy graficznej, można znaleźć na płycie CD-ROM udostępnianej przez ITU.

uwzględniając

- a) że w przypadku anten stacji ziemskich w służbie BSS wzorce odniesienia promieniowania anteny dla anten odbiorczych GSO BSS określone w dodatku 5 do Załącznika 30 RR zostały wykorzystane do opracowania Planów dla służby BSS i określenia charakterystyki odniesienia promieniowania, która reprezentuje obwiednię listków bocznych;
- b) że takie charakterystyki odniesienia promieniowania są niezbędne do obliczenia zakłóceń w odniesieniu do stałych lub przenośnych odbiorników BSS i w odniesieniu do satelitów GSO w celu zapewnienia odpowiedniej ochrony Planów dla służby BSS;
- c) że przy występowaniu wielu źródeł zakłóceń, których położenia znacząco zmieniają się w czasie, poziom odebranych zakłóceń niewątpliwie zależy od minimalnych i maksymalnych poziomów we wzorcu zysku poszkodowanej anteny stacji ziemskiej BSS;
- d) że dla stacji ziemskich BSS do oceny zakłóceń pochodzących z systemów NGSO FSS potrzebne są odpowiednie wzorce odniesienia promieniowania;
- e) że dla ułatwienia komputerowych symulacji zakłóceń wzorce odniesienia powinny obejmować wszystkie kąty pozaosiowe od 0° do $\pm 180^\circ$ na wszystkich płaszczyznach;
- f) że wzorce odniesienia powinny być zgodne z wynikami pomiarów przeprowadzonych na dużej liczbie konsumenckich anten stacji ziemskich BSS;
- g) że właściwe jest ustanowienie różnych wzorców odniesienia dla anten różnej wielkości;
- h) że wzorce mogą wykazywać parametry istotne dla modelowania zakłóceń NGSO, na przykład w przypadku małych anten zasilanych offsetowo,

zaleca

1 aby do obliczania zakłóceń generowanych przez satelity NGSO FSS względem anten stacji ziemskich w służbie BSS stosowano referencyjne wzorce promieniowania anteny stacji ziemskiej określone w dodatku 1;

2 aby do konwersji względnego kąta azymutu i elewacji badanego satelity NGSO na taki sam układ współrzędnych, jaki wykorzystano dla trójwymiarowego wzorca promieniowania anteny, stosowano metodę określoną w dodatku 2;

3 uznanie poniższych uwag za część niniejszego zalecenia:

UWAGA 1 – Wzorzec promieniowania dla polaryzacji ortogonalnej może mieć znaczenie w obliczeniach zakłóceń NGSO. Kwestia ta wymaga dalszych badań.

UWAGA 2 – Niniejsze zalecenie oparto na pomiarach i analizie anten parabolicznych. W przypadku opracowywania nowych anten stacji ziemskich lub rozpatrywania ich użytkowania w służbie BSS, należy odpowiednio uaktualnić wzorce odniesienia anteny przedstawione w niniejszym zaleceniu.

Dodatek 1

Wzorce odniesienia promieniowania anteny BSS

Dla $11 \leq D/\lambda \leq 25,5$

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D\varphi}{\lambda} \right)^2 \quad \text{dla} \quad 0 \leq \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{dla} \quad \varphi_m \leq \varphi < 95\lambda/D$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \lg(\varphi) \quad \text{dla} \quad 95\lambda/D \leq \varphi < 36.3^\circ$$

$$G(\varphi) = -10 \quad \text{dla} \quad 36.3^\circ \leq \varphi < 50^\circ$$

Dla $56,25^\circ \leq \theta < 123,75^\circ$

$$G(\varphi) = M_1 \cdot \lg(\varphi) - b_1 \quad \text{dla} \quad 50^\circ \leq \varphi < 90^\circ$$

$$G(\varphi) = M_2 \cdot \lg(\varphi) - b_2 \quad \text{dla} \quad 90^\circ \leq \varphi < 180^\circ$$

gdzie:

$$M_1 = \frac{2 + 8 \cdot \sin(\theta)}{\lg\left(\frac{90}{50}\right)} \quad \text{a} \quad b_1 = M_1 \cdot \lg(50) + 10$$

gdzie:

$$M_2 = \frac{-9 - 8 \cdot \sin(\theta)}{\lg\left(\frac{180}{90}\right)} \quad \text{i} \quad b_2 = M_2 \cdot \lg(180) + 17$$

Dla $0^\circ \leq \theta < 56,25^\circ$ oraz $123,75^\circ \leq \theta < 180^\circ$

$$G(\varphi) = M_3 \cdot \lg(\varphi) - b_3 \quad \text{dla} \quad 50^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = M_4 \cdot \lg(\varphi) - b_4 \quad \text{dla} \quad 120^\circ \leq \varphi < 180^\circ$$

gdzie:

$$M_3 = \frac{2 + 8 \cdot \sin(\theta)}{\lg\left(\frac{120}{50}\right)} \quad \text{a} \quad b_3 = M_3 \cdot \lg(50) + 10$$

gdzie:

$$M_4 = \frac{-9 - 8 \cdot \sin(\theta)}{\lg\left(\frac{180}{120}\right)} \quad \text{a} \quad b_4 = M_4 \cdot \lg(180) + 17$$

Dla $180^\circ \leq \theta < 360^\circ$

$$G(\varphi) = M_5 \cdot \lg(\varphi) - b_5 \quad \text{dla} \quad 50^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$

$$G(\varphi) = M_6 \cdot \lg(\varphi) - b_6 \quad \text{dla} \quad 120^\circ \leq \varphi < 180^\circ$$

gdzie:

$$M_6 = \frac{2}{\lg\left(\frac{120}{50}\right)} \quad \text{i} \quad b_5 = M_5 \cdot \lg(50) + 10$$

gdzie:

$$M_6 = \frac{-9}{\lg\left(\frac{180}{120}\right)} \quad \text{i} \quad b_6 = M_6 \cdot \lg(180) + 17$$

gdzie:

 D : średnica anteny λ : długość fali wyrażona w tej samej jednostce co średnica G : zysk φ : kąt pozaosiowy anteny względem osi promieniowania anteny (w stopniach) θ : kąt płaski anteny (w stopniach) (azymut 0° jest płaszczyzną poziomą)

$$G_{\max} = 20 \lg\left(\frac{D}{\lambda}\right) + 8,1 \quad \text{dBi}$$

$$G_1 = 29 - 25 \lg\left(95 \frac{\lambda}{D}\right) \quad \text{dBi}$$

$$\varphi_m = \frac{\lambda}{D} \sqrt{\frac{G_{\max} - G_1}{0,0025}} \quad \text{stopni}$$

Dla $25,5 < D/\lambda \leq 100$

$G(\varphi) = G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} (D\varphi/\lambda)^2$	dBi	dla	$0 < \varphi < \varphi_m$
$G(\varphi) = G_1$		dla	$\varphi_m \leq \varphi < (95\lambda/D)$
$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi$	dBi	dla	$(95\lambda/D) \leq \varphi < 33,1^\circ$
$G(\varphi) = -9$	dBi	dla	$33,1^\circ < \varphi \leq 80^\circ$
$G(\varphi) = -4$	dBi	dla	$80^\circ < \varphi \leq 120^\circ$
$G(\varphi) = -9$	dBi	dla	$120^\circ < \varphi \leq 180^\circ$

gdzie:

$$G_{\max} = 20 \lg (D/\lambda) + 8,1 \quad \text{dBi}$$

$$G_1 = 29 - 25 \lg (95\lambda/D) \quad \text{dBi}$$

$$\varphi_m = (\lambda/D) \sqrt{\frac{G_{\max} - G_1}{0,0025}}$$

Dla $D/\lambda > 100$

$$G(\varphi) = G_{\max} - 2,5 \times 10^{-3} (D\varphi/\lambda)^2 \quad \text{dBi} \quad \text{dla} \quad 0 < \varphi < \varphi_m$$

$$G(\varphi) = G_1 \quad \text{dla} \quad \varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$$

$$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{dla} \quad \varphi_r \leq \varphi < 10^\circ$$

$$G(\varphi) = 34 - 30 \lg \varphi \quad \text{dBi} \quad \text{dla} \quad 10^\circ \leq \varphi < 34,1^\circ$$

$$G(\varphi) = -12 \quad \text{dBi} \quad \text{dla} \quad 34,1^\circ \leq \varphi < 80^\circ$$

$$G(\varphi) = -7 \quad \text{dBi} \quad \text{dla} \quad 80^\circ \leq \varphi < 120^\circ$$
$$G(\varphi) = -12 \quad \text{dBi} \quad \text{dla} \quad 120^\circ \leq \varphi < 180^\circ$$

gdzie:

$$G_{max} = 20 \lg(D/\lambda) + 8,1 \quad \text{dBi}$$
$$G_1 = -1 + 15 \lg(D/\lambda) \quad \text{dBi}$$
$$\varphi_m = (\lambda/D) \sqrt{\frac{G_{max} - G_1}{0,0025}}$$
$$\varphi_r = 15,85 (D/\lambda)^{-0,6} \quad \text{stopni}$$

Dodatek 2

Konwersje danych geometrycznych celem użycia z modelem 3-D anteny

Definicja θ

θ określa się jako kąt płaski satelity NGSO względem płaszczyzny modelu anteny (odpowiadającego standardowemu zespołowi zasilającemu offsetowo zamontowanemu u dołu anteny), której kąt nachylenia wynosi zero stopni. Z punktu widzenia stacji ziemskiej linia $\theta = 0$ skierowana jest w prawo, a θ rośnie w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara.

Metoda obliczeniowa

Rysunek 1 przedstawia podejście geometryczne do obliczania kąta płaskiego θ . Wszystkie obliczenia wyrażone są w stopniach, chociaż zwykle przy obliczaniu wartości trygonometrycznych należy konwertować je na radiany.

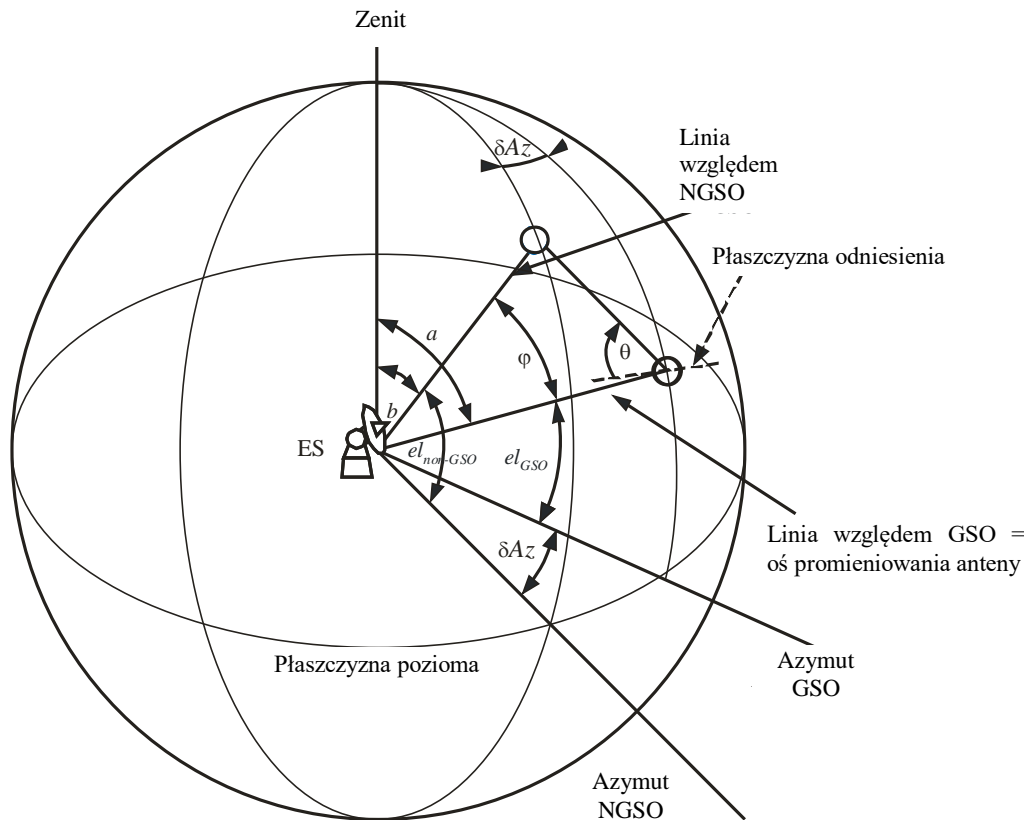
Dane wejściowe

satelita GSO	(az, el)
satelita NGSO	(az, el)

UWAGA 1 – Wymaganą wartością jest różnica w azymucie, zatem w przypadku gdy wartość ta jest dostępna, rzeczywiste azymuty nie są potrzebne.

W poniższej sekcji zaprezentowano sposób obliczania tych parametrów na podstawie wektorów każdej stacji.

RYSUNEK 1



BO.1443-01

Na podstawie rys. 1:

$$a = 90 - el_{GSO}$$

$$b = 90 - el_{NGSO}$$

$$\delta Az = Az_{NGSO} - Az_{GSO}$$

δAz powinien być tak ustawiony, aby mieścił się w zakresie $\{-180$ do $+180\}$.

Wówczas można obliczyć kąt pozaosiowy φ (topocentryczny kąt separacji między satelitami), korzystając ze wzoru z dziedziny geometrii sferycznej:

$$\cos(c) = \cos(a)\cos(b) + \sin(a)\sin(b)\cos(C)$$

przy czym $C = \delta Az$ natomiast $c = \varphi$.

Ten sam wzór można wykorzystać do określenia kąta B :

$$\cos(B) = \frac{\cos(b) - \cos(c)\cos(a)}{\sin(c)\sin(a)}$$

na podstawie którego można obliczyć kąt płaski θ :

$$\text{jeżeli } (\delta Az > 0 \text{ a } B < 90) \quad \theta = 90 - B$$

$$\text{jeżeli } (\delta Az > 0 \text{ a } B > 90) \quad \theta = 450 - B$$

$$\text{jeżeli } (\delta Az < 0) \quad \theta = 90 + B$$

W przypadku, gdy obydwa satelity położone są na tym samym azymucie czyli $\delta A_z = 0$, wówczas

$$\varphi = |el_{GSO} - el_{non-GSO}|$$

$$\text{jeżeli } el_{GSO} > el_{non-GSO} \quad \theta = 270$$

$$\text{w przeciwnym razie} \quad \theta = 90$$

Dane przykładowe

Dla następujących wartości położenia:

Stacja	Szerokość geograficzna (w stopniach)	Długość geograficzna (w stopniach)	Wysokość położenia (w km)
Stacja ziemna	10	20	0
satelita GSO	0	30	35 786,055
satelita NGSO	0	-5	1 469,200

można obliczyć następujące az/els dla stacji ziemskiej (w odniesieniu do kierunku poziomego i kierunku północnego stacji ziemskiej):

Stacja	Azymut (w stopniach)	Elewacja (w stopniach)
satelita GSO	134,5615	73,4200
satelita NGSO	-110,4248	10,0300

Zatem miary kątów pozaosiowych i kątów płaskich wynoszą:

Stacja	φ (pozaosiowy) (w stopniach)	θ (płaski) (w stopniach)
satelita NGSO	87,2425	26,69746

Obliczanie azymutu i elewacji

W sposób zaprezentowany poniżej można obliczyć azymut i elewację na podstawie określonych wektorów.

Znając:

wektor wodzący stacji ziemskiej: \underline{r}_G

wektor wodzący satelity GSO: \underline{r}_S

wektor wodzący satelity NGSO: \underline{r}_N

należy utworzyć:

wektor od stacji ziemskiej do GSO $\underline{r}_{GS} = \underline{r}_S - \underline{r}_G$

wektor od stacji ziemskiej do NGSO $\underline{r}_{GN} = \underline{r}_N - \underline{r}_G$

wektor jednostkowy o kierunku i zwrocie wektora wodzącego stacji ziemskiej $\hat{\underline{r}}_G$

Wówczas kąty elewacji wynoszą:

$$el_S = 90 - \angle(\underline{r}_{GS}, \underline{r}_G)$$

$$el_N = 90 - \angle(\underline{r}_{GN}, \underline{r}_G)$$

W celu obliczenia różnicy w azymucie, należy przekonwertować wektory od stacji ziemskiej do GSO/NGSO, tak aby znajdowały się w płaszczyźnie poziomej, która jest prostopadła do wektora zenitu, tj.

$$\underline{r}'_{GS} = \underline{r}_{GS} - (\hat{r}_G \cdot \underline{r}_{GS}) \hat{r}_G$$

$$\underline{r}'_{GN} = \underline{r}_{GN} - (\hat{r}_G \cdot \underline{r}_{GN}) \hat{r}_G$$

Wówczas:

$$\delta Az = \angle(\underline{r}'_{GS}, \underline{r}'_{GN})$$

Znak δAz będzie taki sam, jak znak różnicy w długości geograficznej położenia obu tych satelitów.

ZALECENIE ITU-R M.1583-1*

Obliczanie zakłóceń między niegeostacjonarnymi systemami służby ruchomej satelitarnej lub służby radionawigacyjnej satelitarnej a teleskopami radioastronomicznymi w miejscach ich umieszczenia

(Zagadnienie ITU-R 236/8)

(2002–2007)

Zakres

Niniejsze zalecenie określa metodę obliczania poziomu utraty danych spowodowanej zakłóceniami generowanymi przez niegeostacjonarny system w służbie ruchomej satelitarnej lub system w służbie radionawigacyjnej satelitarnej w miejscu prowadzenia działań z zakresu radioastronomii. Metoda ta opiera się na obliczeniu równoważnej gęstości strumienia mocy (epfd) wytwarzanej przez dany aktywny system w miejscu prowadzenia działań z zakresu radioastronomii.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że w niektórych przypadkach służbie radioastronomicznej i służbom kosmicznym (kosmos-Ziemia) przeznaczono sąsiednie lub pobliskie pasma częstotliwości;
- b) że służba radioastronomiczna działa w oparciu o odbiór emisji na znacznie niższych poziomach mocy, niż poziomy zazwyczaj wykorzystywane przez inne służby radiowe;
- c) że, z uwagi na wyżej wymienione niskie poziomy odbieranej mocy, służba radioastronomiczna jest zasadniczo bardziej podatna na zakłócenia spowodowane emisjami niepożądanymi niż inne służby;
- d) że, z uwagi na parametry niegeostacjonarnych systemów satelitarnych, a w szczególności biorąc pod uwagę zmienny w czasie charakter zakłóceń, poziomu zakłóceń działania radioteleskopów, wywołanych przez takie satelity, nie można określić w taki sam sposób, jak w przypadku satelitów geostacjonarnych,

zaleca

- 1** aby poziomy emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarne systemy w służbie radionawigacyjnej satelitarnej lub przez systemy w służbie ruchomej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii były wyznaczane metodą określoną w dodatku 1;
- 2** aby przy wyznaczaniu tego poziomu emisji niepożądanych anteny radioastronomiczne były konfigurowane w oparciu o charakterystykę promieniowania anteny określoną w Zaleceniu ITU-R RA.1631;
- 3** aby procent czasu, w jakim dochodzi do przekroczenia progu równoważnej gęstości strumienia mocy (epfd), również został wyznaczony metodą określoną w dodatku 2.

* Treść niniejszego zalecenia powinna zostać przekazana radiokomunikacyjnej 7 Grupie Studiów.

Dodatek 1

Obliczanie poziomów emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarne systemy w służbie radionawigacyjnej satelitarnej lub przez systemy w służbie ruchomej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii

Opisana poniżej metoda bazująca na koncepcji „równoważnej gęstości strumienia mocy” służy do obliczania poziomów gęstości strumienia mocy (pfd) powstających wskutek emisji niepożądanych wytwarzanych przez niegeostacjonarne systemy satelitarne w kierunku radioteleskopów, przy czym bierze się w niej pod uwagę zarówno parametry systemu satelitarnego, jak i parametry anteny radioteleskopu. Wartość epfd stanowi sumę wpływu wywieranego przez wszystkie emisje satelitarne wyrażonego jako gęstość strumienia mocy pochodzącego z jednego równoważnego źródła na osi promieniowania (szczyt wiązki głównej) anteny radioteleskopu.

1 Wymagane parametry

Z uwagi na specyficzne parametry niegeostacjonarnych systemów satelitarnych, poziomu zakłóceń pracy radioteleskopów, powodowanych przez takie satelity, nie można określić w taki sam sposób, jak w przypadku satelitów geostacjonarnych. Dlatego też należy przyjąć podejście statystyczne uwzględniające dynamiczny charakter satelitów niegeostacjonarnych.

Ocena poziomu wytwarzanych przez satelity zakłóceń w pracy radioteleskopu w czasie integracji (2000 s) powinna zostać przeprowadzona w oparciu o obliczenia statystyczne i powinna uwzględniać parametry zarówno satelitów, jak i radioteleskopu.

Parametry niegeostacjonarnych systemów satelitarnych:

- liczba satelitów widocznych na niebie ze stacji radioastronomicznej;
- szczegółowe parametry orbity satelitów;
- gęstość strumienia mocy promieniującego z każdego z satelitów w kierunku radioteleskopu w danym paśmie radioastronomicznym, którą można oszacować za pomocą modelu maski emisji niepożądanych.

Parametry radioteleskopu:

- lokalizacja anteny;
- charakterystyka promieniowania anteny i zysk anteny;
- praktyczny zasięg anteny w zależności od kierunku ustawienia anteny;
- kierunek promieniowania;
- kąty pozaosiowe między osią promieniowania anteny stacji radioastronomicznej a kierunkami satelitów nadawczych;
- czas integracji (2000 s).

2 Obliczanie epfd w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii

Poziom zysku z odbioru radioteleskopu ustawionego w kierunku satelity niegeostacjonarnego (w odróżnieniu od satelity geostacjonarnego) zmienia się w miarę upływu czasu, głównie z uwagi na przemieszczanie się satelity oraz drobną strukturę kątową listka bocznego radioteleskopu. W niektórych przypadkach zysk teleskopu ustawionego w kierunku satelity będzie znacznie wyższy niż 0 dBi, natomiast w innych przypadkach będzie niższy od tej wartości.

Ponadto w przypadku, gdy w skład systemu niegeostacjonarnego wchodzi więcej niż jeden satelita, należy wziąć pod uwagę i należy uwzględnić wpływ wywierany przez wszystkie satelity.

Można to zrobić, korzystając z pojęcia równoważnej gęstości strumienia mocy, które zdefiniowano pierwotnie na potrzeby oceny potencjalnych warunków współużytkowania między systemami geostacjonarnymi a systemami niegeostacjonarnymi. W poniższej sekcji pojęcie to jest rozwinięte i obejmuje również stację radioastronomiczną narażoną na zakłócenia pochodzące od satelitów niegeostacjonarnych.

2.1 Definicja *epfd*

Jeżeli antena odbiera moc, w swojej szerokości pasma odniesienia, jednocześnie z nadajników rozmieszczonych w różnej odległości i w różnych kierunkach, przy różnych poziomach odebranej *pfd*, za *epfd* uznaje się taką *pfd*, która w przypadku jej odbioru z pojedynczego nadajnika zlokalizowanego w polu dalekim anteny w kierunku maksymalnego zysku doprowadziłaby do wytworzenia takiej samej mocy na wejściu odbiornika, jak faktycznie odebrana moc wygenerowana przez zbiór różnych nadajników.

Chwilową *epfd* oblicza się za pomocą następującego wzoru:

$$epfd = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right] \quad (1)$$

gdzie:

N_a : liczba niegeostacjonarnych stacji kosmicznych widocznych z miejsca położenia radioteleskopu

i : indeks niegeostacjonarnej stacji kosmicznej, która jest brana pod uwagę

P_i : moc częstotliwości radiowej emisji niepożądanych na wejściu anteny (lub moc generowanej częstotliwości radiowej w przypadku czynnej anteny) nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym (dBW) na szerokości pasma odniesienia

θ_i : kąt pozaosiowy (w stopniach) między osią promieniowania anteny nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym a kierunkiem radioteleskopu

$G_t(\theta_i)$: zysk (jako stosunek) anteny nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym w kierunku radioteleskopu

d_i : odległość (w metrach) między stacją nadawczą znajdującą się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym a radioteleskopem

φ_i : kąt pozaosiowy (w stopniach) między kierunkiem radioteleskopu a kierunkiem nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym

$G_r(\varphi_i)$: zysk (jako stosunek) anteny odbiorczej radioteleskopu ustawionej w kierunku nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym (zob. zalecenie ITU-R RA.1631)

$G_{r,max}$: maksymalny zysk (jako stosunek) radioteleskopu

epfd: chwilowa równoważna gęstość strumienia mocy (dB(W/m²)) w szerokości pasma odniesienia radioteleskopu.

Przy obliczaniu równoważnej gęstości strumienia mocy zgodnie z równaniem (1) przyjmuje się, że gęstość strumienia mocy generowanego ze wszystkich źródeł zakłóceń jest skierowana w kierunku osi promieniowania anteny odbiorczej przy maksymalnym zysku anteny. Kryteria ochrony obiektów

wykorzystywanych w radioastronomii zostały jednak ustalone przy założeniu, że obrys anteny radioastronomicznej wynosi 0 dBi. Stosując podejście przedstawione w równaniu (1), gęstość strumienia mocy generowanego ze wszystkich źródeł zakłóceń i skierowanego w kierunku zysku anteny przyjmującej na poziomie 0 dBi można ustalić w następujący sposób:

$$epfd_{G_r=0 \text{ dBi}} = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot G_r(\varphi_i) \right] \quad (2)$$

Wartości $epfd_{G_r=0 \text{ dBi}}$ wyliczone na podstawie równania (2) i uśrednione (w formie liniowej) dla czasu integracji 2000 s mogą zostać porównane z poziomami gęstości strumienia mocy (ustalonymi przy założeniu, że zysk anteny odbiorczej ustawionej w kierunku źródła zakłóceń w danym czasie integracji wynosi 0 dBi).

UWAGA 1 – zakłada się, że każdy nadajnik znajduje się w polu dalekim radioteleskopu (tj. w odległości większej niż $2D^2/\lambda$, gdzie D stanowi efektywną średnicę radioteleskopu, a λ stanowi obserwowaną długość fali). Choć warunek ten może nie zawsze być spełniony, założenie to uznaje się za wystarczające przybliżenie.

UWAGA 2 – w przypadku niektórych teleskopów kierunek maksymalnego zysku (kierunek osi promieniowania anteny) nie zawsze może się pokrywać z osią geometryczną radioteleskopu.

UWAGA 3 – w przypadku czynnych anten powinno się przyjąć, że P_i to moc generowanej częstotliwości radiowej, nie zaś moc na wejściu anteny.

UWAGA 4 – zysk anteny stacji nadawczej $G_t(\theta_i)$ mierzy się w danym pasmie częstotliwości radioastronomicznej. Wartość ta może odbiegać od zysku mierzonego w zakresach częstotliwości planowanych transmisji.

Dodatek 2

Rozkład poziomów epfd

Niniejszy dodatek określa sposób wygenerowania danych statystycznych dotyczących epfd dla obszaru całego nieba.

1 Podział nieba na komórki o w przybliżeniu równym kącie bryłowym

Zastosowanie tego podejścia wymaga w pierwszej kolejności podzielenia nieba na M pierścieni położonych równoległe do linii horyzontu i rozmieszczonych w równej odległości pod względem kąta elewacji, od 0° do 90° . Szerokość każdego z pierścieni wynosi $90^\circ/M$. Następnie należy podzielić wspomniane pierścienie na komórki, dla których szerokość azymutu ustala się w taki sposób, aby można było uzyskać całkowitą liczbę komórek przypadających na jeden pierścień, co w przybliżeniu równa się:

$$\frac{90/M}{\cos(\text{elewacja})} \quad \text{stopni}$$

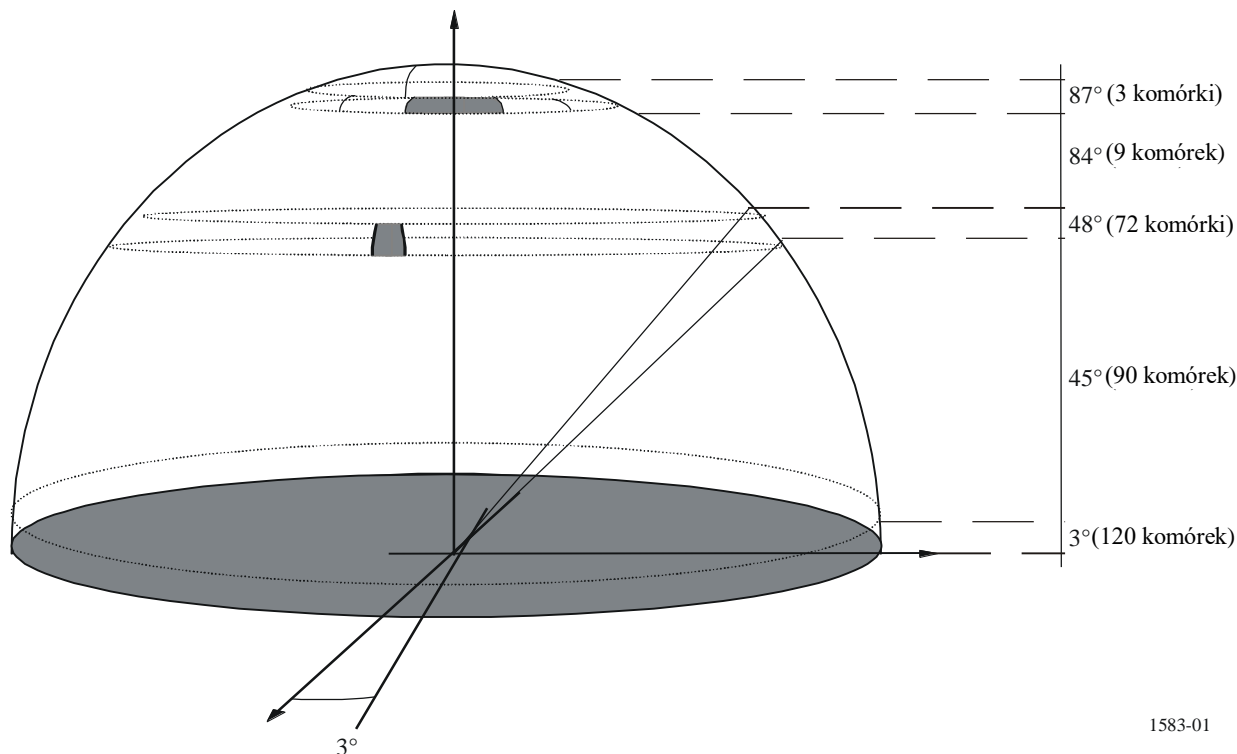
Na rys. 1 przedstawiono przykładowy podział przeprowadzony przy założeniu, że szerokość kąta elewacji wynosi 3° , w rezultacie czego niebo jest podzielone na 30 pierścieni o kącie elewacji 3° . W takim przypadku szerokość azymutu wynosi w przybliżeniu:

$$\frac{90/30}{\cos(\text{elewacja})} \quad \text{stopni}$$

Elewacja jest średnią elewacją w danym pierścieniu.

RYSUNEK 1

Przykładowy podział nieba na kwadratowe komórki o powierzchni wynoszącej około 9 stopni kwadratowych kąta bryłowego



1583-01

W rezultacie niebo zostaje podzielone na 2334 komórki, przy czym powierzchnia każdej z nich wynosi około 9 stopni kwadratowych kąta bryłowego. W tabeli 1 przedstawiono liczbę komórek przypadającą na każdy pierścień w tym przykładzie.

TABELA 1

Przykładowy podział nieba na kwadratowe komórki o powierzchni wynoszącej około 9 stopni kwadratowych kąta bryłowego

Niższa elewacja pierścienia (stopnie)	Kąt bryłowy pierścienia (stopnie kwadratowe)	Kąt bryłowy narastająco (stopnie kwadratowe)	Wartość azymutu (stopnie)	Liczba komórek w pierścieniu	Kąt bryłowy komórki (stopnie kwadratowe)	Liczba komórek narastająco	Procent kąta bryłowego (%)	Kąt bryłowy narastająco (%)
0	1 079,51	1 079,51	3	120	9,00	120	5,23	5,23
3	1 076,55	2 156,05	3	120	8,97	240	5,22	10,45
6	1 070,64	3 226,69	3	120	8,92	360	5,19	15,64
9	1 061,79	4 288,49	3	120	8,85	480	5,15	20,79
12	1 050,04	5 338,53	3	120	8,75	600	5,09	25,88
15	1 035,41	6 373,93	3	120	8,63	720	5,02	30,90
18	1 017,94	7 391,87	3	120	8,48	840	4,94	35,84
21	997,68	8 389,55	3	120	8,31	960	4,84	40,67
24	974,68	9 364,23	3	120	8,12	1 080	4,73	45,40
27	949,01	10 313,24	3	120	7,91	1 200	4,60	50,00

30	920,75	11 233,99	4	90	10,23	1 290	4,46	54,46
33	889,95	12 123,94	4	90	9,89	1 380	4,31	58,78

TABELA 1 (koniec)

Niższa elewacja pierścienia (stopnie)	Kąt bryłowy pierścienia (stopnie kwadratowe)	Kąt bryłowy narastająco (stopnie kwadratowe)	Wartość azymutu (stopnie)	Liczba komórek w pierścieniu	Kąt bryłowy komórki (stopnie kwadratowe)	Liczba komórek narastająco	Procent kąta narastająco (%)	Kąt bryłowy narastająco (%)
36	856,72	12 980,66	4	90	9,52	1 470	4,15	62,93
39	821,14	13 801,81	4	90	9,12	1 560	3,98	66,91
42	783,31	14 585,12	4	90	8,70	1 650	3,80	70,71
45	743,34	15 328,46	4	90	8,26	1 470	3,60	74,31
48	701,32	16 029,79	5	72	9,74	1 812	3,40	77,71
51	657,39	16 687,17	5	72	9,13	1 884	3,19	80,90
54	611,65	17 298,82	5	72	8,50	1 956	2,97	83,87
57	564,23	17 863,06	6	60	9,40	2 016	2,74	86,60
60	515,27	18 378,33	6	60	8,59	2 076	2,50	89,10
63	464,90	18 843,23	6	60	7,75	2 136	2,25	91,35
66	413,25	19 256,48	8	45	9,18	2 181	2,00	93,36
69	360,47	19 616,95	9	40	9,01	2 221	1,75	95,11
72	306,70	19 923,65	10	36	8,52	2 257	1,49	96,59
75	252,09	20 175,74	12	30	8,40	2 287	1,22	97,81
78	196,79	20 372,53	18	20	9,84	2 307	0,95	98,77
81	140,95	20 513,49	24	15	9,40	2 322	0,68	99,45
84	84,73	20 598,21	40	9	9,41	2 331	0,41	99,86
87	28,27	20 626,48	120	3	9,42	2 334	0,14	100,00

2 Rozkład epfd na komórkę

Po pierwsze, w drodze doboru losowego wybiera się kierunek anteny służby radioastronomicznej w ramach określonej komórki wyznaczonej na niebie zgodnie z § 1. Następnie losowo wyznacza się czas uruchomienia konstelacji. Kolejnym krokiem jest obliczenie wartości epfd dla każdej próbki w czasie integracji wynoszącym 2000 s. W dalszej kolejności oblicza się średnią epfd dla tej próby w wybranym kierunku i w wyznaczonym czasie uruchomienia konstelacji.

Działanie to przeprowadza się ponownie w celu uzyskania danych statystycznych na temat rozkładu epfd w danej komórce. Metoda ta wymaga wykonania szeregu prób, przy czym w każdej z nich oblicza się uśredniony poziom epfd w interwale integracji wynoszącym 2000 s. Im większa liczba prób, tym bardziej precyzyjny będzie rozkład. Zapewnienie odpowiedniego poziomu pewności co do prawidłowości wyników wymaga wykonania dostatecznie dużej liczby prób. W szczególności, wartość uzyskana po pomnożeniu liczby prób przez czas integracji wynoszący 2000 s powinna być znacznie większa niż okres konstelacji. Należy również zapewnić stosowanie odpowiedniej metody statystycznego doboru próby przez cały okres konstelacji. Jeżeli stwierdzono, że rozkład

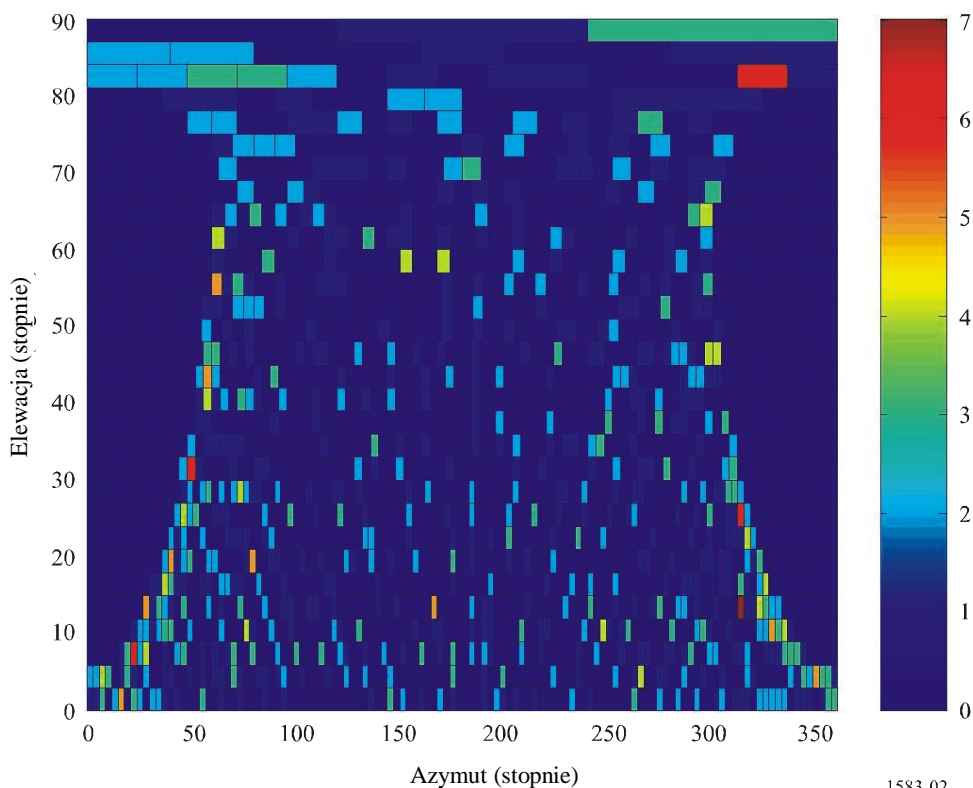
równoważnej gęstości strumienia mocy nie podlega już dalszym istotnym zmianom, można uznać, że przeprowadzono dostatecznie dużą liczbę prób. Taka kontrola może zostać przeprowadzona automatycznie, jako integralna część symulacji, albo ręcznie – w takim przypadku symulację wstrzymuje się w regularnych odstępach czasu.

3 Wyniki wyrażone jako procent utraconych danych

Metoda ustalania epfd opisana w § 2 dostarcza danych na temat rozkładu poziomów epfd w poszczególnych komórkach wyznaczonych na niebie, które można następnie porównać z wysokością progów stosowanych przy przeprowadzaniu pomiarów radioastronomicznych. Po przekroczeniu tych progów część danych radioastronomicznych zostanie utracona. Procent utraty danych definiuje się jako sumę danych utraconych we wszystkich komórkach w ramach szeregu prób. Na rys. 2 przedstawiono przykładowy rozkład utraty danych wyrażonej w procentach w poszczególnych komórkach na niebie dla konstelacji niegeostacjonarnych systemów w służbie radionawigacyjnej satelitarnej.

RYSUNEK 2

Rozkład utraty danych na niebie



ZALECENIE ITU-R S.1586-1

Obliczanie poziomów emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarny system w służbie stałej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii

(Zagadnienie ITU-R 236/4)

(2002–2007)

Zakres

Niniejsze zalecenie określa metodę, którą można posłużyć się przy obliczaniu poziomów emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarny system w służbie ruchomej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii. Przedstawiono w nim również procedurę obliczania procentu czasu, w którym dochodziło do przekroczenia danego poziomu zastępczej gęstości strumienia mocy (epfd), przy założeniu, że zysk anteny odbiorczej ustawionej w kierunku nadchodzącego zakłócenia wynosi 0 dBi, oraz biorąc pod uwagę dany czas integracji.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że w niektórych przypadkach służbie radioastronomicznej i służbom kosmicznym (kosmos-Ziemia) przeznaczono sąsiednie lub pobliskie pasma częstotliwości;
- b) że służba radioastronomiczna działa w oparciu o odbiór emisji na znacznie niższych poziomach mocy, niż poziomy zazwyczaj wykorzystywane przez inne służby radiowe;
- c) że, z uwagi na wyżej wymienione niskie poziomy odbieranej mocy, służba radioastronomiczna jest zasadniczo bardziej podatna na zakłócenia spowodowane emisjami niepożądanymi niż inne służby;
- d) że w szeregu uwag do Regulaminu Radiokomunikacyjnego (takich jak uwagi 5.149, 5.443B i 5.511A) zwraca się uwagę na ochronę służby radioastronomicznej, w szczególności przed nadajnikami rozmieszczonymi w przestrzeni kosmicznej;
- e) że, z uwagi na parametry niegeostacjonarnych systemów satelitarnych, a w szczególności biorąc pod uwagę zmienny w czasie charakter zakłóceń, poziomu zakłóceń działania radioteleskopów, wywołanych przez takie satelity, nie można określić w taki sam sposób, jak w przypadku satelitów geostacjonarnych,

zaleca

- 1 aby poziomy emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarne systemy w służbie stałej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii były obliczane przez administracje metodą określoną w dodatku 1;
- 2 aby przy przeprowadzaniu takich obliczeń anteny radioastronomiczne były konfigurowane w oparciu o charakterystykę promieniowania anteny określoną w Zaleceniu ITU-R RA.1631;
- 3 aby procent czasu, w jakim dochodzi do przekroczenia progu równoważnej gęstości strumienia mocy (epfd) (wyznaczonego przy założeniu, że zysk anteny odbiorczej ustawionej w kierunku źródła zakłóceń w danym czasie integracji wynosi 0 dBi), również mógł być obliczony metodą określoną w dodatku 2.

Dodatek 1

Obliczanie poziomów emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarny system w służbie stałej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii

Opisana poniżej metoda bazująca na pojęciu równoważnej gęstości strumienia mocy zdefiniowanym w art. 22 Regulaminu Radiokomunikacyjnego ust. 22.5C służy do obliczania poziomów gęstości strumienia mocy (pfd) powstających wskutek emisji niepożądanych wytwarzanych przez niegeostacjonarne systemy satelitarne w służbie stałej satelitarnej w kierunku radioteleskopów, przy czym bierze się w niej pod uwagę zarówno parametry systemu satelitarnego, jak i parametry anteny radioteleskopu. Wartość epfd stanowi sumę wpływu wywieranego przez wszystkie emisje satelitarne wyrażonego jako pfd pochodzącego z jednego równoważnego źródła na osi promieniowania (szczyt wiązki głównej) anteny radioteleskopu.

1 Wymagane parametry

Z uwagi na specyficzne parametry niegeostacjonarnych systemów satelitarnych poziomu zakłóceń pracy radioteleskopów, powodowanych przez satelity, nie można określić w taki sam sposób, jak w przypadku satelitów geostacjonarnych. Dlatego też należy przyjąć podejście statystyczne uwzględniające dynamiczny charakter satelitów niegeostacjonarnych.

Ocena poziomu zakłóceń wytwarzanych przez satelity zakłóceń w pracy radioteleskopu w czasie integracji (2000 s) powinna zostać przeprowadzona w oparciu o obliczenia statystyczne i powinna uwzględniać parametry zarówno satelitów, jak i radioteleskopu.

Parametry niegeostacjonarnych systemów satelitarnych:

- liczba satelitów widocznych na niebie ze stacji radioastronomicznej;
- gęstość strumienia mocy przyjmowanego przez radioteleskop w danym paśmie radioastronomicznym, którą można oszacować za pomocą maski dBsd lub dBc;
- odległość między satelitami a stacją radioastronomiczną;
- szczegółowe parametry orbity satelitów.

Parametry radioteleskopu:

- lokalizacja anteny;
- charakterystyka promieniowania anteny i zysk anteny;
- praktyczny zasięg anteny w zależności od kierunku ustawienia anteny;
- kierunek promieniowania;
- kąty pozaosiowe między osią promieniowania anteny stacji radioastronomicznej a kierunkami satelitów nadawczych;
- czas integracji (2000 s).

2 Obliczanie poziomów epfd w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii

Poziom zysku z odbioru radioteleskopu ustawionego w kierunku satelity niegeostacjonarnego (w odróżnieniu od satelity geostacjonarnego) zmienia się w miarę upływu czasu, głównie z uwagi na przemieszczanie się satelity oraz drobną strukturę kątową listka bocznego radioteleskopu. W niektórych przypadkach zysk teleskopu ustawionego w kierunku satelity będzie znacznie wyższy niż 0 dBi, natomiast w innych przypadkach będzie niższy od tej wartości.

Ponadto w przypadku, gdy w skład systemu niegeostacjonarnego wchodzi więcej niż jeden satelita, należy wziąć pod uwagę i należy uwzględnić wpływ wywierany przez wszystkie satelity.

Można to zrobić, korzystając z pojęcia *epfd*, które zdefiniowano pierwotnie na potrzeby oceny potencjalnych warunków współużytkowania między systemami GSO a systemami NGSO. W poniższej sekcji pojęcie to jest rozwinięte i obejmuje również stację radioastronomiczną narażoną na zakłócenia pochodzące od satelitów NGSO. Definicja tego pojęcia została opracowana w oparciu o ust. 22.5C Regulaminu Radiokomunikacyjnego, przyjęty przez Światową Konferencję Radiokomunikacyjną (Stambuł, 2000) (WRC 2000)

2.1 Definicja *epfd*

Jeżeli antena odbiera moc, w swojej szerokości pasma odniesienia, jednocześnie z nadajników rozmieszczonych w różnej odległości i w różnych kierunkach, przy różnych poziomach odebranej *pdf*, za *epfd* uznaje się taką *pdf*, która w przypadku jej odbioru z pojedynczego nadajnika zlokalizowanego w polu dalekim anteny w kierunku maksymalnego zysku doprowadziłaby do wytworzenia takiej samej mocy na wejściu odbiornika, jak faktycznie odebrana moc wygenerowana przez zbiór różnych nadajników

Chwilową *epfd* wyrażoną w dB (W/m^2) oblicza się za pomocą następującego wzoru:

$$epfd = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right) \quad (1)$$

gdzie:

- N_a*: liczba niegeostacjonarnych stacji kosmicznych widocznych z miejsca położenia radioteleskopu
- i*: indeks niegeostacjonarnej stacji kosmicznej, która jest brana pod uwagę
- P_i*: moc częstotliwości radiowej emisji niepożądanych na wejściu anteny (lub moc generowanej częstotliwości radiowej w przypadku czynnej anteny) nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym (dBW) na szerokości pasma odniesienia
- θ_i*: kąt pozaosiowy między osią promieniowania nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym a kierunkiem radioteleskopu
- G_t(θ_i)*: zysk (jako stosunek) anteny stacji nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym w kierunku radioteleskopu
- d_i*: odległość (w metrach) między stacją nadawczą znajdującą się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym a radioteleskopem
- φ_i*: kąt pozaosiowy między kierunkiem radioteleskopu a kierunkiem nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym
- G_r(φ_i)*: zysk (jako stosunek) anteny odbiorczej radioteleskopu ustawionej w kierunku nadawczej stacji kosmicznej znajdującej się w niegeostacjonarnym systemie satelitarnym (zob. Zalecenie ITU-R RA.1631)
- G_{r,max}*: maksymalny zysk (jako stosunek) radioteleskopu
- epfd*: chwilowa *epfd* (dB(W/m^2)) w szerokości pasma odniesienia radioteleskopu.

Przy obliczaniu $epfd$ zgodnie z równaniem (1) przyjmuje się, że pdf generowanego ze wszystkich źródeł zakłóceń jest skierowana w kierunku osi promieniowania anteny odbiorczej przy maksymalnym zysku anteny. Kryteria ochrony obiektów wykorzystywanych w radioastronomii zostały ustalone przy założeniu, że obrys anteny radioastronomicznej wynosi 0 dBi. Gęstość strumienia mocy generowanego ze wszystkich źródeł zakłóceń i skierowanego w kierunku zysku anteny przyjmującej na poziomie 0 dBi można ustalić w następujący sposób:

- z równania (1), chwilową $epfd$ w kierunku anteny odbiorczej przy zysku na poziomie 0 dBi można ustalić w następujący sposób:

$$epfd_{G_r=0\text{dBi}} = \left(\sum_{i=1}^{N_a} 10^{10} \cdot \frac{P_i}{4\pi d_i^2} \cdot G_t(\theta_i) \cdot G_r(\varphi_i) \right) \quad (2)$$

- wartości chwilowe $epfd$ $G_r = 0$ dBi wynikające z równania (2) i uśrednione dla czasu integracji 2000 s można porównać z poziomami pdf , również wyrażonymi w (W/m^2) (ustalonymi przy założeniu, że zysk anteny odbiorczej ustawionej w kierunku źródła zakłóceń w danym czasie integracji wynosi 0 dBi).

UWAGA 1 – przyjmuje się, że każdy nadajnik znajduje się w polu dalekim radioteleskopu (tj. w odległości większej niż $2D^2/\lambda$, gdzie D stanowi efektywną średnicę radioteleskopu, a λ stanowi obserwowaną długość fali). Choć warunek ten może nie zawsze być spełniony, założenie to uznaje się za wystarczające przybliżenie.

UWAGA 2 – w przypadku niektórych teleskopów kierunek maksymalnego zysku (kierunek osi promieniowania anteny) może nie zawsze pokrywać się z osią geometryczną radioteleskopu.

UWAGA 3 – w przypadku czynnych anten powinno się przyjąć, że P_i to moc generowanej częstotliwości radiowej, nie zaś moc na wejściu anteny.

UWAGA 4 – zysk anteny stacji nadawczej, $G_t(\theta_i)$, mierzy się w danym pasmie częstotliwości radioastronomicznej. Wartość ta może się różnić od zysku mierzonego w zakresach częstotliwości zamierzonych transmisji.

Dodatek 2

Rozkład poziomów $epfd$

Niniejszy dodatek określa sposób wygenerowania danych statystycznych dotyczących $epfd$ dla obszaru całego nieba.

1 Podział nieba na komórki o w przybliżeniu równym kącie bryłowym

Zastosowanie tego podejścia wymaga w pierwszej kolejności podzielenia nieba na M pierścieni położonych równoległe do linii horyzontu i rozmieszczonych w równej odległości pod względem kąta elewacji, od 0° do 90° . Szerokość każdego z pierścieni wynosi $90^\circ/M$. Następnie należy podzielić wspomniane pierścienie na komórki, dla których szerokość azymutu ustala się w taki sposób, aby można było uzyskać całkowitą liczbę komórek przypadających na jeden pierścień, co w przybliżeniu równa się:

$$\frac{90/M}{\cos(\text{elewacja})} \quad \text{stopni}$$

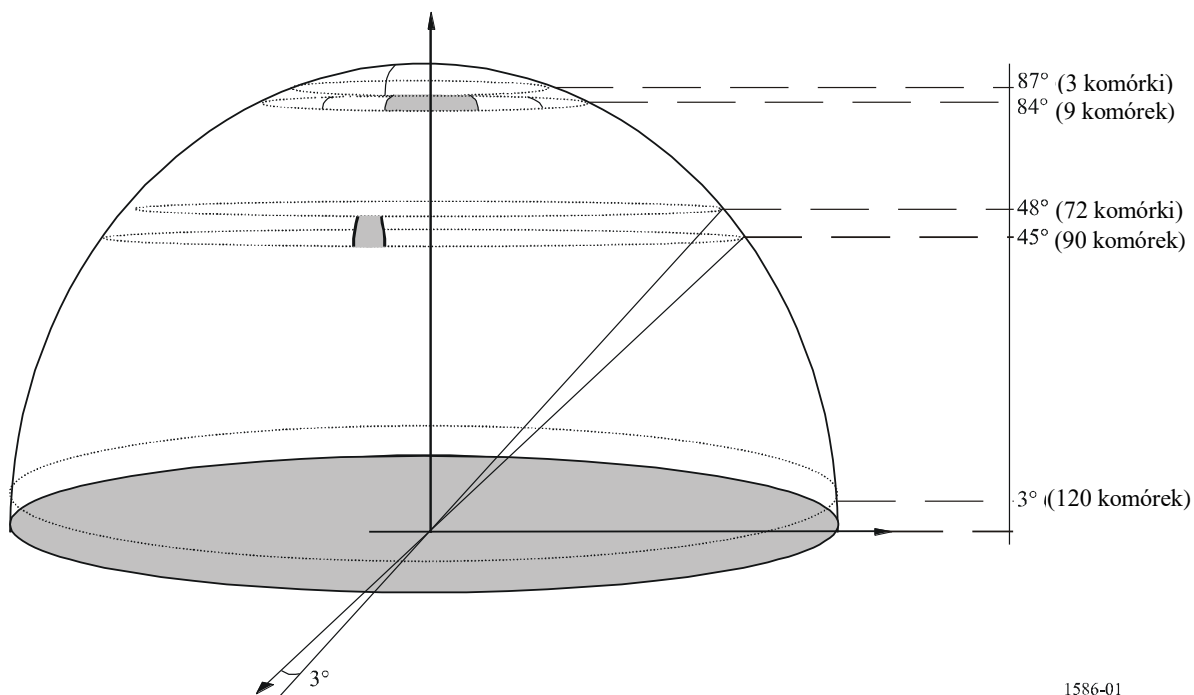
Na rys. 1 przedstawiono przykładowy podział przeprowadzony przy założeniu, że szerokość kąta elewacji wynosi 3° , w rezultacie czego niebo jest podzielone na 30 pierścieni o kącie elewacji 3° . W takim przypadku szerokość azymutu w przybliżeniu równa się:

$$\frac{90/30}{\cos(\text{elewacja})} \quad \text{stopni}$$

Elewacja jest średnią elewacją w danym pierścieniu.

RYSUNEK 1

Przykładowy podział nieba na kwadratowe komórki o powierzchni wynoszącej około 9 stopni kwadratowych kąta bryłowego



1586-01

W rezultacie niebo zostaje podzielone na 2334 komórki, przy czym powierzchnia każdej z nich wynosi około 9 stopni kwadratowych kąta bryłowego. W tabeli 1 przedstawiono liczbę komórek przypadającą na każdy pierścień w tym przykładzie.

TABELA 1

Przykładowy podział nieba na kwadratowe komórki o powierzchni wynoszącej około 9 stopni kwadratowych kąta bryłowego

Niższa elewacja pierścienia (stopnie)	Kąt bryłowy pierścienia (stopnie kwadratowe)	Wartość kąta bryłowego narastająco (stopnie kwadratowe)	Wartość azymutu (stopnie)	Liczba komórek w pierścieniu	Kąt bryłowy komórki (stopnie kwadratowe)	Liczba komórek narastająco	Procent kąta bryłowego (%)	Wartość kąta bryłowego narastająco (%)
0	1 079,51	1 079,51	3	120	9	120	5,23	5,23
3	1 076,55	2 156,05	3	120	8,97	240	5,22	10,45
6	1 070,64	3 226,69	3	120	8,92	360	5,19	15,64
9	1 061,79	4 288,49	3	120	8,85	480	5,15	20,79
12	1 050,04	5 338,53	3	120	8,75	600	5,09	25,88
15	1 035,41	6 373,93	3	120	8,63	720	5,02	30,90
18	1 017,94	7 391,87	3	120	8,48	840	4,94	35,84
21	997,68	8 389,55	3	120	8,31	960	4,84	40,67
24	974,68	9 364,23	3	120	8,12	1 080	4,73	45,40
27	949,01	10 313,24	3	120	7,91	1 200	4,60	50
30	920,75	11 233,99	4	90	10,23	1 290	4,46	54,46
33	889,95	12 123,94	4	90	9,89	1 380	4,31	58,78
36	856,72	12 980,66	4	90	9,52	1 470	4,15	62,93
39	821,14	13 801,81	4	90	9,12	1 560	3,98	66,91
42	783,31	14 585,12	4	90	8,70	1 650	3,80	70,71
45	743,34	15 328,46	4	90	8,26	1 740	3,60	74,31
48	701,32	16 029,79	5	72	9,74	1 812	3,40	77,71
51	657,39	16 687,17	5	72	9,13	1 884	3,19	80,90
54	611,65	17 298,82	5	72	8,50	1 956	2,97	83,87
57	564,23	17 863,06	6	60	9,40	2 016	2,74	86,60
60	515,27	18 378,33	6	60	8,59	2 076	2,50	89,10
63	464,90	18 843,23	6	60	7,75	2 136	2,25	91,35
66	413,25	19 256,48	8	45	9,18	2 181	2,00	93,36
69	360,47	19 616,95	9	40	9,01	2 221	1,75	95,11
72	306,70	19 923,65	10	36	8,52	2 257	1,49	96,59
75	252,09	20 175,74	12	30	8,40	2 287	1,22	97,81
78	196,79	20 372,53	18	20	9,84	2 307	0,95	98,77
81	140,95	20 513,49	24	15	9,40	2 322	0,68	99,45
84	84,73	20 598,21	40	9	9,41	2 331	0,41	99,86
87	28,27	20 626,48	120	3	9,42	2 334	0,14	100

2 Rozkład epfd na komórkę

Po pierwsze, w drodze doboru losowego wybiera się kierunek anteny służby radioastronomicznej w ramach określonej komórki wyznaczonej na niebie zgodnie z punktem 1 powyżej. Następnie losowo wyznacza się czas uruchomienia konstelacji. Kolejnym krokiem jest obliczenie wartości epfd dla

każdej próbki w czasie integracji wynoszącym 2000 s. W dalszej kolejności oblicza się średnią $epfd$ dla tej próby w wybranym kierunku i w wyznaczonym czasie uruchomienia konstelacji.

Działanie to przeprowadza się ponownie w celu uzyskania danych statystycznych na temat rozkładu $epfd$ w danej komórce. Opisaną metodę stosuje się w odniesieniu do szeregu prób, przy czym dla każdej z nich średni poziom $epfd$ oblicza się w czasie integracji wynoszącym 2000 s. Im większa liczba prób, tym bardziej precyzyjny będzie rozkład. Zapewnienie odpowiedniego poziomu pewności co do prawidłowości wyników wymaga wykonania dostatecznie dużej liczby prób. W szczególności wartość uzyskana po pomnożeniu liczby prób przez czas integracji wynoszący 2000 s powinna być znacznie większa niż okres konstelacji. Należy również zapewnić stosowanie odpowiedniej metody statystycznego doboru próby przez cały okres konstelacji. Jeżeli stwierdzono, że rozkład równoważnej gęstości strumienia mocy nie podlega już dalszym istotnym zmianom, można uznać, że przeprowadzono dostatecznie dużą liczbę prób. Taka kontrola może zostać przeprowadzona automatycznie, jako integralna część symulacji, albo ręcznie – w takim przypadku symulację wstrzymuje się w regularnych odstępach czasu.

3 Rozkład $epfd$ w najmniej korzystnych kierunkach (obliczany wyłącznie w przypadku, gdy poziomy pfd generowanej przez satelity są stałe dla danego kąta elewacji anteny służby radioastronomicznej)

Ocenę rozkładu $epfd$ w komórkach na niebie można uprościć, oceniając w pierwszej kolejności rozkład $epfd$ w najmniej korzystnych kierunkach. Za najmniej korzystne kierunki można uznać te kierunki, na których istnieje największe prawdopodobieństwo widoczności satelitów. Takie kierunki można wyznaczyć zgodnie z Zaleceniem ITU-R S.1257 – Analityczna metoda obliczania krótkoterminowej widoczności i danych statystycznych dotyczących zakłóceń stosowana w odniesieniu do satelitów niegeostacjonarnych widocznych z powierzchni Ziemi (równania (28) i (29)). Dla danego kąta elewacji i danej konstelacji satelitów niegeostacjonarnych w niniejszym zaleceniu dopuszcza się możliwość obliczenia najmniej korzystnych azymutów (dla danego kąta elewacji można zazwyczaj wyznaczyć dwa najmniej korzystne azymuty).

Dla komórek, przez które przebiegają najmniej korzystne kierunki, rozkład $epfd$ można ocenić dla wystarczającej liczby powtórzeń czasu integracji wynoszącego 2000 s. Następnie, rozkład $epfd$ można porównać z progiem pfd (ustalonym przy założeniu, że zysk anteny odbiorczej ustawionej w kierunku źródła zakłóceń w czasie integracji wynoszącym 2000 s wynosi 0 dBi).

Dla danej komórki procent czasu, w jakim dochodzi do przekroczenia progu pfd , można obliczyć jako procent okresów integracji o długości 2000 s, w których średni poziom pfd odegranego przez radioteleskop przekracza wartość progu pfd .

Biorąc pod uwagę kryterium 2% ustanowione w *zaleceniu 2* Zalecenia ITU-R RA.1513, porównanie rozkładu $epfd$ z progiem pfd w komórkach, przez które przebiegają najmniej korzystne kierunki, można sformułować następujące wnioski:

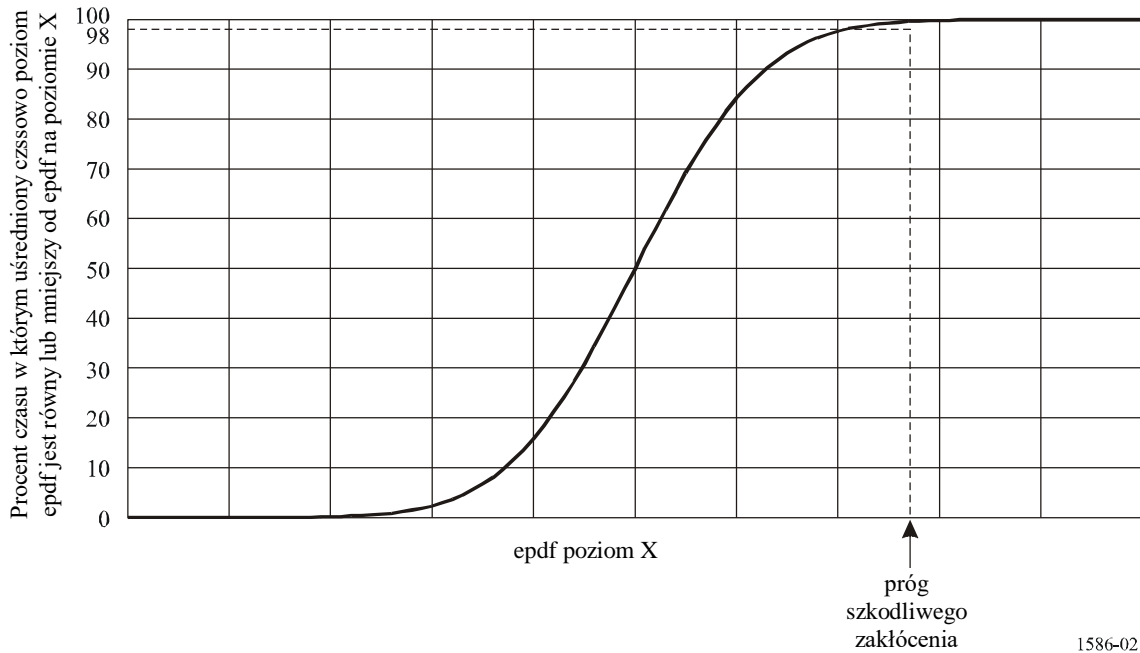
- jeżeli we wszystkich pierścieniach M uśredniony czasowo poziom $epfd$ na najmniej korzystnych kierunkach jest mniejszy lub równy progowi szkodliwego zakłócenia przez co najmniej 98% czasu (zob. rys. 2), kryteria unikania szkodliwego zakłócenia uznaje się za spełnione dla obszaru całego nieba;
- jeżeli w pierścieniu wyznaczonym dla danego kąta elewacji uśredniony czasowo poziom $epfd$ na najmniej korzystnych kierunkach jest mniejszy lub równy progowi szkodliwego zakłócenia przez co najmniej 98% czasu (zob. rys. 2), kryteria unikania szkodliwego zakłócenia uznaje się za spełnione dla całego takiego pierścienia;
- jeżeli kryteria dotyczące zakłóceń nie zostaną spełnione, należy przeprowadzić dalsze badania.

Rozważenie najmniej korzystnych kierunków pozwala uzyskać informacje na temat rozmieszczenia najmniej korzystnych komórek.

4 Wyniki wyrażone jako rozkład epdf

Metoda ustalania epdf określona w § 2 dostarcza danych na temat rozkładu poziomów epdf w poszczególnych komórkach wyznaczonych na niebie, jak przedstawiono na rys. 2.

RYSUNEK 2
Przykład dystrybuanty epdf dla komórki



1586-02

ZALECENIE ITU-R F.1613-0^{*,**}

**Wymogi operacyjne i wymogi w zakresie uruchamiania stałych
beprzewodowych systemów dostępowych w służbie stałej w Regionie 3 w celu
zapewnienia ochrony systemów w służbie satelitarnych badań Ziemi
(aktywnych) i badań kosmosu (aktywnych)
w zakresie częstotliwości 5 250–5 350 MHz**

(Zagadnienia ITU-R 113/9 i 218/7)

(2003)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że zakres częstotliwości 5 250–5 350 MHz przeznaczono dla służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i dla służby badań kosmosu (aktywnych) w odniesieniu do aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej oraz dla służby radiolokalizacyjnej na prawach pierwszej ważności;
- b) że przeznaczenia w zakresie częstotliwości 5 250–5 350 zostaną zweryfikowane przez WRC-03 w ramach punktu 1.5 porządku obrad w celu przypisania tego zakresu służbie stałej w Regionie 3 na prawach pierwszej ważności;
- c) że niektóre administracje w Regionie 3 zaproponowały, aby stałe bezprzewodowe systemy dostępowe (FWA) w służbie stałej posiadające licencję użytkowały zakres 5 250-5 350 MHz;
- d) że wspomniane systemy FWA pracujące na zewnątrz mogą powodować niedopuszczalne zakłócenia w pracy służby satelitarnych badań Ziemi i służby badań kosmosu (aktywnych) użytkujących wspomniany zakres;
- e) potrzebę określenia wymogów operacyjnych i wymogów w zakresie uruchamiania systemów FWA w Regionie 3 w celu ochrony systemów aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej.

* Zalecenie to zostało przygotowane wspólnie przez radiokomunikacyjne Grupy Studiów 7 i 9 i wszystkie przyszłe przeglądy tego zalecenia również powinny być przeprowadzane wspólnie.

** Treść niniejszego zalecenia powinna zostać przekazana pod uwagę radiokomunikacyjnym Grupom Studiów 7 i 8.

zauważając

a) że zakłócenia w pracy systemów FWA, których parametry określono w dodatku 1, wywołane przez systemy służby satelitarnych badań Ziemi i służby badań kosmosu (aktywnych) uznaje się za dopuszczalne,

uznając

a) że jednoczesna praca na współużytkowanym zasięgu i współużytkowanej częstotliwości utrudnia działanie systemów FWA i innych rodzajów bezprzewodowych systemów dostępowych (w tym lokalnych sieci radiowych (RLAN)),

zaleca

1 by zagregowane zakłócenia wywołane przez systemy FWA (suma kierunkowej e.i.r.p. w kierunku satelity); były mniejsze niż $-7,6$ dB(W/20 MHz) na powierzchni Ziemi w obszarze pokrycia (footprint) aktywnych sensorów satelity służby satelitarnych badań Ziemi/służby badań kosmosu (zob. Uwagi 1, 2 i 3);

2 stosowanie metody określonej w dodatku 1 w celu oceny poziomu zagregowanych zakłóceń wywołanych przez systemy FWA;

3 dopuszczenie w obszarze pokrycia (footprint) aktywnego sensora satelitarnego maksymalnej gęstości 23 stacji bazowych FWA na 220 km², na podstawie parametrów systemów FWA określonych w tabeli 4 dla Regionu 3. Zmiana maksymalnej e.i.r.p., charakterystyki promieniowania anteny i planowania częstotliwości oznaczałoby zmianę maksymalnej dozwolonej gęstości stacji bazowych FWA;

4 maksymalną e.i.r.p. każdej stacji FWA nie większą niż 3 dB(W/20 MHz) (zob. Uwagi 4 i 5);

5 aby administracje prowadziły kontrole tych systemów w celu zapewnienia spełnienia wymogów w zakresie uruchamiania systemów FWA określonych w powyższych *zaleceniach*.

UWAGA 1 – Dany poziom zagregowanych zakłóceń uzyskuje się na podstawie progu zakłóceń – w wysokości $132,35$ dB(W/20 MHz) na odbiornikach satelity określonych dla SAR4 w tabeli 5.

UWAGA 2 – Obszar pokrycia (footprint) aktywnych sensorów satelity służby satelitarnych badań Ziemi/służby badań kosmosu, o których mowa w niniejszym zaleceniu, obejmuje około 220 km².

UWAGA 3 – Zagregowane zakłócenia wywołane przez systemy FWA w kierunku satelity umieszczonego w przestrzeni kosmicznej, posiadającego aktywne sensory, zależą od takich parametrów jak moc transmitowania systemów FWA, kierunkowość anteny i liczba stacji bazowych FWA użytkujących ten sam kanał częstotliwości radiowej w obszarze oświetlenia aktywnego sensora satelitarnego.

UWAGA 4 – Jeżeli kierunek wiązki głównej wynosi powyżej 10° w elewacji, zaleca się e.i.r.p. mniejszą o 6 dB tj. maksymalną e.i.r.p. w wysokości -3 dB(W/20 MHz).

UWAGA 5 – Zaleca się kontrolę kierunku anten stacji FWA, aby uniknąć przypadkowego bezpośredniego oświetlenia satelity spowodowanego niewłaściwym kierunkiem anteny np. stacja zdalna nieskierowana w stronę stacji bazowej.

UWAGA 6 – Zaleca się opracowanie dodatkowych wytycznych w celu ułatwienia stosowania niniejszego zalecenia. Niniejsza kwestia wymaga przeprowadzenia dalszych badań.

Dodatek 1

Współużytkowanie częstotliwości między systemami FWA a systemami aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i służbie badań kosmosu (aktywnych) w zakresie 5 250–5 350 MHz

1 Wprowadzenie

Zakres częstotliwości 5 250–5 350 MHz uznaje się za odpowiedni dla systemów FWA w służbie stałej do zapewniania szybkiego internetu lub innych usług aplikacji multimedialnych. Ze względu na fakt, że ten zakres częstotliwości w Regulaminie Radiokomunikacyjnym ITU przeznaczony jest dla służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i służby badań kosmosu (aktywnych) na poziomie światowym, należy określić możliwość współużytkowania między systemami FWA a systemami w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i służbie badań kosmosu (aktywnych).

W tym zakresie częstotliwości pracują różne rodzaje umieszczonych w przestrzeni kosmicznej radarów z aperturą syntetyczną (SAR), radiowysokościomierzy i systemów skaterometrów w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i służbie badań kosmosu (aktywnych).

W niniejszym dodatku rozważa się kwestię współużytkowania między systemami FWA a aktywnymi sensorami umieszczonymi w przestrzeni kosmicznej, wykorzystując typowe parametry systemowe, które są obecnie dostępne lub są rozważane w fazie rozwojowej.

2 Parametry techniczne aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej

Parametry techniczne aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej w zakresie 5 250–5 350 MHz określono w tabelach 1–3.

TABELA 1

Parametry typowego systemu SAR w przestrzeni kosmicznej, w paśmie 5,3 GHz

Parametr	Wartość		
	SAR2	SAR3	SAR4
Wysokość orbity (km)	600 (kolista)	400 (kolista)	
Nachylenie orbity (w stopniach)	57		
Radiowa częstotliwość środkowa (MHz)	5 405	5 305	5 300
Szczytowa moc promieniowania (W)	4 800	1 700	
Polaryzacja	Pozioma i pionowa (HH, HV, VH, VV)		
Modulacja impulsowa	Liniowy sygnał świergotowy FM		
Szerokość pasma impulsu (MHz)	310		40
Czas trwania impulsu (μ s)	31	33	

TABELA 1 (koniec)

Parametr	Wartość		
	SAR2	SAR3	SAR4
Prędkość powtarzania impulsu (pps)	4 492	1 395	
Cykl pracy (%)	13,9	5,9	
Stosunek kompresji zakresu	9 610	10 230	1 320
Typ anteny (m)	Płaszczyznowy szyk fazowany 1,8 × 3,8	Płaszczyznowy szyk fazowany 0,7 × 12,0	
Szczytowy zysk anteny (dBi)	42,9	42,7/38 (pełne skupienie/zakłócanie wiązki)	
Średni zysk listka bocznego anteny (dBi)	-5		
Orientacja anteny (w stopniach)	20–38 od nadiru	20–55 od nadiru	
Szerokość wiązki anteny	1,7 (El), 0,78 (Az)	4,9/18 (El), 0,25 (Az)	
Polaryzacja anteny	liniowa pozioma/pionowa		
Współczynnik szumów odbiornika (dB)	4,62		
Punkt kompresji 1 dB odbiornika front-end w odniesieniu do wejścia odbiornika	-moc wejściowa 62 dBW		
Maksymalna moc obsługi wejścia odbiornika (dBW)	+7		
Czas funkcjonowania	30% orbity		
Minimalny czas tworzenia obrazów (s)	15		
Obszar obsługiwany	Łąd i obszary nadbrzeżne		
Obszar szerokości powierzchni	20	16/320	
Obszar pokrycia (footprint) (km ²)	159,03	76,5	76,5–220
Szerokość pasma odbiornika (MHz)	356,5		46,00
Próg zakłóceń (dB)	I/N = -6		

TABELA 2

Parametry typowego wysokościomierza w przestrzeni kosmicznej w paśmie 5,3 GHz

Parametry dotyczące misji Jazona (Jason mission)	
Czas trwania	5 lat
Wysokość (km)	1 347 ± 15
Nachylenie (w stopniach)	66
Parametry wysokościomierza Poseidon 2	
Rodzaj sygnału	Liniowa modulacja częstotliwości sygnału świergotowego
Częstotliwość powtarzania impulsów w paśmie C	300
Czas trwania impulsu (μs)	105,6
Częstotliwość nośna (GHz)	5,3
Szerokość pasma (MHz)	320
Szczytowa moc emisji radiowej (W)	17
Średnia moc emisji radiowej (W)	0,54
Zysk anteny (dBi)	32,2
Apertura 3 dB (w stopniach)	3,4
Poziom listka bocznego/maksymalny (dB)	-20
Poziom tylnego listka bocznego/maksymalny (dB)	-40
Obszar pokrycia (footprint) wiązki na poziomie -3 dB (km)	77
Próg zakłóceń (dBW)	-118

TABELA 3

Parametry typowego skaterometru w przestrzeni kosmicznej w paśmie 5,3 GHz

Parametr		TABELA 3 (koniec)			
		Skaterometr 1		Skaterometr 2	
Wartość					
Nazwa systemu		Skaterometr 1		Skaterometr 2	
Parametr				Wartość	
Wysokość orbity (km)		780		800	
Zysk anteny (dBi)		31 (środkowy)		28,5 (środkowy)	
Nachylenie (w stopniach)		32,5 (przedni/tylny)		29,5 (przedni/tylny)	
Częstotliwość środkowa (GHz)		5,3		5,255	
Orientacja wiązki głównej anteny (w stopniach)		Kąty padania:		Kąty padania:	
Szerokość impulsu		70 μs (środkowy)		8 ms (środkowy)	
		130 μs (przedni/tylny)		10,1 ms (przedni/tylny)	
Modulacja		Zakłócona fala ciągła		Linijowy sygnał	
Szerokość wiązki anteny (–3 dB) elewacja (w stopniach)		24 (środkowy)		23,9 (środkowy)	
		26 (przedni/tylny)		23,9 (przedni/tylny)	
Szerokość pasma nadajnika (kHz)		y		y	
Szerokość wiązki anteny w azymucie (w stopniach)		1,3 15		1,1500	
Częstotliwość powtarzania impulsów (Hz)		115 (środkowy)		29,4 37,6	
Kąt elewacji powtarzania impulsów (w stopniach)		98 (przedni/tylny)			
Typ anteny		Antena falowodowa szczelinowa			
Polaryzacja anteny		Pionowa			
Szczytowa moc nadajnika		4,8 kW		120 W	
Współczynnik szumów odbiornika (dB)		3			
Obszar obsługiwany		Obszar oceaniczny i obszary nadbrzeżne, obszar lądowy			
Próg zakłóceń (dB(W/Hz))		–207			

3 Cechy techniczne systemów FWA

Należy uzgodnić parametry techniczne systemów FWA, aby spełniały zarówno wymogi dotyczące szybkich usług internetowych, jak i kryteria współużytkowania z innymi służbami.

W przypadku gdy systemy FWA pracują w zakresie 5 250–5 350 MHz należy uwzględnić następujące punkty:

- systemy FWA składają się ze stacji bazowej i wielu stacji zdalnie sterowanych w obrębie obsługiwanego obszaru tj. komórki. Zakłada się, że wszystkie stacje zdalnie sterowane komunikują się ze stacją bazową jedynie w wyznaczonym przedziale czasowym (w przypadku wielodostępu z podziałem czasowym (TDMA)) lub w dostępnych terminach (w przypadku wielodostępu do łącza danych (CSMA)). Oznacza to, że w ramach komórki tylko jedna stacja nadaje sygnał w danym momencie. W związku z tym gęstość rozmieszczenia (na km²) stacji bazowych systemów FWA wpłynie na zakłócenia w pracy stacji satelitarnej z aktywnymi sensorami, umieszczonej w przestrzeni kosmicznej;
- istotna jest kierunkowość anteny dla wysokiego kąta elewacji. Jeżeli antena na stacjach systemów FWA posiada wystarczającą dyskryminację zwykłą, moc zakłócenia zostanie odpowiednio stłumiona;

- współczynnik aktywny grupy nadajników FWA w komórce może wynieść 100% w najbardziej pesymistycznym scenariuszu;
- licencjonowane środki będą wymagane w celu kontrolowania gęstości rozmieszczenia systemów FWA.

Mając na uwadze wyżej wspomniane cechy, za przykładowe parametry techniczne systemów FWA na potrzeby badań wstępnych określonych w niniejszym dodatku uznaje się parametry przedstawione w tabeli 4.

Parametry wybrane podczas tej analizy są parametrami, które spowodowałyby największe zakłócenia w pracy wąskopasmowego odbiornika systemu SAR. W przypadku tego rodzaju systemu FWA, jeżeli oś promieniowania anteny jest skierowana w przybliżeniu wzdłuż horyzontu dla połączenia punkt-wiele punktów, kąt między osią promieniowania staje się kątem elewacji. Między kątami nadiru od 20° do 55°, kąty elewacji stacji FWA skierowane w stronę pokładowego systemu SAR wahają się od 69° do 30°.

TABELA 4

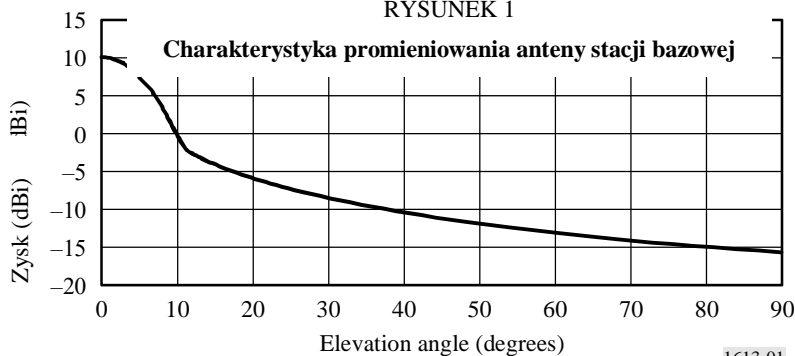
Parametry techniczne systemów FWA w paśmie 5,3 GHz

	Stacja bazowa	Stacja zdalna
Zakres częstotliwości (MHz)	5 250–5 350	
Tryb operacyjny	Punkt-wiele punktów	
Promień komórki (km)	1–2	
Maksymalna transmitowana zastępcza moc promieniowania izotropowo/moc (W)	2/0,2	2/0,063
Zysk anteny/ parametry	10 dBi/ Zalecenie ITU-R F.1336 Charakterystyka dookólna ($k = 0$) (Rys. 1)	15 dBi/ Zalecenie ITU-R F.1336 Nisko-kosztowa antena dająca niski zysk (Rys. 2)
Szerokość pasma (MHz)	20	
Współczynnik szumów odbiornika (dB)	8	
Próg zakłóceń	$I/N = -6$ dB lub $-128,8$ dB(W/20 MHz)	
Polaryzacja	Pionowa lub pozioma	
Współczynnik aktywny (%)	90	10

FIGURE 1

Base station antenna pattern

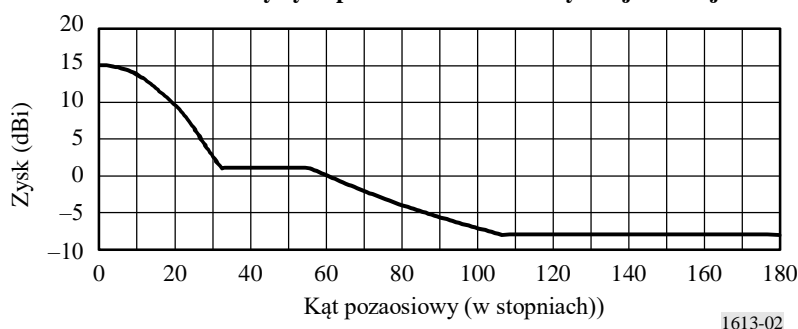
RYSUNEK 1



Kąt elewacji (w stopniach)

RYSUNEK 2

Charakterystyka promieniowania anteny stacji zdalnej



Kąt pozaosiowy (w stopniach))

4 Współużytkowanie częstotliwości między aktywnymi sensorami umieszczonymi w przestrzeni kosmicznej a systemami FWA

4.1 Współużytkowanie między systemem SAR a systemem FWA

4.1.1 Zakłócenia w pracy SAR wywołane przez FWA

W tabeli 5 przedstawiono wyniki obliczeń dotyczących zakłóceń w pracy SAR4 o parametrach określonych w tabeli 1, wywołanych przez system FWA o parametrach określonych w tabeli 4. Mimo że SAR2, SAR3 i SAR4 zapewniają równoważny próg zakłócenia przypadający na MHz, analiza w dalszym ciągu dotyczy SAR4, jeżeli chodzi o najbardziej surowy wymóg dotyczący wartości bezwzględnej. Przy obliczaniu poziomu zakłócenia, uwzględnia się efekt listka bocznego anteny FWA oraz efekt rozpraszania na powierzchni/budynku. Jeżeli chodzi o zakłócenia listka bocznego wywołane przez stacje zdalnie sterowane, oblicza się średnią e.i.r.p. w kierunku satelity z wszystkich stacji zdalnie sterowanych otaczających stację bazową (zob. załącznik 1 do dodatku 1). Należy zauważyć, że współczynnik wielokrotnego użytkowania częstotliwości 4 określono w tabeli 5.

Poziom rozproszona powierzchnia lub ewentualne rozproszenie z pobliskich budynków będzie możliwym źródłem zakłóceń. Zależy to od obszaru, na którym uruchomiono te systemy oraz od wysokości na jakiej będą umieszczone (górną lub boczną część budynków) itd. Można założyć, że systemy FWA są obecne na obszarach miejskich o wysokim zagęszczeniu, gdzie teoretycznie nastąpi rozproszenie szerokiej gamy obiektów, tak więc oprócz powierzchni rozpraszania konieczne będzie uwzględnienie tych innych przypadków. W szczególności można przewidzieć powstanie nowoczesnych biurowców, zbudowanych z metalu, gdzie nie można wykluczyć wystąpienia wysokiej odbijalności w kierunku sensora. Najbardziej pesymistyczny scenariusz zakłada, że

współczynnik rozproszenia wyniesie -18 dB. Konieczne może być przeprowadzenie badań na potwierdzenie tego założenia.

Powyższa analiza opiera się na hipotezie posiadania jedynie nadajników FWA, niekorzystających z anten sektorowych. Obecność anten sektorowych pogorszyłaby sytuację współużytkowania związaną z rozpraszaniem.

Wyniki wskazują, że komórki FWA mogą być kontrolowane w obszarze oświetlenia (footprint) SAR4 o wielkości 220 km², podczas gdy zakłócenie w pracy odbiornika satelity SAR jest mniejsze niż dopuszczalny poziom. Jeżeli parametry stałych bezprzewodowych systemów dostępowych różnią się od tych wymienionych w tabeli 4, uwzględniając przypadek, gdy anteny sektorowe umieszczone są na stacjach bazowych, różni się także liczba komórek dozwolonych w obszarze oświetlenia (footprint) satelity. Należy dokonać ponownych obliczeń parametrów z tabeli 5, stosując aktualne parametry.

TABELA 5

Zakłócenie w pracy SAR4 wywołane przez system FWA

Parametr			20° od nadiru		55° od nadiru	
			Wartość	dB	Wartość	dB
Zakłócenie e.i.r.p. przez listek boczny anteny FWA	Ze stacji bazowej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,2	-7,00	0,2	-7,00
		Zysk anteny nadawczej (dBi)		-14,20		-8,80
		Współczynnik aktywny e.i.r.p. (dBW)	90%	-0,46	90%	-0,46
	Ze stacji zdalnej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,063	-12,00	0,063	-12,00
		Średni zysk anteny nadawczej (dBi)		-4,96		-2,34
		Współczynnik aktywny e.i.r.p. (dBW)	10%	-10,00	10%	-10,00
Całkowita e.i.r.p. (dBW) wywołana przez listek boczny (dBW)				-20,54		-15,63
Moc zakłócenia wywołana rozproszeniem na powierzchni	Ze stacji bazowej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,2	-7,00	0,2	-7,00
		Współczynnik aktywny	90%	-0,46	90%	-0,46
		Moc transmitowana (dBW)		-7,46		-7,46
	Ze stacji zdalnych	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,063	-12,00	0,063	-12,00
		Współczynnik aktywny	10%	-10,00	10%	-10,00
		Moc transmitowana (dBW)		-22,00		-22,00
Całkowita moc transmitowana (dBW)				-7,31		-7,31
Współczynnik rozproszenia (dB)				-18,00		-18,00
Całkowita rozproszona e.i.r.p. (dBW)				-25,31		-25,31
Całkowita zakłócająca e.i.r.p. z komórki (dBW)				-19,29		-15,19
Odebrana moc zakłócenia w SAR	Zysk anteny odbiorczej (dBi)			42,70		42,70
	Tłumienie polaryzacji (dB)			-3,00		-3,00
	Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)		(427 km)	-159,55	(749 km)	-164,43
	Moc odbierana (dBW)			-139,14		-139,92
Wskaźnik czułości odbiornika SAR	Współczynnik szumów (dB)			4,62		4,62
	kT		$4,0 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,0 \times 10^{-21}$	-203,98
	Szerokość pasma odbiornika (MHz)		20,0	73,01	20,0	73,01
	Moc szumu (dBW)			-126,35		-126,35
	Próg zakłóceń SAR ($I/N = -6$ dB) (dBW)			-132,35		-132,35
Dopuszczalna liczba komórek FWA	Margines (dB)			6,79		7,57
	Maksymalna liczba komórek FWA, użytkujących ten sam kanał radiowy w obszarze oświetlenia (footprint) SAR.		4,78		5,71	
	Maksymalna liczba komórek FWA, przy założeniu że współczynnik wielokrotnego użytkowania częstotliwości wynosi 4		19,1		22,8	

4.1.2 Zakłócenie w pracy FWA wywołane przez SAR

Pierwszym krokiem w analizie potencjału zakłócenia w pracy FWA wywołanego przez pokładowe systemy SAR jest określenie mocy sygnału z listków bocznych systemów SAR umieszczonych w przestrzeni kosmicznej na powierzchni Ziemi. Na potrzeby tej analizy wykorzystano średni zysk listków bocznych, ponieważ listki boczne gwarantują znacznie większy obszar pokrycia (footprint)

niż szczytowy zysk i skutkują dłuższym czasem trwania zakłócenia. Tabela 6 określa poziomy zakłócenia w pracy FWA wywołane przez listki boczne satelity SAR4. SAR4 wybrano do reprezentowania najbardziej pesymistycznego scenariusza. Poniższa tabela określa dodatni margines rzędu 20 dB, który skutkowałby pozytywnym scenariuszem użytkowania, jeżeli chodzi o listki boczne.

TABELA 6

Zakłócenia w pracy FWA wywołane przez listki boczne SAR4

Parametr	20°od nadiru		55°od nadiru	
	Zakłócenia w pracy stacji bazowej	Zakłócenia w pracy stacji zdalnej	Zakłócenia w pracy stacji bazowej	Zakłócenia w pracy stacji zdalnej
Moc transmitowana (dBW)	32,3		32,3	
Zysk anteny nadawczej (dBi)	-5,0		-5,0	
Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)	-159,5 (427 km)		-164,4 (749 km)	
Zysk anteny odbiorczej (dBi)	-14,2	-2,2	-8,8	2,3
Tłumienie fidera w odniesieniu do FWA (dB)	-5,0	-10,0	-5,0	-10,0
Moc odbierana (dBW)	-151,4	-144,4	-150,9	-144,8
Zmniejszenie szerokości pasma (dB)	-3,0		-3,0	
Moc odebrana (dB(W/20 MHz))	-154,4	-147,4	-153,9	-147,8
Próg zakłóceń FWA (dB(W/20 MHz))	-128,8		-128,8	
Margines (dB)	25,6	18,6	25,1	19,0

Zysk szczytowy anteny jest jednak o 43–47,7 dB wyższy niż średni zysk listka bocznego wynoszący –5 dBi. W związku z tym w czasie trwania przelotu poziomy zakłócenia na powierzchni przewyższałyby próg zakłócenia FWA. Mimo przekroczenia tego progu, częstotliwość i czas trwania nadmiernego zakłócenia oszacowuje się raz na 8–10 dni i trwa ono odpowiednio 0,5–1 s.

4.1.3 Streszczenie

Wykazano, że współużytkowanie częstotliwości między systemem SAR i systemem FWA jest opłacalne w zakresie 5 250–5 350 MHz zgodnie z określonymi wymogami operacyjnymi i wymogami w zakresie uruchamiania systemu FWA. Systemy FWA mogą doświadczyć krótkich okresów dużych zakłóceń wywołanych przez systemy SAR w trakcie przelotów. Tego rodzaju zakłócenie uznaje się za dopuszczalne, ponieważ zakłada się małe prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia zakłócenia SAR i zanikania wywołanego przez systemy FWA. Konieczne może być jednak przeprowadzenie dodatkowych badań w sprawie opisanego wpływu zakłócenia na systemy FWA.

4.2 Współużytkowanie między wysokościamiomierzem umieszczonym w przestrzeni kosmicznej a systemem FWA

4.2.1 Zakłócenia w pracy wysokościamiomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej wywołane przez FWA

Tabela 7 przedstawia obliczenia zakłóceń w pracy wysokościamiomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej wywołane przez FWA. Wyniki wskazują, że istnieje duży margines 42,6 dB w stosunku do progu -118 dBW, a zatem można stwierdzić, że systemy FWA nie spowodują niedopuszczalnych zakłóceń w pracy wysokościamiomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej.

TABELA 7

Zakłócenia w pracy wysokościamiomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej wywołane przez FWA

Parametr			Od nadiru	
			Wartość	dB
Zakłócenie e.i.r.p. przez listek boczny anteny FWA	Ze stacji bazowej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,2	-7,00
		Zysk anteny nadawczej (dBi)		-15,84
		Współczynnik aktywny e.i.r.p. (dBW)	90%	-0,46
	Ze stacji zdalnej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,063	-12,00
		Średni zysk anteny nadawczej (dBi)		-5,71
		Współczynnik aktywny e.i.r.p. (dBW)	10%	-10,00
Całkowita e.i.r.p. (dBW) wywołana przez listek boczny (dBW)				-21,96
Moc zakłócenia wywołana rozproszeniem na powierzchni	Ze stacji bazowej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,2	-7,00
		Współczynnik aktywny	90%	-0,46
		Moc transmitowana (dBW)		-7,46
	Ze stacji zdalnych	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,063	-12,00
		Współczynnik aktywny	10%	-10,00
		Moc transmitowana (dBW)		-22,00
Całkowita moc transmitowana (dBW)				-7,31
Współczynnik rozproszenia (dB)				-18,00
Całkowita rozproszona e.i.r.p. (dBW)				-25,31
Całkowita zakłócająca e.i.r.p. z komórki (dBW)				-20,31
Odebrana moc zakłócenia na odbiorniku wysokościamiomierza	Zysk anteny odbiorczej (dBi)			32,20
	Tłumienie polaryzacji (dB)			-3,00
	Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)		(1 347 km)	-169,53
	Moc odbierana (dBW)			-160,64
Próg zakłóceń wysokościamiomierza (dBW)				-118,00
Margines (dB)				42,64

4.2.2 Zakłócenia w pracy FWA wywołane przez wysokościomierz umieszczony w przestrzeni kosmicznej

W tabeli 8 przedstawiono poziomy zakłóceń w pracy stacji bazowej i stacji zdalnie sterowanej wywołane przez główną wiązkę wysokościomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej. W obu przypadkach istnieją odpowiednie marginesy.

TABELA 8

Zakłócenia w pracy FWA wywołane przez wysokościomierz umieszczony w przestrzeni kosmicznej

Parametr	Od nadiru	
	Zakłócenia w pracy stacji bazowej	Zakłócenia w pracy stacji zdalnej
Moc transmitowana (dBW)	12,3	
Zysk anteny nadawczej (dBi)	32,2	
Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)	-169,5 (1 347 km)	
Zysk anteny odbiorczej (dBi)	-15,8	-5,7
Tłumienie fidera w odniesieniu do FWA (dB)	-5,0	-10,0
Moc odbierana (dBW)	-145,8	-140,7
Zmniejszenie szerokości pasma (20 MHz/320 MHz) (dB)	-12,0	
Moc odebrana (dB(W/20 MHz))	-157,8	-152,7
Próg zakłóceń FWA (dB(W/20 MHz))	-128,8	
Margines (dB)	29,0	23,9

4.2.3 Streszczenie

Wykazano, że współużytkowanie częstotliwości między systemem wysokościomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej a systemami FWA jest możliwe w zakresie 5 250–5 350 MHz.

4.3 Współużytkowanie między skaterometrem a systemem FWA

4.3.1 Zakłócenia w pracy skaterometru wywołane przez FWA

W tabeli 9 przedstawiono analizę zakłóceń w pracy skaterometru 1 wywołanych przez FWA. Skaterometr 1 wybrano do reprezentowania najbardziej pesymistycznego scenariusza. Z tabeli 9 wynika, że zakłócenia wywołane przez system FWA nie powodują niedopuszczalnych zakłóceń.

4.3.2 Zakłócenia w pracy FWA wywołane przez skaterometr

Tabela 10 przedstawia analizę zakłóceń w pracy FWA wywołanych przez skaterometr. Marginesy ujemne oznaczają, że systemy FWA mogą doświadczyć krótkich okresów dużych zakłóceń wywołanych przez system skaterometru w trakcie przelotów.

TABELA 9

Zakłócenie w pracy skaterometru 1 wywołane przez FWA

Parametr			18° od nadiru (El: 69,7°)		57° od nadiru (El: 19,7°)	
			Wartość	dB	Wartość	dB
Zakłócenie e.i.r.p. przez listek boczny anteny FWA	Ze stacji bazowej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,2	-7,00	0,2	-7,00
		Zysk anteny nadawczej (dBi)		-14,20		-5,94
		Współczynnik aktywny e.i.r.p. (dBW)	90%	-0,46	90%	-0,46
				-21,66		-13,40
	Ze stacji zdalnej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,063	-12,00	0,063	-12,00
	Średni zysk anteny nadawczej (dBi)		-4,93		0,64	
	Współczynnik aktywny e.i.r.p. (dBW)	10%	-10,00	10%	-10,00	
			-26,96		-21,36	
	Całkowita e.i.r.p. (dBW) wywołana przez listek boczny (dBW)			-20,54		-12,76
Moc zakłócenia wywołana rozproszeniem na powierzchni	Ze stacji bazowej	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,2	-7,00	0,2	-7,00
		Współczynnik aktywny	90%	-0,46	90%	-0,46
		Moc transmitowana (dBW)		-7,46		-7,46
	Ze stacji zdalnych	Szczytowa moc transmitowana (W)	0,063	-12,00	0,063	-12,00
		Współczynnik aktywny	10%	-10,00	10%	-10,00
		Moc transmitowana (dBW)		-22,00		-22,00
		Całkowita moc transmitowana (dBW)			-7,31	
	Współczynnik rozproszenia (dB)			-18,00		-18,00
	Całkowita rozproszona e.i.r.p. (dBW)			-25,31		-25,31
Całkowita zakłócająca e.i.r.p. z komórki (dBW)				-19,29		-12,53
Odebrana moc zakłócenia w SAR	Zysk anteny odbiorczej (dBi)			31,00		32,50
	Tłumienie polaryzacji (dB)			-3,00		-3,00
	Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)		(825 km)	-165,27	(1 745 km)	-171,78
	Moc odbierana (dBW)			-156,56		-154,81
	Moc _[MG1] odbierana (dBW)			-229,57		-227,82
Próg zakłóceń skaterometru (dB(W/Hz))				-207,00		-207,00
Margines (dB)				22,57		20,82

TABELA 10

Zakłócenia w pracy FWA wywołane przez skaterometr 1

Parametry	18° od nadiru (El: 69,7°)		57° od nadiru (El: 19,7°)	
	Zakłócenia w pracy stacji bazowej	Zakłócenia w pracy stacji zdalnej	Zakłócenia w pracy stacji bazowej	Zakłócenia w pracy stacji zdalnej
Moc transmitowana (dBW)	36,8		36,8	
Zysk anteny nadawczej (dBi)	31,0		32,5	
Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)	-165,3 (825 km)		-171,8 (1 745 km)	
Zysk anteny odbiorczej (dBi)	-14,2	-4,9	-5,9	0,6
Tłumienie fidera w odniesieniu do FWA (dB)	-5,0	-10,0	-5,0	-10,0
Moc odbierana (dBW)	-116,7	-112,4	-113,4	-111,9
Próg zakłóceń FWA (dBW)	-128,8		-128,8	
Margines (dB)	-12,1	-16,4	-15,4	-16,9

4.3.3 Streszczenie

Wykazano, że współużytkowanie częstotliwości między systemami skaterometrów a systemami FWA jest opłacalne. Systemy FWA mogą doświadczyć krótkich okresów dużych zakłóceń wywołanych przez systemy skaterometrów w trakcie przelotów. Tego rodzaju zakłócenia uznaje się za dopuszczalne, ponieważ zakłada się małe prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia zakłóceń wywołanych przez skaterometr i zanikania wywołanego przez systemy FWA. Konieczne może być jednak przeprowadzenie dodatkowych badań w sprawie opisanego wpływu zakłócenia na systemy FWA.

5 Wnioski

Współużytkowanie częstotliwości między służbą satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) a służbą badań kosmosu (aktywnych) jest możliwe pod warunkiem, że uruchomienie systemów FWA jest kontrolowane tak, aby całkowite zakłócenie e.i.r.p. w pracy służby satelitarnych badań Ziemi i służby badań kosmosu nie przekroczyło – 7,6 dB (W/20 MHz) w obrębie pokrycia (footprint) aktywnego sensora satelity. Systemy FWA mogą doświadczyć krótkich okresów zakłóceń wywołanych przez systemy aktywnych sensorów satelitów służby satelitarnych badań Ziemi i służby badań kosmosu w trakcie przelotów. Tego rodzaju zakłócenia uznaje się za dopuszczalne dla tego zakresu, ponieważ zakłada się małe prawdopodobieństwo jednoczesnego wystąpienia zakłóceń wywołanych przez aktywne sensory i zanikania wywołanego przez systemy FWA.

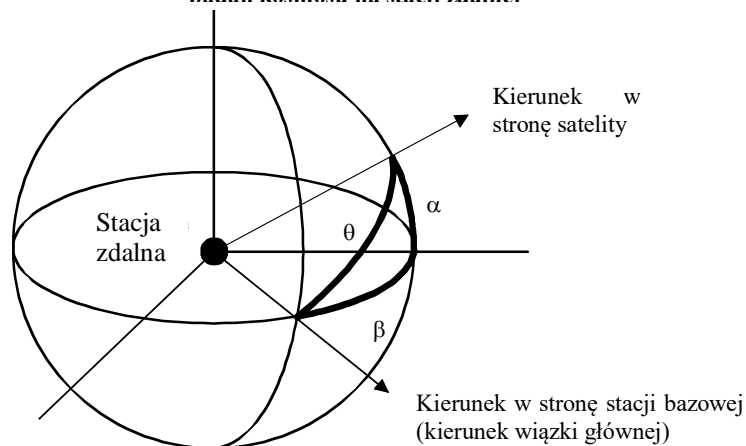
Należy zauważyć, że przedstawione wnioski mają zastosowanie jedynie do współużytkowania między systemami FWA a służbą satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i służbą badań kosmosu (aktywnych), i nie odnoszą się do ewentualnych zwiększonych zagregowanych zakłóceń w pracy tych służb wywołanych przez urządzenia ruchome, które mogą także pracować w obszarze oświetlenia (footprint) służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i służby badań kosmosu (aktywnych). Z badań wynika jednak, że jednoczesna praca we współużytkowanym zasięgu i na współużytkowanej częstotliwości utrudnia działanie systemów FWA i innych rodzajów bezprzewodowych systemów dostępowych (w tym lokalnych sieci radiowych (RLAN)). Kwestia ta jest przedmiotem dalszych badań, przy czym zakłada się, że nie wpłynie na wnioski niniejszego zalecenia.

Załącznik 1 do dodatku 1

Zakłócenia w pracy aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, wywołane przez listki boczne zdalnych stacji FWA

W komórce FWA stacje zdalne rozproszone są wokół stacji bazowej. Zakłada się, że stacje zdalne otaczają stację bazową jednakowo pod względem kątów azymutowych zaobserwowanych ze stacji zdalnej. Ze względu na fakt, że wiązka główna ze stacji zdalnych jest skierowana w stronę stacji bazowej, kąt utworzony przez wiązkę główną ze stacji zdalnej jest większy niż kąt elewacji w kierunku służby satelitarnych badań Ziemi/służby badań kosmosu utworzony w wyniku separacji azymutowej przedstawionej na rys. 3.

RYSUNEK 3
Kąt pozaosiowy: θ w kierunku satelity w służbie satelitarnych badań Ziemi i służbie badań kosmosu na stacji zdalnej



1613-03

Kąt poza wiązką: θ w kierunku satelity na stacji zdalnie sterowanej oblicza się na podstawie następującego stosunku, przy założeniu, że kąt elewacji anteny stacji zdalnie sterowanej wynosi 0° :

$$\cos \theta = \cos \alpha \cdot \cos \beta$$

gdzie:

α : kąt elewacji w kierunku satelity

β : azymutowy kąt separacji między satelitą a kierunkami stacji bazowych.

Zakładając, że β są jednakowo rozmieszczone między kątami $0^\circ - 360^\circ$, średni zysk w kierunku satelity oblicza się zgodnie z tabelą 11.

TABELA 11

Średni zysk anteny stacji zdalnej w stronę satelity

Elewacja satelity (w stopniach)	70	30
Średni zysk (dBi)	-4,96	-2,34

**Załącznik 2
do dodatku 1**

Wykaz skrótów

Az	Azymut
BW	Szerokość pasma
CSMA	Wielodostęp do łącza danych
CW	Fala ciągła
EESS	Służba satelitarnych badań Ziemi
EI	Elewacja
FM	Modulacja częstotliwości
FWA	Stałe bezprzewodowe systemy dostępowe
PRF	Częstotliwość powtarzania impulsów
RF	Częstotliwość radiowa
RLAN	Lokalna sieć radiowa
SAR	Radar z aperturą syntetyczną
SRS	Służba badań kosmosu
TDMA	Wielodostęp z podziałem czasowym

ZALECENIE ITU-R RA.1631-0

Charakterystyka odniesienia promieniowania anteny radioastronomicznej stosowana podczas analiz kompatybilności systemów NGSO i stacji w służbie radioastronomicznej opartych na koncepcji zastępczej gęstości strumienia mocy

(Zagadnienie ITU-R 146/7)

(2003)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) potrzebę określenia poziomów zakłóceń, jakie mogą wystąpić w typowym obserwatorium, ze względu na różne źródła zakłóceń;
- b) potrzebę zdefiniowania charakterystyki odniesienia promieniowania anteny w celu określenia tych poziomów zakłóceń;
- c) że zalecenie ITU-R SA.509 zawiera charakterystykę odniesienia promieniowania anteny reprezentującą poziomy zysku listków bocznych, w przypadku których nie oczekuje się przekroczenia na najdalszych kątach pozaosiowych w większości anten stosowanych w służbie;
- d) że charakterystyka promieniowania anteny określona w Zaleceniu ITU-R SA.509 jest właściwa w niektórych analizach kompatybilności lub współużytkowania;
- e) że, jeżeli podczas oceny zagregowanych zakłóceń składających się z wielu pozycji zakłóceń stosuje się szczytowe promieniowanie obwiedni charakterystyki, takie jak to, określona w Zaleceniu ITU-R SA.509, w wyniku prognozowanego zakłócenia otrzyma się wartości większe od wartości, jakich doświadczone by w praktyce;
- f) że w Zaleceniu ITU-R S.1586 i Zaleceniu ITU-R M.1583 określono metodę opartą na koncepcji epfd zdefiniowanej w ust. 22.5C Regulaminu Radiokomunikacyjnego w celu obliczenia poziomów emisji niepożądaney wytworzonych przez niegeostacjonarne systemy satelitarne na stacjach radioastronomicznych;
- g) konieczność stosowania charakterystyki promieniowania anteny reprezentującej średnie poziomy listków bocznych w celu prognozowania zakłóceń w pracy stacji radioastronomicznej wywołanych przez jedną szybko przemieszczającą się stację widoczną pod stale zmieniającym się kątem lub większą liczbą stacji, takich jak systemy NGSO;
- h) że wskazane jest stosowanie prostego wzoru matematycznego zamiast charakterystyki promieniowania reprezentującej średnie poziomy listków bocznych;
- j) że, w celu wygenerowania epfd będącej wynikiem poziomów emisji niepożądaney wytworzonej przez niegeostacjonarny system satelitarny na stacjach radioastronomicznych, konieczne jest stosowanie typowego maksymalnego zysku anteny stacji w służbie radioastronomicznej,

zaleca

1 aby w przypadku braku konkretnych informacji na temat charakterystyki promieniowania danej anteny radioastronomicznej stosowano model matematyczny charakterystyki średniego promieniowania przedstawiony poniżej, w celu przeprowadzenia analiz kompatybilności między systemami NGSO a stacjami w służbie radioastronomicznej na częstotliwościach powyżej 150 MHz:

$G(\varphi) = G_{max} - 2,5 \times 10^{-3} \left(\frac{D}{\lambda} \varphi \right)^2$	dBi	dla	$0 < \varphi < \varphi_m$
$G(\varphi) = G_1$		dla	$\varphi_m \leq \varphi < \varphi_r$
$G(\varphi) = 29 - 25 \lg \varphi$	dBi	dla	$\varphi_r \leq \varphi < 10^\circ$
$G(\varphi) = 34 - 30 \lg \varphi$	dBi	dla	$10^\circ \leq \varphi < 34,1^\circ$
$G(\varphi) = -12$	dBi	dla	$34,1^\circ \leq \varphi < 80^\circ$
$G(\varphi) = -7$	dBi	dla	$80^\circ \leq \varphi < 120^\circ$
$G(\varphi) = -12$	dBi	dla	$120^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$

gdzie:

$$G_{max} = 20 \lg \left(\frac{D}{\lambda} \right) + 20 \lg \pi \quad \text{dBi}$$

$$G_1 = -1 + 15 \lg \frac{D}{\lambda} \quad \text{dBi}$$

$$\varphi_m = \frac{20\lambda}{D} \sqrt{G_{max} - G_1} \quad \text{stopni}$$

$$\varphi_r = 15.85 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^{-0.6} \quad \text{stopni}$$

D oznacza średnicę teleskopu (m)

λ oznacza długość fali (m);

2 przyjęcie następującego modelu matematycznego charakterystyki promieniowania w celu dokładniejszego przedstawienia charakterystyki promieniowania głównej wiązki dla częstotliwości powyżej 150 MHz:

$$G(\varphi) = G_{max} \left[\frac{J_1(2\pi x)}{\pi x} \right]^2 \quad (\text{wyrażone jako stosunek w jednostkach innych niż dB})$$

gdzie:

$J_1(x)$ oznacza funkcję Bessela pierwszego rodzaju

$$G_{max} = \left[\frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \right] \text{ oznacza maksymalny zysk (wyrażony jako stosunek w jednostkach innych niż dB)}$$

$A_{eff} = \pi(D/2)^2$ oznacza powierzchnię apertury teleskopu (m²)

D oznacza średnicę teleskopu (m)

λ oznacza długość fali (m)

oraz gdzie:

$$x = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360 \cdot \lambda} \quad \text{z } \varphi, \text{ kątem poza osią promieniowania (w stopniach) } (0 \leq \varphi < \varphi_0)$$

φ_0 oznacza pierwszą wartość zerową w tej charakterystyce anteny w punkcie $69,88/(D/\lambda)$ (w stopniach) poza osią promieniowania

a następujący model matematyczny charakterystyki promieniowania można przyjąć w celu dokładniejszego przedstawienia charakterystyki promieniowania bliskich listków bocznych do 1° od osi promieniowania dla częstotliwości powyżej 150 MHz:

$$G(\varphi) = B \left[\frac{\cos(2\pi x - 3\pi/4 + 0,0953)}{\pi x} \right]^2 \quad \text{(wyrażone jako stosunek w jednostkach innych niż dB)}$$

gdzie:

$$x = \frac{\pi \cdot D \cdot \varphi}{360 \cdot \lambda} \quad \text{z } \varphi, \text{ kątem poza osią promieniowania (w stopniach) } (\varphi_0 \leq \varphi \leq 1^\circ)$$

D oznacza średnicę teleskopu

λ oznacza długość fali

oraz:

$$B = 10^{3,2} \pi^2 ((\pi D/2)/(180 \cdot \lambda))^2$$

Dany model wiązki głównej przedstawia najkorzystniejszy wariant, gdy sprawność apertury wynosi 100%;

3 stosowanie następującego typowego maksymalnego zysku anteny w służbie radioastronomicznej podczas analizy kompatybilności systemów NGSO i anten stacji w służbie radioastronomicznej.

Zakres częstotliwości przeznaczony dla służby radioastronomicznej (MHz)	Typowy maksymalny zysk anteny
150,05–153	44
322–328,6	51
406,1–410	53
608–614	56
1 400–1 427	63
1 610,6–1 613,8	64
1 660–1 670	65
2 690–2 700	69
4 990–5 000	74

Zakres częstotliwości przeznaczony dla służby radioastronomicznej (GHz)	Typowy maksymalny zysk anteny
10,6–10,7	81
14,47–14,5	84
15,35–15,4	84
22,21–22,5	87
23,6–24	88
31,3–31,7	90
42,5–43,5	93

Odpowiednią średnicę anteny otrzymuje się, stosując następujące równania (zob. *zalecenie 2*):

$$G_{max} = \left[\frac{4\pi A_{eff}}{\lambda^2} \right] \quad \text{maksymalny zysk (wyrażony jako stosunek)}$$

gdzie:

$A_{eff} = \pi(D/2)^2$: powierzchnia apertury teleskopu (m²)

D : średnica teleskopu (m)

λ : długość fali (m).

ZALECENIE ITU-R RS.1632-0*

Współużytkowanie w zakresie częstotliwości 5 250–5 350 MHz przez służbę satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i bezprzewodowe systemy dostępne (w tym lokalne sieci radiowe) w służbie ruchomej)

(Zagadnienie ITU-R 218/7)

(2003)

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU,

uwzględniając

- a) że zakres częstotliwości 5 250–5 350 MHz przeznaczono dla służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) oraz dla służby radiolokalizacyjnej na prawach pierwszej ważności;
- b) że niektóre administracje zaproponowały użytkowanie zakresu częstotliwości 5 250-5 350 MHz przez sieci lokalne bezprzewodowe (sieci WLAN) o niskim poborze mocy i dużej prędkości, lub lokalne sieci radiowe (sieci RLAN);
- c) że w przedmiotowym zakresie częstotliwości proponuje się uruchomienie sieci WLAN dużych prędkości jako urządzeń niewymagających uzyskania pozwolenia, co uniemożliwia przeprowadzenie kontroli regulacyjnej dotyczącej zagęszczenia rozmieszczenia,

uznając

- a) że w ITU-R trwają badania mające na celu usprawnienie współużytkowania bezprzewodowych systemów dostępowych (w tym sieci RLAN) ze służbą satelitarnych badań Ziemi (aktywnych),

zauważając,

- a) że niektóre administracje przyjęły ograniczenia techniczne zezwalające bezprzewodowym systemom dostępowym (w tym sieciom RLAN) na pracę przy mocy e.i.r.p ograniczonej do 1 W, podczas gdy inne administracje przyjęły bardziej rygorystyczne wartości e.i.r.p.

zaleca

1 aby współużytkowanie w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz przez umieszczone w przestrzeni kosmicznej aktywne sensory służb satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) o parametrach określonych w dodatku 1 i sieci WLAN dużych prędkości było możliwe przy użyciu bezprzewodowych systemów dostępowych (włączając sieci RLAN) o ograniczeniach określonych w dodatku 2;

2 by określony w dodatku 1 poziom ochrony wymagany wobec systemów służby satelitarnych badań Ziemi mógł być osiągnięty także przy wykorzystaniu alternatywnych zestawów ograniczeń operacyjnych i technicznych badanych w pkt a) *uznając*.

* Zmiany redakcyjne do niniejszego zalecenia wprowadziła radiokomunikacyjna 7 Grupa Studiów.

Dodatek 1**Parametry techniczne aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej w zakresie częstotliwości 5 250-5 570 MHz**

Parametry techniczne aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej w zakresie częstotliwości 5,3 GHz określają tabele 1 i 2.

TABELA 1

Parametry typowego radaru obrazującego umieszczonego w przestrzeni kosmicznej działającego w paśmie 5,3 GHz

Parametr	Wartość			
	SAR1	SAR2	SAR3	SAR4
Wysokość orbity (km)	426 (kołowa)	600 (kołowa)	400 (kołowa)	400 (kołowa)
Nachylenie orbity (w stopniach)	57	57	57	57
Radiowa częstotliwość środkowa (MHz)	5 305	5 405	5 405	5 300
Szczytowa moc promieniowania (W)	4,8	4 800	1 700	1 700
Polaryzacja	Pozioma (HH)	Pozioma i pionowa (HH, HV, VH, VV)	Pozioma i pionowa (HH, HV, VH, VV)	Pozioma i pionowa (HH, HV, VH, VV)
Modulacja impulsowa	Liniowy sygnał świergotowy FM	Liniowy sygnał świergotowy FM	Liniowy sygnał świergotowy FM	Liniowy sygnał świergotowy FM
Szerokość pasma impulsu (MHz)	8,5	310	310	40
Czas trwania impulsu (μ s)	100	31	33	33
Prędkość powtarzania impulsu (pps)	650	4 492	1 395	1 395
Cykl pracy (%)	6,5	13,9	5,9	5,9
Stosunek kompresji zasięgu	850	9 610	10 230	1 320
Typ anteny (m)	Płaszczyznowy szyk fazowany 0,5× 16,0	Płaszczyznowy szyk fazowany 1,8 × 3,8	Płaszczyznowy szyk fazowany 0,7 × 12,0	Płaszczyznowy szyk fazowany 0,7 × 12,0

TABELA 1 (koniec)

Parametr	Wartość			
	SAR1	SAR2	SAR3	SAR4
Szczytowy zysk anteny (dBi)	42,2	42,9	42,7/38 (pełne skupienie/zakłócenie wiązki)	42,7/38 (pełne skupienie/zakłócenie wiązki)
Średni zysk listka bocznego anteny (dBi)	-5	-5	-5	-5
Orientacja anteny (w stopniach od nadiru)	30	20-38	20-55	20-55
Szerokość wiązki anteny (w stopniach)	8,5 (El), 0,25 (Az)	1,7 (El), 0,78 (Az)	4,9/18,0 (El), 0,25 (Az)	4,9/18,0 (El), 0,25 (Az)
Polaryzacja anteny	liniowa pozioma/pionowa	liniowa pozioma/pionowa	liniowa pozioma/pionowa	liniowa pozioma/pionowa
Punkt kompresji 1 dB odbiornika front-end w odniesieniu do mocy wejściowej odbiornika (dBW)	-moc wejściowa 62	-moc wejściowa 62	-moc wejściowa 62	-moc wejściowa 62
Dozwolone zagęszczenie nasycenia konfiguracji w odniesieniu do mocy wejściowej odbiornika	-114/-54 dBW moc wejściowa przy zysku odbiornika 71/11 dB	-114/-54 dBW moc wejściowa przy zysku odbiornika 71/11 dB	-114/-54 dBW moc wejściowa przy zysku odbiornika 71/11 dB	-114/-54 dBW moc wejściowa przy zysku odbiornika 71/11 dB
Maksymalna moc obsługi mocy wejściowej odbiornika (dBW)	+7	+7	+7	+7
Czas funkcjonowania	30% orbity	30% orbity	30% orbity	30% orbity
Minimalny czas tworzenia obrazów (s)	9	15	15	15
Obszar obsługiwany	Ląd i obszary nadbrzeżne	Ląd i obszary nadbrzeżne	Ląd i obszary nadbrzeżne	Ląd i obszary nadbrzeżne
Obraz szerokości powierzchni (km)	50	20	16/320	16/320

TABELA 2

Parametry typowego radiowysokościomierza umieszczonego w przestrzeni kosmicznej, działającego w paśmie 5,3 GHz

Parametry dotyczące misji Jazona (Jason mission)	
Czas trwania	5 lat
Wysokość	1 347 km \pm 15 km
Nachylenie	66°
Parametry wysokościomierza Poseidon 2	
Rodzaj sygnału	Liniowa modulacja częstotliwości sygnału świergotowego
Częstotliwość powtarzania impulsów w paśmie C (PRF)	300 Hz
Czas trwania impulsu	105,6 μ s
Częstotliwość nośna	5,3 GHz
Szerokość pasma (BW)	320 MHz
Szczytowa moc emisji radiowej	17 W
Moc średnia emisji radiowej	0,54 W
Zysk anteny	32,2 dBi
Apertura 3 dB	3,4°
Poziom listka bocznego/maksymalny	-20 dB
Poziom tylnego listka/maksymalny	-40 dB
Obszar pokrycia wiązki na poziomie -3 dB	77 km
Próg zakłóceń	-118 dBW

TABELA 3

Parametry typowego skaterometru umieszczonego w przestrzeni kosmicznej w paśmie 5,3 GHz

Parametr	Wartość	
	Skaterometr 1	Skaterometr 2
Nazwa systemu	Skaterometr 1	Skaterometr 2
Wysokość orbity (km)	780	800
Nachylenie (w stopniach)	98,5	98,5
Częstotliwość środkowa (GHz)	5,3	5,255
Szerokość impulsu	70 μ s (środkowy) 130 μ s (przedni/tylny)	8 ms (środkowy) 10,1 ms (przedni/tylny)
Modulacja	Zakłócona fala ciągła	Liniowy sygnał (świergotowy) FM
Szerokość pasma nadawania (kHz)	15	500
Częstotliwość powtarzania impulsów (Hz)	115 (środkowy) 98 (przedni/tylny)	29,4
Typ anteny	Antena falowodowa szczelinowa	Antena falowodowa szczelinowa

TABELA 3 (koniec)

Parametr	Wartość	
Zysk anteny (dBi)	31 (średkowy) 32,5 (przedni/tylny)	28,5 (średkowy) 29,5 (przedni/tylny)
Orientacja wiązki głównej anteny (w stopniach)	Kąty padania: 18-47 (średkowy) 24-57 (przedni/tylny)	Kąty padania: 25,0–54,5 (średkowy) 33,7–65,3 (przedni/tylny)
Szerokość wiązki anteny (–3 dB), elewacja Szerokość wiązki anteny w azymucie	24° (średkow y) 1,3° 26° (przedni/t ylny) 0,8°	23,6° (środk owy) 1,1° 23,9° (przedni/tyln y) 0,8°
Kąt elewacji oprzyrządowania (w stopniach)	29,3	37,6
Polaryzacja anteny	Pionowa	Pionowa
Szczytowa moc nadajnika	4,8 kW	120 W
Temperatura szumu odbiornika (dB)	Współczynnik szumu: 3	Współczynnik szumu: 3
Obszar obsługiwany	Obszar oceaniczny i obszary nadbrzeżne, obszar lądowy	Obszar oceaniczny i obszary nadbrzeżne, obszar lądowy

Dodatek 2

Ograniczenia dotyczące współużytkowania w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz przez aktywne sensory umieszczone w przestrzeni kosmicznej i sieci WLAN dużych prędkości

1 Wprowadzenie

W niniejszym dodatku przedstawiono wyniki trzech analiz współużytkowania zakresu częstotliwości 5 250-5 350 MHz przez aktywne sensory umieszczone w przestrzeni kosmicznej i sieci WLAN dużych prędkości lub sieci RLAN. W pierwszym badaniu, o którym mowa w § 2 niniejszego dodatku, stosuje się parametry sieci RLAN dużej przepływności (sieć HIPERLAN) typu 1 klas B i C oraz sieć HIPERLAN typu 2 dla sieci RLAN i parametry SAR4 dla SARu. W badaniu tym wykazano, że możliwe jest współużytkowanie zakresu częstotliwości 5 250-5 350 MHz z SAR4 przez przeznaczoną wyłącznie do pracy w pomieszczeniu sieć HIPERLAN typu 1 klasa B i HIPERLAN typu 2, ale niemożliwe jest współdzielenie tego zakresu przez sieć HIPERLAN typu 1 klasy C, ani przez sieć HIPERLAN przeznaczoną do pracy na zewnątrz, o parametrach technicznych określonych w badaniu.

W drugim badaniu, o którym mowa w § 3 niniejszego dodatku, wykorzystuje się trzy typy sieci RLAN, RLAN1, RLAN2 i RLAN3, zaś dla SAR stosuje się parametry SAR2, SAR3 i SAR4. W niniejszym badaniu dla pojedynczego nadajnika uruchamianego na zewnątrz, zakłócenia nadajnika RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości były powyżej dopuszczalnego poziomu dla SAR4, zakłócenia nadajnika RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości były powyżej dopuszczalnego poziomu dla SAR3 i SAR4, zaś zakłócenia nadajnika RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości były powyżej dopuszczalnego poziomu dla SAR4. Dla sieci RLAN na zewnątrz/w pomieszczeniu możliwe jest współużytkowanie sieci RLAN1 z SAR2, SAR3 i SAR4, przy założeniu zagęszczenia wynoszącego

tylko 12 aktywnych nadajników na km² w obszarze oświetlenia SARu (footprint) i kanału jednoczesnościowego dla sieci RLAN1, ale niemożliwe jest współużytkowanie sieci RLAN2 z SAR2, SAR3 i SAR4, przy założeniu zagęszczenia wynoszącego 1 200 aktywnych nadajników przypadających na powierzchnię biurową i 14 kanałów w zakresie częstotliwości 330 MHz. Przy pracy w pomieszczeniach i uwzględnieniu zakłóceń w pracy SARu wywołanych przez konfigurację RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości w analizie wykazano, że dowolne zagęszczenie powierzchniowe mniejsze niż 37-305 nadajników/km²/kanał wygeneruje dopuszczalny poziom zakłóceń dla SARu, w zależności od piksela obrazowania SARu *S/N* dla obrazowania SAR. Przewidywane średnie zagęszczenie szacuje się na 1 200 nadajników/dużą powierzchnię biurową i 250 nadajników/obszar przemysłowy. Przewidywane wysokie zagęszczenie zakłada 14 kanałów, każdy do szerokości 23,6 MHz, rozłożonych w paśmie 330 MHz. Dla zakłóceń w pracy SARu wywołanych przez konfigurację RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości w analizie wykazano, że lokalne sieci komputerowe (sieci LAN) wygenerują dopuszczalny poziom zakłóceń dla SARu wyłącznie przy zagęszczeniu powierzchniowym mniejszym niż 518–4 270 nadajników/km² rozłożonych na 14 kanałach. Dla zakłóceń w pracy SAR2 i SAR4 wywoływanych przez pracę RLAN3 odpowiadałoby to około 3–12 dużym budynkom biurowym lub 15–60 obszarom przemysłowym w obszarze oświetlenia (footprint) SAR, w zależności od piksela SAR *S/N*.

W trzecim badaniu, o którym mowa w § 4 niniejszego dodatku, stosuje się parametry krytyczne sieci HIPERLAN typu 1 dla sieci RLAN, zaś dla wysokościomierza stosuje się parametry wysokościomierza określone w tabeli 2 niniejszego dodatku. Praca radiowysokościomierza w paśmie o szerokości 320 MHz dookoła pasma 5,3 GHz jest kompatybilna z sieciami HIPERLAN.

W czwartym badaniu, o którym mowa w § 5 niniejszego dodatku, stosuje się parametry sieci HIPERLAN typu 2 dla sieci RLAN, zaś dla skaterometru stosuje się parametry skaterometru określone w tabeli 3. Praca skaterometru dookoła 5,3 GHz jest kompatybilna z sieciami HIPERLAN działającymi w pomieszczeniach.

2 Badanie sieci HIPERLAN typu 1 i 2 oraz SARów

2.1 Parametry techniczne obu przedmiotowych systemów

Do analizy współużytkowania stosuje się parametry techniczne sieci WLAN odpowiadające parametrom sieci HIPERLAN typu 1 i typu 2, dla których Europejski Instytut Norm Telekomunikacyjnych (ETSI) w Europie opublikował odpowiednie specyfikacje: EN 300 652 dla typu 1 i TS 101 683 dla typu 2. Dla innych parametrów badań (tłumienie spowodowane przez budynki, cykl pracy aktywności operacyjnej, zagęszczenie sieci HIPERLAN itd.) stosuje się wartości uzgodnione przez ETSI ERM dla przedmiotowych badań w Europie.

HIPERLAN typu 1:

Zapewnia łączność sieci RLAN dużych prędkości, która jest kompatybilna z przewodowymi sieciami LAN opartymi na normach ISO 8802.3 i ISO 8802.5 dotyczących sieci Ethernet i Token-ring.

Parametry HIPERLAN/1

e.i.r.p. (wysoka przepływność (HBR) przy 23,5 MHz, niska przepływność (LBR) przy 1,4 MHz):

klasa A: maksymalna e.i.r.p. 10 dBm

klasa B: maksymalna e.i.r.p. 20 dBm

klasa C: maksymalna e.i.r.p. 30 dBm

Separacja międzykanałowa: 30 MHz

Kierunkowość anteny: wielokierunkowa

Minimalna użyteczna czułość odbiornika: -70 dBm

Moc szumu odbiornika (23,5 MHz): -90 dBm

C/I dla BER 10^{-3} przy HBR: 20 dB

Skuteczny zasięg (klasa C): 50 m.

W niniejszym badaniu uwzględniono wyłącznie klasy B (maksymalna e.i.r.p 100 mW) i C (maksymalna e.i.r.p 1 W).

HIPERLAN typu 2:

Zapewnia łączność RLAN dużych prędkości, która jest kompatybilna z przewodowymi sieciami LAN opartymi na normach ATM i IP.

Parametry HIPERLAN/2:

e.i.r.p: 0,2 W (w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz)

Szerokość pasm w kanale: 16 MHz

Separacja międzykanałowa: 20 MHz

Kierunkowość anteny: wielokierunkowa

Minimalna użyteczna czułość odbiornika: -68 dBm (przy 54 Mbit/s) do -85 dBm
(przy 6 Mbit/s)

Moc szumu odbiornika (16 MHz): -93 dBm

C/I: 8-15 dB

Skuteczny zakres: 30-80 m.

W państwach europejskich w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz e.i.r.p ograniczono do 200 mW, a korzystanie z sieci HIPERLAN jest dozwolone wyłącznie przy posiadaniu następujących obowiązkowych funkcji:

- sterowanie mocą nadajnika (TPC) w celu zapewnienia współczynnika osłabienia równego co najmniej 3 dB;
- dynamiczny wybór częstotliwości (DFS) związany z mechanizmem wyboru kanałów, który jest wymagany do umożliwienia równomiernego rozkładu obciążenia sieci HIPERLAN dla co najmniej 330 MHz.

Obecnie HIPERLAN/1 nie obsługuje powyższych funkcji.

DFS nie tylko zapewnia równomierny rozkład obciążenia, ale umożliwia każdemu z systemów HIPERLAN wykrycie zakłóceń wywoływanych przez inne systemy, a zatem może uniknąć pracy wspólnokanałowej z innymi systemami, w szczególności z systemami radarowymi. System wykrywa, który kanał jest wolny, i automatycznie się na niego przełącza. Działanie takie umożliwia licznym systemom HIPERLAN działanie w tym samym środowisku biurowym.

Należy zauważyć, że liczby podane w scenariuszach rozmieszczenia oparto na założeniu, że dla sieci WLAN dostępne jest całe pasmo 330 MHz. Przyjmując, że przedmiotowe pasmo będzie dostępne w dwóch podzakresach (5 150-5 350 MHz i 130 MHz powyżej 5 470 MHz) i uwzględniając separację międzykanałową oraz potrzebę utworzenia pasma ochronnego na granicach dwóch podzakresów, przypuszczalna liczba kanałów użytkowanych w badaniu wynosi 8 dla typu 1 i 14 dla typu 2.

W niniejszym badaniu stosuje się inne parametry sieci HIPERLAN, uzgodnione przez ETSI:

- średnie tłumienie spowodowane przez budynki w odniesieniu do instrumentów służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych): 17 dB;

- współczynnik aktywny/pasywny: 5%
- odsetek użytkownika na zewnątrz: 15%
- scenariusze rozmieszczenia: 1200 systemów dla dużych budynków biurowych, 250 systemów dla obszarów przemysłowych.

Parametry dla aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej pochodzą z parametrów SARu znajdujących się w dodatku 1 do niniejszego zalecenia. Typ SAR4 posłużył za wzór do analizy zakłóceń w pracy SARu wywołanych przez HIPERLAN, jednak podobne wyniki można osiągnąć korzystając z innych typów. SAR typu 2-4 wykorzystuje się do analizy zakłóceń w pracy sieci HIPERLAN wywołanych przez SAR.

2.2 Analiza współużytkowania (zakłócenia w pracy SARu wywołane przez sieć WLAN)

W tabeli 4 przedstawiono analizę współużytkowania dla trzech rozważanych przypadków: sieci HIPERLAN typu 1 (klasa B i klasa C) i typu 2.

Uwzględniając spodziewane zagęszczenie sieci HIPERLAN (1200 systemów przypadających na duży budynek biurowy i 250 przypadających na obszary przemysłowe) ani przypadki badane wyłącznie na zewnątrz, ani przypadki bania zarówno na zewnątrz jak i w pomieszczeniach, nie stanowią możliwego scenariusza współużytkowania dla żadnego z trzech rozważanych przypadków.

Dla użytkownika wyłącznie w pomieszczeniach, współużytkowanie nie jest możliwe dla typu 1 klasy C o wysokiej mocy, natomiast typ 1 klasa B i typ 2 wymagają dalszych ustaleń.

W rzeczywistości ograniczenie do 440 systemów dla typu 2 działających w pomieszczeniach wskazane w tabeli 4 dotyczy wyłącznie pojedynczego kanału. Uwzględniając opisany powyżej mechanizm DFS można przyjąć, że systemy HIPERLAN typu 2 można rozmieścić w 14 dostępnych kanałach, za teoretyczny górny limit przyjmując 6160 systemów w obszarze oświetlenia (footprint) SAR wynoszącym 76,5 km². Górna granica dla typu 1 klasy B wynosi 5208 systemów.

TABELA 4

Dopuszczalna aktywna wydajność sieci HIPERLAN na kanałach współużytkowanych z SAR4

Rodzaj sieci HIPERLAN	Typ 1/Klasa B		Typ 1/Klasa C		Typ 2	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Maksymalna transmitowana moc (W) średni wpływ TPC	0,1 Niedostępny	-10	1 Niedostępny	0	0,2	-7 -3
Odległość (km) i tłumienie w wolnej przestrzeni	425,7	-159,5	425,7	159,5	425,7	-159,5
Dodatkowe tłumienie trasy transmisji (dB):		0		0		0
- Tylko na zewnątrz		-17		-17		-17
- Tylko w pomieszczeniach		-7,8		-7,8		-7,8
- Mieszane (15% na zewnątrz)						
Zysk anteny, nadajnik (dB)		0		0		0

TABELA 4 (koniec)

Rodzaj sieci HIPERLAN	Typ 1/Klasa B		Typ 1/Klasa C		Typ 2	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Zysk anteny, odbiornik (dB)		42,7		42,7		42,7
Tłumienie polaryzacji (dB)		-3		-3		-3
Próg zakłóceń SARu ($I/N = -6$ dB), (dB(W/Hz))		-205,4		-205,4		-205,4
Moc odbierana (dB(W/kanal)) (kanał: 23,5 MHz. typ 1/ 16 MHz typ 2):						
- Tylko na zewnątrz		-129,8		-119,8		-129,8
- Tylko w pomieszczeniach		-146,8		-136,8		-146,8
- Mieszane (15% na zewnątrz)		-137,6		-127,6		-137,6
Moc odbierana (dB(W/Hz)):						
- Tylko na zewnątrz		-203,5		-193,5		-201,8
- Tylko w pomieszczeniach		-220,5		-210,5		-218,8
- Mieszane (15% na zewnątrz)		-211,3		-201,3		-209,6
Margines dB/(Hz ⁻¹):						
- Tylko na zewnątrz		-1,9		-11,9		-3,6
- Tylko w pomieszczeniach		15,1		5,1		13,4
- Mieszane (15% na zewnątrz)		5,9		-4,1		4,2
Obszar oświetlenia (footprint) SAR (km ²)	76,5	18,8	76,5	18,8	76,5	18,8
Dopuszczalne aktywne zagęszczenie sieci HIPERLAN (/km ² /kanał):						
- Tylko na zewnątrz	0,0085	-20,7	0,00085	-30,7	0,0058	-22,4
- Tylko w pomieszczeniach	0,43	-3,7	0,043	-13,7	0,29	-5,4
- Mieszane (15% na zewnątrz)	0,051	-12,9	0,0051	-22,9	0,034	-14,6
Współczynnik aktywny/pasywny	5%	13	5%	13	5%	13
Razem łącznie (aktywne + pasywne) Zagęszczenie sieci HIPERLAN (/km ² /kanał):						
- Tylko na zewnątrz	0,17	-7,7	0,017	-17,7	0,11	-9,4
- Tylko w pomieszczeniach	8,51	9,3	0,851	-0,7	5,75	7,6
- Mieszane (15% na zewnątrz)	1,02	0,1	0,102	-9,9	0,69	-1,6
Maksymalna liczba sieci HIPERLAN aktywnych + pasywnych na kanał w obszarze oświetlenia (footprint) SAR (76,5 km ²):						
- Tylko na zewnątrz	13		1		8	
- Tylko w pomieszczeniach	651		65		440	
- Mieszane (15% na zewnątrz)	78		8		53	

Podane wartości odpowiadają w przybliżeniu pięciu dużym budynkom biurowym w obszarze oświetlenia (footprint) SAR o powierzchni 76,5 km², i chociaż podany przypadek znacząco odbiega od najbardziej pesymistycznego scenariusza, można uznać go za racjonalne założenie dla obszarów miejskich i podmiejskich.

W związku z tym można stwierdzić, że te dwie służby mogą chociaż w nieznacznym stopniu współużytkować pasmo, gdy systemy wykorzystujące sieć HIPERLAN typu 2 lub typu 1 klasy B są rozmieszczone w pomieszczeniach.

Mechanizm DFS umożliwi równomierny rozkład obciążenia na dostępnych kanałach. Jeżeli wybór kanałów nie jest losowy, niniejsza hipoteza może być błędna, a wnioski będą wymagały zmian.

2.3 Analiza współużytkowania (zakłócenia w pracy sieci WLAN dużych prędkości wywołane przez SARy)

Pierwszym krokiem w analizie potencjału zakłóceń w pracy sieci WLAN dużych prędkości wywołanych przez SARy umieszczone w przestrzeni kosmicznej jest określenie mocy sygnału z listków bocznych systemów SAR na powierzchnię Ziemi. Na potrzeby tej analizy wykorzystano średni zysk listków bocznych, ponieważ listki boczne gwarantują znacznie większą powierzchnię, niż szczytowy zysk i skutkują dłuższym czasem trwania zakłócenia. Następnie określa się próg odbiornika WLAN dużych prędkości. Margines zakłóceń można wówczas obliczyć porównując poziom zakłóceń SARu z progiem zakłóceń sieci LAN. W tabeli 5 przedstawiono margines zakłóceń w pracy rozmieszczonych na zewnątrz sieci lokalnych bezprzewodowych dużych prędkości, wywołanych przez listki boczne SAR2-4 w zakresie częstotliwości 5 250-5 350. W poniżej tabeli przedstawiono dodatni margines, który skutkowałby pozytywnym scenariuszem współużytkowania.

TABELA 5

Sieci WLAN dużych prędkości a listki boczne SARów

Parametr	SAR2		SAR3		SAR4	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)	4 800,00	36,81	1 700,00	32,30	1 700,00	32,30
Zysk anteny, nadajnik (dB)	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00	-5,00
Zysk anteny, odbiornik (dB)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Długość fali (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Odległość (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Zmniejszenie szerokości pasma (dB)	-12,87	-12,87	-12,87	-12,87	-3,98	-3,98
Moc odbierana (dBW)		-144,11		-145,09		-136,20
Próg zakłóceń sieci HIPERLAN		-115,00		-115,00		-115,00
Margines (dB)		29,11		30,09		21,20

Dla SAR2-4 zysk szczytowy anten jest jednak o 43–47,7 wyższy niż średni poziom listka bocznego wynoszący - 5 dBi. W związku z tym, w czasie trwania przelotu, który dla wiązki głównej SAR wynosi około 0,5-1,0 s, poziomy zakłóceń SARów na powierzchni byłyby powyżej progu zakłóceń sieci WLAN w przypadku najbardziej pesymistycznego scenariusza (HIPERLAN typu 2: -115 dBW). Jest to widoczne w tabeli 5 przy analizie marginesu, który stałby się negatywny.

Bardziej odpowiednim sposobem na określenie maksymalnego dopuszczalnego poziomu zakłóceń byłoby uwzględnienie C/I o wymaganej wartości powyżej 15 dB. W przypadku gdy nadajniki RLAN znajdują się w odległości 50 m od siebie (najbardziej pesymistyczny scenariusz) dopuszczalny poziom zakłóceń może wzrosnąć o 10 dB (-105 dBW zamiast -115 dBW). Dla SAR4 w niniejszej analizie dla sprzętu pracującego na zewnątrz margines dla najgorszego przypadku wynosi -16,5 dB. Użycie dla celów niniejszej analizy rozmieszczenia sieci RLAN w pomieszczeniach (tłumienie 17 dB) skutkowałoby nieznacznie bardziej pozytywnym scenariuszem współużytkowania. Okres powtórzenia dla SARu wynosi 8-10 dni, chociaż SAR nie musi być aktywny przy każdym powtórnym

przelocie. W związku z tym, dany obszar na Ziemi byłby oświetlony pojedynczą główną wiązką SARu nie częściej niż przez 0,5-1,0 s co 8-10 dni.

2.4 Wnioski

W odniesieniu do zakłóceń w pracy SAR wywołanych przez sieci WLAN w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz w wyniku analizy wysnuto trzy główne wnioski:

- urządzenia sieci WLAN użytkowane wyłącznie w pomieszczeniach są kompatybilne z pracą SARów, natomiast sieci WLAN pracujące na zewnątrz nie są kompatybilne z SARami;
- sieci WLAN pracujące w pomieszczeniach, których średnią e.i.r.p¹ ograniczono do 200 mW (lub do 100 mW w przypadku niestosowania TPC), i średnie zagęszczenie e.i.r.p ograniczono do 10 mW w każdym pasmie 1 MHz są kompatybilne z pracą SARów;
- ponadto do osiągnięcia kompatybilności systemów WLAN z pracą SARów wymagane są dwie dodatkowe funkcje:
 - sterowanie mocą nadajnika (TPC) w celu zapewnienia współczynnika osłabienia równego co najmniej 3 dB; bez funkcji TPC średnia e.i.r.p nie powinna przekraczać 100 mW na każdym z kanałów 20 MHz;
 - DFS związany z mechanizmem wyboru kanałów, który jest wymagany do umożliwienia równomiernego rozkładu obciążenia kanałów WLAN dla co najmniej 330 MHz.

Analiza zakłóceń w pracy sieci WLAN wywoływanych przez SARy przyniosła pozytywne skutki w odniesieniu do pracy w pomieszczeniach.

3 Badanie sieci RLAN i SARów

3.1 Parametry techniczne typowych sieci WLAN dużych prędkości

Parametry techniczne typowych sieci WLAN dużych prędkości przy 5,3 GHz podano dla trzech konfiguracji. Wspomniane sieci WLAN dużych prędkości określa się jako radiowe sieci LAN lub sieci RLAN. Parametry wybrane dla konfiguracji w tej analizie są parametrami, które spowodowałyby największe zakłócenia w pracy odbiornika SAR. Informacje dotyczące pierwszej konfiguracji, RLAN1, sieci WLAN dużych prędkości pozyskano ze sprawozdania i zlecenia FCC FCC 97-7 z dnia 9 stycznia 1997 r., a informacje dotyczące sieci HIPERLAN pozyskano z dokumentu 7C/54 z dnia 18 września 1996 r. Przedmiotowe parametry podsumowano w tabeli 6. Informacje dotyczące drugiej konfiguracji RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości uzyskano od Grupy Koordynacyjnej Częstotliwości Kosmicznych (SFCG)-18/45, 8-17 września 1998. W drugiej konfiguracji RLAN2 odnotowano zauważalny wzrost mocy nadajnika sieci WLAN dużych prędkości, wzrost współczynnika zastosowania w pomieszczeniach/na zewnątrz i wynikające stąd mniejsze średnie tłumienie spowodowane przez budynki, wzrost współczynnika aktywnego/pasywnego i wzrost przewidywanej gęstości rozmieszczenia. Informacje dotyczące trzeciej konfiguracji RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości uzyskano od Grupy Koordynacyjnej Częstotliwości Kosmicznych (SFCG)-19/39, 8-15 września 1999 i z dokumentu 7C110 „Ograniczenia dotyczące współużytkowania w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz przez aktywne sensory umieszczone w przestrzeni kosmicznej (SAR) i sieci lokalne bezprzewodowe dużych prędkości” („Sparing constans bitewne spacerek active sensor (Sar) and wir less high speed loca area networks in the 5 250-5 350 MHz band”) z dnia 17 lutego 1999 r. Trzecia konfiguracja - RLAN3 - jest ograniczona wyłącznie do użytku w pomieszczeniach przy średnim przewidywanym zagęszczeniu rozmieszczenia.

¹ Średnia e.i.r.p. odnosi się do e.i.r.p. uśrednionej dla transmisji przy ustawieniu najwyższej mocy.

TABELA 6

Parametry techniczne sieci WLAN dużych prędkości w zakresie częstotliwości 5,3 GHz

Parametr	Wartość		
	RLAN1	RLAN2	RLAN3
Szczytowa moc promieniowania (W)	0,25	1,00	0,20
Rozmieszczenie (%)	99 w pomieszczeniach/ 1 na zewnątrz	85 w pomieszczeniach/ 15 na zewnątrz	100 w pomieszczeniach/ 0 na zewnątrz
Średnie tłumienie (dB)	17,0	7,8	17,0
Polaryzacja	Losowo	Losowo	Losowo
Szerokość pasma (MHz)	23,6	23,6/kanał (14 kanałów)	23,6/kanał (14 kanałów)
Cykl pracy zakłóceń dla SARu (%)	100	100	100
Aktywność operacyjna (współczynnik aktywny/pasywny (%))	1	5	5
Średnie zagęszczenie (nadajnik/km ²)	12	1 200/powierzchnię biurową (89 000/km ² /kanał)	1 200/powierzchnię biurową, 250/obszar przemysłowy
Próg zakłóceń (dBW)	-120	-120 (do opracowania)	-100

3.2 Zakłócenia w pracy SARów wywołane przez sieci WLAN dużych prędkości

Pierwszym krokiem w analizie potencjału zakłóceń w pracy odbiorników SAR umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, wywołanych przez sieci WLAN dużych prędkości, jest określenie mocy sygnału z pojedynczego nadajnika WLAN dużych prędkości na SAR umieszczony w przestrzeni kosmicznej. Margines pojedynczego źródła zakłócenia można wówczas obliczyć porównując dany poziom zakłóceń z progiem zakłóceń SAR. Znając obszar oświetlenia (footprint) SAR, można obliczyć dozwolone zagęszczenie aktywnych nadajników WLAN dużych prędkości wykorzystując konserwatywny współczynnik aktywności dla ułamka nadajników pracujących w dowolnym momencie.

3.2.1 Zakłócenia wywołane przez pojedynczą sieć RLAN zlokalizowaną na zewnątrz

W tabeli 7 przedstawiono zakłócenia w pracy SAR2-4 wywołane przez pojedynczy nadajnik RLAN sieci lokalnych bezprzewodowych dużych prędkości w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz. Nie wykorzystano SAR1, ponieważ system SAR1 jest przeznaczony do pracy w zakresie częstotliwości 5 150-5 250 MHz. Przyjęto antenę dookólną dla RLAN1, RLAN2 i RLAN3. Dla SAR4 w Tabeli 7 przedstawiono negatywny margines dla nadajników RLAN1, RLAN2 i RLAN3 sieci lokalnych bezprzewodowych dużych prędkości. Dla SAR3 w Tabeli 7 przedstawiono pozytywny margines dla nadajników RLAN1, RLAN3 i negatywny margines dla RLAN2. Dla SAR2, oraz zakłóceń wywołanych pracą RLAN1, RLAN2 i RLAN3, istnieją pozytywne marginesy dla zakłóceń wszystkich trzech nadajników RLAN.

TABELA 7

Zakłócenia w pracy SARów wywołane przez pojedynczy nadajnik RLAN zlokalizowany na zewnątrz

Parametr	SAR2		SAR3		SAR4	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)						
RLAN1	0,25	-6,02	0,25	-6,02	0,25	-6,02
RLAN2	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
RLAN3	0,20	-6,99	0,20	-6,99	0,20	-6,99
Tłumienie spowodowane przez budynki (dB)		0,00		0,00		0,00
Zysk anteny, nadajnik (dB)		0,00		0,00		0,00
Zysk anteny, odbiornik (dB)		43,33		44,52		44,52
Tłumienie polaryzacji (dB)		-3,00		-3,00		-3,00
Długość fali (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Odległość (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Moc odbierana (dBW)						
RLAN1		-128,74		-124,03		-124,03
RLAN2		-122,72		-118,00		-118,00
RLAN3		-129,71		-124,99		-124,99
Współczynnik szumów (dB)		4,62		4,62		4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Szerokość pasma odbiornika (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Moc szumu (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Próg zakłóceń SARu ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margines (dB)						
RLAN1		8,90		4,19		-4,71
RLAN2		2,88		-1,83		-10,73
RLAN3		9,87		5,16		-3,74

3.2.2 Zakłócenia wywołane pracą nadajników RLAN umieszczonych w pomieszczeniach

W tabeli 8 przedstawiono dopuszczalną konfigurację zagęszczenia RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz dla SAR2-4. W tabeli 8 przedstawiono również, że dopuszczalne zagęszczenie RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości dla SAR4 wynosi około 118 nadajników/km², poniżej którego poziom zakłóceń wywoływany w pracy 40 MHz SAR4 jest dopuszczalny. Za pomocą informacji zawartych w dokumencie 7C/54 z dnia 18 września 1996 r. dotyczących przewidywanej gęstości rozmieszczenia sieci HIPERLAN średnie zagęszczenie sieci HIPERLAN w Europie oszacowano w tym czasie na 12 nadajników/km². Przewidywano, że zagęszczenie w obszarach metropolii i obszarach gęsto zaludnionych będzie wyższe od średniej. W tabeli 9 przedstawiono dopuszczalne zagęszczenie konfiguracji RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz dla SAR2-4. W tabeli 9 przedstawiono również, że dopuszczalne zagęszczenie RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości dla SAR4 wynosi około 0,2 nadajników/km², co odpowiada wartości 1 nadajnik/5 km², poniżej którego poziom zakłóceń wywoływany w pracy 40 MHz SAR4 jest dopuszczalny. Wspomniane niskie dopuszczalne zagęszczenie należy porównać z przewidywaną gęstością rozmieszczenia, określoną w dokumencie SFCG-18/45, 8-17 września 1998 r., która wynosi 1 200 nadajników/obszar biurowy; ponadto, wydajność RLAN2 w pomieszczeniach wynosi 89×10^3 /km²/kanał, przy odległości separacyjnej 0,5 m. Przewidywane wysokie zagęszczenie zakłada wykorzystanie 14 kanałów, każdy do szerokości 23,6 MHz, rozłożonych w paśmie 330 MHz. W tabeli 10 przedstawiono dopuszczalne zagęszczenie konfiguracji RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz dla SAR2-4. W tabeli 10 przedstawiono również, że dopuszczalne zagęszczenie RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości dla SAR4 wynosi około 37 nadajników/km²/kanał, poniżej którego poziom zakłóceń wywoływany w pracy 40 MHz SAR4 jest dopuszczalny. Przewidywane wysokie zagęszczenie zakłada wykorzystanie 14 kanałów, każdy do szerokości 23,6 MHz, rozłożonych w paśmie 330 MHz. Dla 14 kanałów, dozwolone zagęszczenie wynosi wtedy 518 nadajników/km². Wspomniane niskie dopuszczalne zagęszczenie należy porównać z przewidywaną gęstością rozmieszczenia określoną w dokumencie 7C/110, która wynosi 1 200 nadajników/duży obszar biurowy i 250 nadajników/duże obszary przemysłowe. Zatem, dopuszczalne zagęszczenie dla SAR4 wynosiłoby mniej niż jeden duży obszar biurowy i około dwóch obszarów przemysłowych, co wydaje się być nierealistyczne. Dla SAR2 i SAR4 dopuszczalne zagęszczenie na 14 kanałach wynosiłoby odpowiednio 4 270 i 3 990 nadajników. Odpowiadałoby to około trzem dużym budynkom biurowym lub 15 obszarom przemysłowym, co może być bardziej racjonalnym założeniem w odniesieniu do obszarów miejskich i podmiejskich.

Dla obrazowania SAR przy S/N wynoszącym do najmniej 8 dB I/N może wynosić 0 dB i w nadal nie obniżyć standardowej dewiacji mocy rozdzielczej o więcej niż 10%. Zwiększa to dozwolone zagęszczenie nadajników czterokrotnie. Dla zakłóceń w pracy SAR2 i SAR4 wywoływanych przez pracę RLAN3 odpowiadałoby to około 12 dużym budynkom biurowym lub 60 obszarom przemysłowym w obszarze oświetlenia SAR. Dla SAR interferometrycznych I/N musi być mniejsze niż -6 dB bez względu na S/N .

TABELA 8

Zakłócenia w pracy SARów wywołane przez RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości

Parametr	SAR2		SAR3		SAR4	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)	0,25	-6,02	0,25	-6,02	0,25	-6,02
Tłumienie spowodowane przez budynki (dB)		-17,00	17,00	-17,00	17,00	-17,00
Zysk anteny, nadajnik (dB)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zysk anteny, odbiornik (dB)		43,33	44,52	44,52	44,52	44,52
Tłumienie polaryzacji (dB)		-3,00	3,00	-3,00	3,00	-3,00
Długość fali (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Odległość (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Moc odbierana (dBW)		-145,74		-141,03		-141,03
Współczynnik szumów (dB)		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Szerokość pasma odbiornika (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Moc szumu (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Próg zakłóceń SARu ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margines (dB)		25,90		21,19		12,29
Obszar oświetlenia (footprint) SAR (km ²)	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Średnia moc na powierzchni sieci HIPERLAN (dba)		3,88		3,59		-5,31
Aktywne nadajniki/km ²	9,78		9,14		1,18	
Aktywne nadajniki/km ² przy współczynniku aktywności 1%	978,40		913,56		117,88	

TABELA 9

Zakłócenia w pracy SARów wywołane przez RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości

Parametr	SAR2		SAR3		SAR4	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00
Tłumienie spowodowane przez budynek (dB)		-7,80	7,80	-7,80	7,80	-7,80
Zysk anteny, nadajnik (dB)		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zysk anteny, odbiornik (dB)		43,33	44,52	44,52	44,52	44,52
Tłumienie polaryzacji (dB)		-3,00	3,00	-3,00	3,00	-3,00
Długość fali (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Odległość (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Moc odbierana (dBW)		-130,52		-125,80		-125,80
Współczynnik szumów (dB)		4,62	4,62	4,62	4,62	4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Szerokość pasma odbiornika (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Moc szumu (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Próg zakłóceń SARu ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margines (dB)		10,68		5,97		-2,93
Obszar oświetlenia (footprint) SAR (km ²)	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Średnia moc na powierzchni sieci HIPERLAN (dB(W/km ²))		-11,34		-11,63		-20,53
Aktywne nadajniki/km ²	0,07		0,07		0,01	
Aktywne nadajniki/km ² przy współczynniku aktywności 5%	1,47		1,37		0,18	

Jeśli chodzi o takie zagęszczenie samoograniczające, że otaczające sieci WLAN dużych prędkości powodują niedopuszczalne zakłócenia między sobą, przyjmuje się, że dla RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości zajmują 14 kanałów, każdy o szerokości 23,6 MHz, rozłożone w paśmie 330 MHz, a nadajniki mogą znajdować się w odległości 0,5 m od siebie, powodując możliwe zagęszczenie $89 \times 10^3/\text{km}^2/\text{kanal}$ w małych obszarach odpowiadających dużej powierzchni biurowej. Odbiornik LAN nie wymaga już, aby zakłócenia były poniżej -100 dBW, ale wymagane jest, aby C/I wznosiło powyżej 20 dB. Umożliwia to nadajnikom pracę w odległości 0,5 m od siebie bez wzajemnego zakłócania.

TABELA 10

Zakłócenia w pracy SARów wywołane przez RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości

Parametr	SAR2		SAR3		SAR4	
	Wartość	dB	Wartość	dB	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)	0,20	-6,99	0,20	-6,99	0,20	-6,99
Tłumienie spowodowane przez budynek (dB)		-17,00		-17,00		-17,00
Zysk anteny, nadajnik (dB)		0,00		0,00		0,00
Zysk anteny, odbiornik (dB)		43,33		44,52		44,52
Tłumienie polaryzacji (dB)		-3,00		-3,00		-3,00
Długość fali (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96	$5,65 \times 10^{-2}$	-24,96
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98	$6,33 \times 10^{-3}$	-21,98
Odległość (km)	638,51	-116,10	425,67	-112,58	425,67	-112,58
Moc odbierana (dBW)		-146,71		-141,99		-141,99
Współczynnik szumów (dB)		4,62		4,62		4,62
$k T$	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98	$4,00 \times 10^{-21}$	-203,98
Szerokość pasma odbiornika (MHz)	356,50	85,52	356,50	85,52	46,00	76,63
Moc szumu (dBW)		-113,84		-113,84		-122,73
Próg zakłóceń SARu ($I/N = -6$ dB)		-119,84		-119,84		-128,73
Margines (dB)		26,87		22,16		13,26
Obszar oświetlenia (footprint) SAR (km ²)	159,03	22,01	57,55	17,60	57,55	17,60
Średnia moc na powierzchni sieci HIPERLAN (dB(W/km ²))		4,85		4,56		-4,34
Aktywne nadajniki/km ² /kanał	15,29		14,27		1,84	
Aktywne nadajniki/km ² /kanał przy współczynniku aktywności 5%	305,75		285,49		36,84	

3.3 Zakłócenia w pracy sieci WLAN dużych prędkości wywołane przez SARy

Pierwszym krokiem w analizie potencjału zakłócenia w pracy sieci WLAN dużych prędkości wywołanego przez systemy SAR umieszczone w przestrzeni kosmicznej jest określenie mocy sygnału z umieszczonych w przestrzeni kosmicznej systemów SAR na powierzchni Ziemi. Następnie określa się próg odbiornika sieci WLAN dużych prędkości. Margines zakłóceń można wówczas obliczyć porównując poziom zakłóceń SARu z progiem zakłóceń sieci LAN. Dla SAR1-4 zysk szczytowy anten jest o 40–50 dB wyższy niż średni poziom listka bocznego wynoszący -5 dBi. W związku z tym, w czasie trwania przelotu, który dla wiązki głównej SAR wynosi około 0,5-1,0 s, poziomy zakłóceń SARu na powierzchni byłyby znacznie powyżej progu zakłóceń RLAN1. Jednakże dla RLAN2 poziom -120 dBW nie jest już maksymalnym dopuszczalnym poziomem zakłóceń, lecz zamiast tego C/I musi być większe od 20 dB, co w przypadku nadajników znajdujących się w odległości 0,5 m od siebie może zwiększyć dopuszczalny poziom zakłóceń o 50-80 dB.

Sytuacja RLAN3 jest podobna do sytuacji RLAN2. Dla typowych SAR2-4 zysk szczytowy anten jest o 14-38 dB wyższy od średnich poziomów listka bocznego wynoszących -5 dBi. W związku z tym, w czasie trwania przelotu, który dla wiązki głównej SAR wynosi około 0,5-1,0 s, poziomy zakłóceń SARu na powierzchni byłyby znacznie powyżej progu zakłóceń RLAN3. Jednakże dla RLAN3 poziom -120 dBW nie jest już maksymalnym dopuszczalnym poziomem zakłóceń, lecz zamiast tego *C/I* musi być większe od 20 dB, co w przypadku nadajników znajdujących się w odległości 0,5 m od siebie może zwiększyć dopuszczalny poziom zakłóceń o 50-80 dB. Okres powtórzenia dla SARu wynosi 8-10 dni, chociaż SAR nie musi być aktywny przy każdym powtórnym przelocie. W związku z tym, dany obszar na Ziemi byłby oświetlony wiązką SAR nie częściej niż przez 0,5-1,0 s co 8-10 dni.

3.4 Wnioski

W niniejszym zaleceniu przeprowadzono analizę potencjalnych zakłóceń między jedną konfiguracją RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości a umieszczonymi w przestrzeni kosmicznej radarami z aperturą syntetyczną w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz dla 1) pojedynczego nadajnika RLAN1-3 uruchomionego na zewnątrz i 2) zagęszczenia rozmieszczenia RLAN3 w pomieszczeniach. Dla pojedynczego nadajnika uruchamianego na zewnątrz, prędkość zakłócenia nadajnika RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości były powyżej dopuszczalnego poziomu dla SAR4, zakłócenia nadajnika RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości były powyżej dopuszczalnego poziomu dla SAR3 i SAR4, a zakłócenia nadajnika RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości były powyżej dopuszczalnego poziomu dla SAR4.

Dla zakłóceń w pracy SARów wywołanych przez konfigurację RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości w analizie wykazano, że dowolna gęstość powierzchniowa mniejsza niż 32-128 nadajników/km² wygeneruje poziom zakłóceń dopuszczalny dla SARu w zależności od piksela obrazowania SAR *S/N*. W przeszłości przypuszczalne zagęszczenie w Europie oszacowano tylko na 12 nadajników/km². Przy zagęszczeniu 0,32 aktywnych nadajników/km² (zagęszczenie 32 aktywnych nadajników/km² przy współczynniku aktywności 1%) typowy WLAN dużych prędkości (0,25 W moc nadajnika) uruchomiony na zewnątrz doświadczy samozakłóceń na poziomie -120 dBW, czyli na poziomie będącym progiem zakłóceń dla RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości. Dla zakłóceń w pracy SARów wywołanych przez konfigurację RLAN2 sieci WLAN dużych prędkości w analizie wykazano, że tylko dla gęstości powierzchniowej mniejszej niż 0,2-1,5 nadajników/km² sieci LAN wygenerują poziom zakłóceń dopuszczalny dla SARu w zależności od piksela obrazowania SARu *S/N*. Obecnie przewidywane średnie zagęszczenie wynosi 1 200 nadajników/obszar biurowy, do około 89×10^3 /km²/kanał. Przewidywane wysokie zagęszczenie zakłada 14 kanałów, każdy do szerokości 23,6 MHz, rozłożonych w paśmie 330 MHz. Przy umieszczeniu w pomieszczeniach i uwzględnieniu zakłóceń w pracy SARów wywołanych przez konfigurację RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości w analizie wykazano, że dowolna gęstość powierzchniowa mniejsza niż 37-305 nadajników/km²/kanał wygeneruje poziom zakłóceń dopuszczalny dla SARu, w zależności od piksela obrazowania SARu *S/N*. Przewidywane średnie zagęszczenie szacuje się na 1 200 nadajników/dużą powierzchnię biurową i 250 nadajników/obszar przemysłowy. W przewidywanym wysokim zagęszczeniu przyjmuje się 14 kanałów, każdy do szerokości 23,6 MHz, rozłożonych w paśmie 330 MHz. Dla zakłóceń w pracy SARów wywołanych przez konfigurację RLAN3 sieci WLAN dużych prędkości w analizie wykazano, że tylko dla gęstości powierzchniowej mniejszej niż 518-4 270 nadajników/km² na 14 kanałach sieci LAN wygenerują poziom zakłóceń dopuszczalny dla SARu. Dla zakłóceń w pracy SAR2 i SAR4 wywoływanych przez pracę RLAN3 odpowiadałoby to około 3-12 dużym budynkom biurowym lub 15-60 obszarom przemysłowym w obszarze oświetlenia (footprint) SAR, w zależności od piksela SAR *S/N*.

Dla zakłóceń w pracy RLAN1 sieci WLAN dużych prędkości wywołanych przez systemy SAR umieszczone w przestrzeni kosmicznej w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz poziomy zakłóceń SAR na powierzchni listków bocznych są 14-38 dB poniżej progu zakłóceń sieci LAN. Dla szczytowych zakłóceń anteny SAR w czasie trwania przelotu, który dla wiązki głównej SAR wynosi około 0,5-1,0 s, poziomy zakłóceń SAR na powierzchni byłyby znacznie powyżej progu zakłóceń RLAN1 o 10-30 dB. Jednakże dla RLAN2 i RLAN3 poziomy odpowiednio -120 dBW i -100 dBW nie są już maksymalnymi dopuszczalnymi poziomami zakłóceń, lecz zamiast tego C/I musi być większe od 20 dB, co w przypadku nadajników znajdujących się w odległości 0,5 m od siebie może zwiększyć dopuszczalny poziom zakłóceń o 50-80 dB, tak aby nawet w głównej wiązce SAR były poniżej progu zakłóceń sieci LAN. Ponieważ okres powtarzalności dla SAR wynosi 8-10 dni, a SAR nie musi być aktywny dla każdego powtórnego przelotu, dany obszar na Ziemi byłby oświetlony wiązką SAR nie częściej niż przez 0,5-1,0 s co 8-10 dni.

4 Badanie sieci RLAN i wysokościomierzy

4.1 Zakłócenia w pracy wysokościomierzy wywołane przez sieci RLAN

Do celów niniejszej analizy rozpatrywany jest jeden RLAN typu HIPERLAN w głównym listku wysokościomierza.

Wysokościomierz działa w rozszerzonym paśmie 320 MHz, zaś HIPERLAN działa w zakresie częstotliwości od 16 MHz (typ 2) do 23,5 MHz (typ 1) włączonym do szerokości pasma wysokościomierza. Maksymalna przekazana e.i.r.p ($P_h G_h$) sieci HIPERLAN wynosi 30 dBm (typ 1) lub 23 dBm (typ 2). Zysk anteny wysokościomierza, G_0 , wynosi 32,2 dB, G_a oznacza pozaosiowy zysk anteny w kierunku sieci HIPERLAN z dodatkowym tłumieniem na wejściu L o wartości 1 dB. Wysokościomierz jest skierowany w stronę nadiru, a rozmiar anteny wynosi 1,2 m. R oznacza zasięg wysokościomierza od sieci HIPERLAN.

Moc otrzymana przez wysokościomierz od sieci HIPERLAN w osi promieniowania SARu (tj. $G_a = G_0$) wynosi:

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (1)$$

Przy zastosowaniu bardziej krytycznych parametrów sieci HIPERLAN typu 1 (określonych w § 2.2) wartość P_r wynosi -108,3 dBm.

Próg zakłóceń wysokościomierza wynosi -88 dBm; można zatem przyjąć, że wysokościomierz może wytrzymać pracę licznych sieci HIPERLAN jednocześnie, ponieważ margines wynosi 20,3 dB. Ponadto, wysokościomierz jest zbudowany tak, aby przeprowadzać pomiary głównie nad oceanami i nie jest w stanie dostarczyć dokładnych danych, gdy w zasięgu wiązki anteny znajduje się znaczna część lądu. Z analizy jasno wynika, że działanie sieci HIPERLAN nie będzie miała złego wpływu na pracę wysokościomierza.

W celu uzupełnienia można obliczyć liczbę sieci HIPERLAN w obszarze oświetlenia (footprint) -3 dB m, co może być tolerowane przez wysokościomierz działający nad lądem. Metoda ta jest scharakteryzowana w § 4.1.1 niniejszego zalecenia.

Liczba zainstalowanych sieci HIPERLAN będąca granicą interferencji mieści się w zakresie od 586 (stosowanie na zewnątrz) do 4 664 (stosowanie w pomieszczeniach). Dodatkowe marginesy wynikają z faktu, że:

- nie uwzględniono strat w wyniku polaryzacji ani propagacji (około 3 dB);
- nie uwzględniono technik ograniczania (zakłóceń), takich jak sterowanie mocą nadajnika (które przypuszczalnie daje margines co najmniej 3 dB);
- w symulacji zawyżono zysk wysokościomierza w kierunku urządzeń sieci HIPERLAN.

Dodatkowo oczekuje się, że w zakresie częstotliwości wykorzystywanej przez wysokościomierze zazwyczaj uruchomione będą tylko systemy HIPERLAN typu 2, co jest korzystne w tej sytuacji, ponieważ ich maksymalna e.i.r.p jest mniejsza (200 mW).

Można zatem stwierdzić, że sieci HIPERLAN nie spowodują zakłóceń w pracy wysokościomierza, w przypadku gdy jest on używany nad oceanami. Jeżeli jednak wysokościomierz miałby być używany nad lądem, sytuacja w niewielkim stopniu zależy od ostatecznego wyboru parametrów sieci HIPERLAN. Oczekiwany margines może pozwolić na współużytkowanie nawet w przypadku, gdy wysokościomierze działają blisko lądu. Praca sieci HIPERLAN przeznaczonych wyłącznie do użytku w pomieszczeniach i sieci HIPERLAN typu 2 znacząco udoskonaliłaby środowisko współużytkowania.

4.1.1 Oszacowanie liczby sieci RLAN w obszarze pokrycia (footprint) wysokościomierza przy -3 dB

Do celów niniejszej analizy przyjmuje się jeden HIPERLAN typu 1 w głównym listku wysokościomierza.

Wysokościomierz działa na rozszerzonym paśmie 320 MHz, a sieci HIPERLAN działają w zakresie częstotliwości od 23,5 MHz włączonym do szerokości pasma wysokościomierza. Maksymalna przekazana e.i.r.p ($P_h G_h$) sieci HIPERLAN wynosi 30 dBm. Zysk anteny wysokościomierza G_0 , wynosi 32,2 dB, G_a oznacza pozaosiowy zysk anteny w kierunku sieci HIPERLAN z dodatkowym tłumieniem na wejściu L o wartości 1 dB. Wysokościomierz jest skierowany w stronę nadiru, a rozmiar anteny wynosi 1,2 m. R oznacza zasięg wysokościomierza od sieci HIPERLAN.

Moc otrzymana przez wysokościomierz od sieci HIPERLAN w osi promieniowania SARu (tj. $G_a = G_0$) wynosi:

$$P_r = \frac{P_h G_h G_a \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2 L} \quad (2)$$

Z tego można uzyskać wartość dla P_r -108,3 dBm.

Próg zakłóceń wysokościomierza wynosi -88 dBm; można zatem przyjąć, że wysokościomierz może wytrzymać pracę licznych sieci HIPERLAN jednocześnie, ponieważ margines wynosi $20,3$ dB. Ponadto, wysokościomierz jest zbudowany tak, aby przeprowadzać pomiary głównie nad oceanami i nie jest w stanie dostarczyć dokładnych danych, gdy w zasięgu wiązki anteny znajduje się znaczna część lądu. Z analizy jasno wynika, że działanie sieci HIPERLAN nie będzie miało złego wpływu na działanie wysokościomierza.

W celu uzupełnienia można obliczyć liczbę sieci HIPERLAN w obszarze pokrycia (footprint) 3 dB m, która może być tolerowana przez wysokościomierz działający nad lądem; obliczenie nie jest proste, ponieważ przy niewielkim odchyleniu kąta φ od osi promieniowania wysokościomierza odległość do ziemi, zysk i element powierzchniowy przechwycony na poziomie terenu mogą być różne.

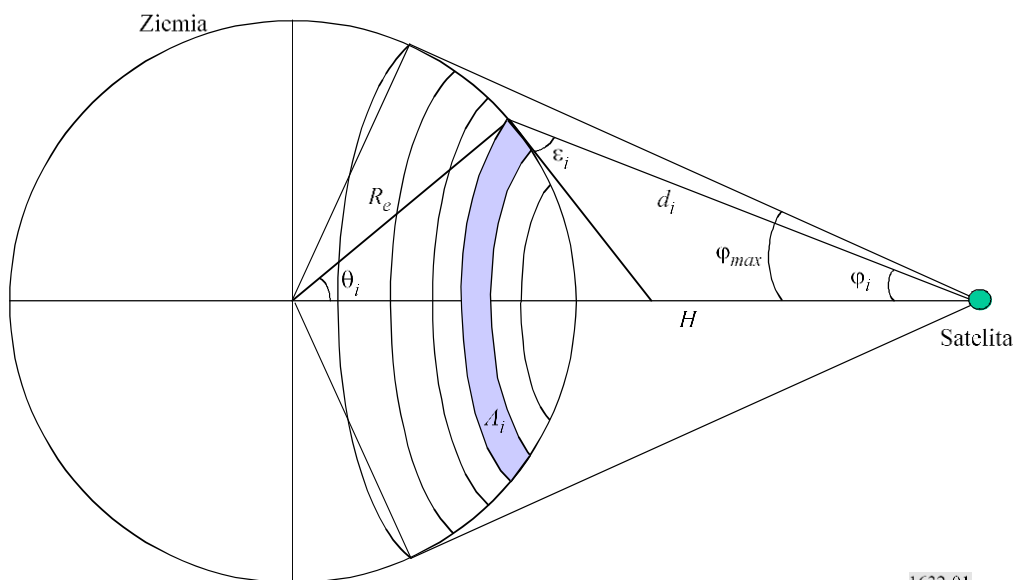
Zakładając określone zagęszczenie urządzeń HIPERLAN, tj. D , łączna liczba urządzeń HIPERLAN widziana przez satelitę (zakładając, że urządzenia są równomiernie rozmieszczone na powierzchni Ziemi) wyraża się jako $N = D \times A$, gdzie A oznacza obszar pokrycia (footprint) wysokościomierza -3 dB. Ponieważ urządzenia nie są jednakowo odległe od satelity, widoczna powierzchnia Ziemi jest podzielona na koncentryczne pasy powierzchni (zob. rys. 1) tak, aby można było przyjąć, że wszystkie urządzenia HIPERLAN w obrębie i -tego pasa powierzchni są w tej samej odległości d_i od satelity i są widoczne pod tym samym kątem nadiru, θ_i i tym samym kątem elewacji, ε_i . Liczbę urządzeń HIPERLAN w i -tym pasie wyraża się jako:

$$N_i = A_i \times (N/A) = A_i \times D \quad (3)$$

gdzie:

$$A_i = 2\pi R_e^2 \times [\cos(\theta_{i-1}) - \cos(\theta_i)] \quad \text{for } \theta_i > \theta_{i-1} \quad (4)$$

RYSUNEK 1
Geometria agregacji zakłóceń



Zagregowana moc zakłócenia sieci HIPERLAN I na wysokościomierzu wyraża się zatem sumą i -tej składowej I_i , jak określono poniżej:

$$I(W) = \sum_i I_i = \sum_i N_i \cdot \frac{1e (e.i.r.p. / 10)}{(4 \pi d_i f_0 / c)^2} \cdot G(\varphi_i) \quad (5)$$

gdzie:

- e.i.r.p.: efektywna moc promieniowana izotropowo (dBW)
- d_i : odległość pomiędzy satelitą a źródłem zakłóceń na Ziemi
- f_0 : radiowa częstotliwość środkowa
- $G(\varphi_i)$: zysk odbiornika anteny wysokościomierza satelity zależny od kąta nadiru φ_i , tj. kąta pomiędzy punktem odwzorowującym położenie satelity na powierzchni ziemi (ang. subsatellite point) a rozpatrywanym pasem.

W odniesieniu do powyższego przeprowadzono przeliczenie numeryczne: przyjęto stałą wartość gęstości mocy sieci HIPERLAN na poziomie terenu na metr kwadratowy i zmienny zysk anteny wysokościomierza przy $G_a = G_0 (\sin(\varphi)/\varphi)^2$, φ oznaczającym kąt pomiędzy linią pionową a kierunkiem satelity względem sieci HIPERLAN, co jest najbardziej niekorzystnym scenariuszem, ponieważ listek boczny wysokościomierza będzie dużo niższy od tej wartości.

Następnie obliczono całość odbieranej mocy na poziomie wysokościomierza przy obszarze pokrycia -3 dB: średnia moc dopuszczalna przez wysokościomierz wynosi -60 dBm/m² lub 0 dBm/km² ($D \times e.i.r.p.$).

Ponieważ wysokościomierze są skierowane w stronę nadiru, przy obliczaniu zakłóceń wywołanych przez sieci HIPERLAN działające w pomieszczeniach uwzględnia się dodatkowe tłumienie trasy o wartości 20 dB (spowodowane tłumieniem przez dach i sufit). W przypadku rozważania pracy sieci HIPERLAN ograniczonej do pomieszczeń, przyjmuje się, że w każdej chwili 1% urządzeń HIPERLAN będzie działać na zewnątrz – skutkując ogólnym współczynnikiem tłumienia dodatkowego o wartości 17 dB. Dla sieci HIPERLAN, które mogą być użytkowane na zewnątrz, przyjmuje się, że w danym momencie 15% urządzeń znajduje się na zewnątrz – skutkując ogólnym współczynnikiem tłumienia dodatkowego o wartości 8 dB. W obu przypadkach przyjmuje się, że w tym samym czasie transmisje będzie prowadziło 5% sieci HIPERLAN.

TABELA 11

Obliczenie liczby terminali w obszarze pokrycia (footprint) -3 dB

	W pomieszczeniach	Na zewnątrz
Gęstość mocy ($D \times e.i.r.p.$) (dBm/km ²)	0	0
e.i.r.p. (dBm)	30	30
Odsetek sieci HIPERLAN działających na zewnątrz (%)	1	15
Margines dodatkowy (dB)	17	8
Aktywne terminale/km ²	0,05	0,063
Aktywne terminale (%)	5	5
Liczba terminali/km ²	1,002	0,126
Liczba terminali w obszarze pokrycia (footprint) -3 dB	4 664	586

Wtedy liczba sieci HIPERLAN zainstalowanych w obszarze pokrycia (footprint) -3 dB będąca granicą interferencji mieści się w zakresie od 586 (stosowanie na zewnątrz pomieszczeń) do 4 664 (stosowanie w pomieszczeniach).

4.2 Zakłócenie w pracy sieci RLAN wywołane przez skaterometrię

W tym przypadku rozpatrywany jest współczynnik redukcji szerokości pasma B_h/B_a , ponieważ szerokość pasma wysokościomierza B_a jest dużo większa od szerokości pasma sieci HIPERLAN B_h . Wartość B_a wynosi 320 MHz, a wartość B_h wynosi 23,5 MHz (typ 1, najbardziej pesymistyczny scenariusz) lub 16 MHz (typ 2), ponieważ współczynnik redukcji dla typu 1 ma wartość 11,34 dB, a dla typu 2 ma wartość 13 dB. Zysk anteny sieci HIPERLAN G_h w kierunku pionowym wynosi 0 dB.

Moc otrzymana przez jeden HIPERLAN od wysokościomierza ma wartość:

$$P_r = \frac{P_a G_a G_h \lambda^2 B_h}{(4\pi)^2 R^2 L B_a} \quad (6)$$

W najgorszym przypadku (np. główna wiązka wysokościomierza, najbliższa odległość 1 347 km, sieć HIPERLAN działająca w pomieszczeniach typu 1) moc przekazana przez wysokościomierz do sieci HIPERLAN będzie miała wartość $-103,64$ dBm.

Niniejszy przypadek (wiązka główna wysokościomierza skierowana do sieci HIPERLAN jest pionowa) należy uznać za najgorszy przypadek, ponieważ wartość listków wysokościomierza bardzo szybko zmniejsza się wraz z kątem osi promieniowania (przy 4° od nadiru są na poziomie -20 dB, a przy 15° od nadiru są na poziomie -40 dB).

Z powyższych obliczeń wynika, że margines w najbardziej krytycznej sytuacji (typ 1) wynosi 10 dB; w związku z tym można stwierdzić, że wysokościomierz nie będzie zakłócał pracy sieci HIPERLAN. Sytuacja jest jeszcze bardziej korzystna dla sieci HIPERLAN typu 2 działających w pomieszczeniach. Ponadto, wysokościomierz jest radarem impulsowym; nie uwzględniono niskiej aktywności nadajnika, polaryzacji i dodatkowego tłumienia ze względu na propagację, które zapewniają dodatkowe marginesy.

4.3 Wnioski

Stwierdzono, że praca radiowysokościomierza w paśmie o szerokości 320 MHz wokół częstotliwości 5,3 GHz jest kompatybilna z sieciami RLAN. Większe marginesy można uzyskać przy systemach RLAN o parametrach zbliżonych do sieci HIPERLAN typu 2. Oczekuje się, że ten typ sieci RLAN jest zazwyczaj używany w paśmie wysokościomierza. Możliwe, że współużytkowanie między sieciami RLAN a wysokościomierzami będzie wykonalne także w paśmie powyżej 5 460 MHz.

5 Badanie sieci RLAN i skaterometrów

Obecnie skaterometry są częściej wykorzystywane do zastosowań na lądzie, a w niedalekiej przyszłości i przy rosnącej rozdzielczości tych instrumentów przewiduje się jeszcze więcej zastosowań systemów skaterometrów nad lądem. Zatem niniejsza analiza zakłóceń nie ogranicza się tylko do obszarów przybrzeżnych, ale może być rozpatrywana na skalę globalną.

5.1 Zakłócenie w pracy skaterometrów wywołane przez sieci RLAN

W systemach skaterometrycznych, moc sygnału powrotu echa szacuje się poprzez dokonanie pomiaru mocy „sygnał + szum” (tj. powrót echa plus poziom szumów systemu), a następnie odjęcie mocy „tylko-szum” (oszacowania tylko szumu systemu, lub „tło szumów”). Aby zoptymalizować wydajność systemu pomiary "sygnał + szum" i „tylko-szum" wykonuje się w różnych szerokościach pasm lub w różnym czasie. Niniejsza strategia opiera się na tym, że podczas sekwencji pomiaru nominalny szum systemu jest jednorodnie biały (stacjonarnie i przy płaskim rozmieszczeniu mocy widma).

Na podstawie powyższej sytuacji można przewidzieć dwa różne scenariusze zakłóceń. Jeden, w którym zakłócenia są stale obecne w sekwencji pomiaru, tj. biały szum fali ciągłej, i jeden, w którym zakłócenie występuje wyłącznie w jednym z obu pomiarów w wyniku ruchu satelity (przemieszczenie obszaru pokrycia (footprint) jednej z anten o wiązce płetwowej) lub zanika w sygnale źródła zakłócenia. Może to być również zależne od technik pomiarowych stosowanych w rozpatrywanych systemach skaterometrów.

Prędkość wiatru o wartości 3 m/s określono jako kryterium minimalnej wydajności skaterometrów. Przy tej prędkości wiatru wsteczne rozproszenie sygnału jest najmniejsze i w związku z tym jest najbardziej wrażliwe na szum lub zakłócenia. Szacowany błąd wynikający z drugiego scenariusza zakłóceń można opisać za pomocą wartości parametrycznej α , która ma wartość typową dla anten o wiązce płetwowej ($\alpha = 0,7$ dB) i wyraża się ją jako (Zalecenie ITU-R RS.1166).

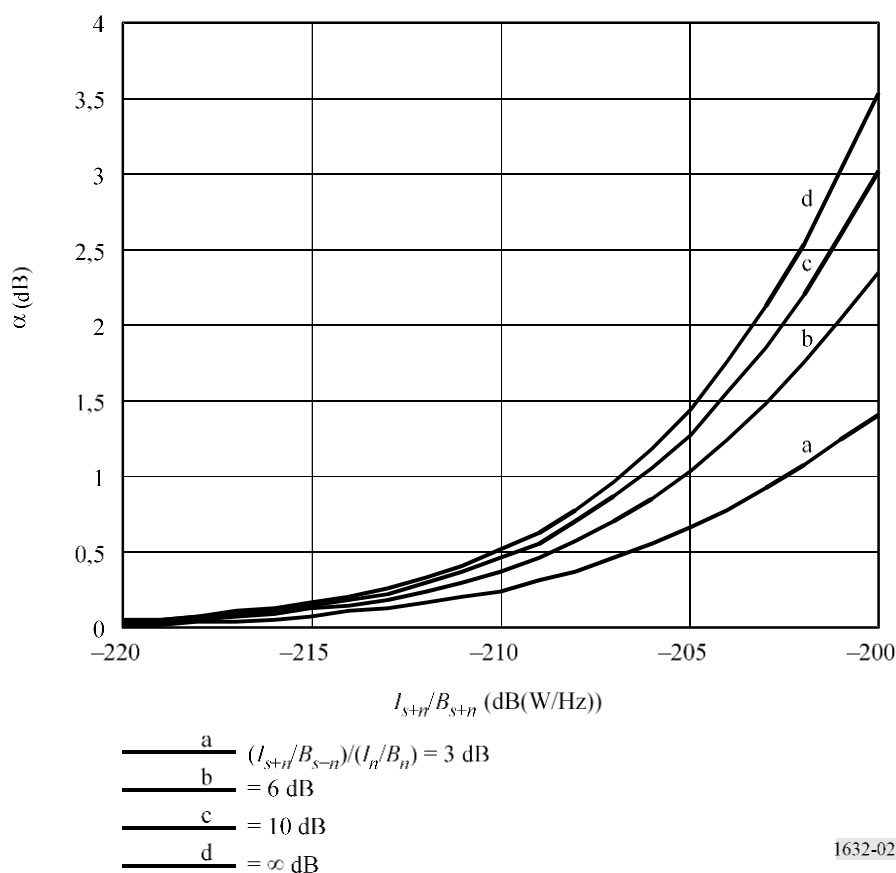
$$\alpha(\text{dB}) = 10 \log \{ [N + (I_{s+n}/B_{s+n})] / [N + (I_n/B_n)] \} \quad (7)$$

gdzie:

- N : nominalna gęstość mocy tła szumów (około -201 dB(W/Hz) na wejściu odbiornika skaterometru dla anten o wiązce płetwowej)
- B_{s+n} : pomiar szerokości pasma "sygnał + szum"
- B_n : pomiar szerokości pasma „tylko szum"
- I_{s+n} : średnia moc emitowana przez źródło zakłóceń w B_{s+n} w okresie pomiaru "sygnału + szumu"
- I_n : średnia moc emitowana przez źródło zakłóceń w B_s w okresie pomiaru "tylko szumu".

Rysunek 2 przedstawia wykres równań (1) dla skaterometru przy tle szumów odbiornika $N = -201$ dB(W/Hz). Przedstawiono na nim α jako funkcję mocy widmowej gęstości sygnału zakłócającego I_{s+n}/B_{s+n} . Ze względu na to, że szerokość wiązki płetwowej jest niewielka, należy spodziewać się zmian szeregu dB w odebranych poziomach zakłóceń, ponieważ listki boczne skaterometru przechodzą przez wiązkę nadajnika. Na podstawie praktyk inżynierskich, minimalną przypuszczalną zmianę w $10\log [(I_{s+n}/B_{s+n})/(I_n/B_n)]$ podczas okresu pomiarowego oszacowano jako 6 dB. Z rys. 2 można wywnioskować, że maksymalna gęstość widmowa mocy zakłóceń, którą dowolna antena o wiązce płetwowej skaterometru może wytrzymać bez zaniżania dokładności pomiaru, wynosi -207 dB(W/Hz).

RYSUNEK 2



Dla zakłóceń fali ciągłej przypominających biały szum, maksymalne dopuszczalne zakłócenia widmowej gęstości mocy wynosiłyby w przybliżeniu -195 dB(W/Hz) na wejściu odbiornika.

W niniejszej analizie współużytkowania wykorzystuje się RLAN w normie sieci HIPERLAN typu 2 (parametry określone w § 2.2). Najbardziej rygorystycznym dopuszczalnym poziomem zakłóceń w pracy odbiornika skaterometru jest -207 dB(W/Hz). Dla skaterometru 1 zastosowano zysk anteny o wartości 31 dBi przy odległości toru wynoszącej 650 km, co odpowiada tłumieniu w wolnej przestrzeni równym 167,3 dB.

Moc odebrana przez skaterometr od jednej sieci HIPERLAN można zapisać jako:

$$(P_r)_{\text{dB}} = (P_t)_{\text{dB}} - LFS + (G_s)_{\text{dB}} - 3 \quad (8)$$

Z tego można uzyskać wartość dla P_r wynoszącą $-149,3$ dB w paśmie o szerokości 16 MHz, co odpowiada: $-221,3$ dB(W/Hz). Daje to margines o wartości 14,3 dB. Z tego można wnioskować, że zakłócenia w pracy odbiornika skaterometru wywołane jedną siecią HIPERLAN/2 nie powodują szkodliwych zakłóceń. Ponadto, jak przedstawiono w tabeli 12, skaterometry są kompatybilne z gęstym rozmieszczeniem sieci RLAN, w szczególności gdy sieci RLAN są uruchomione na zewnątrz.

TABELA 12

Dopuszczalna aktywna przepustowość sieci HIPERLAN/2 współużytkowana ze skaterometrem 1

Rodzaj rozmieszczenia	Tylko na zewnątrz	Tylko w pomieszczeniach	Mieszany (15% na zewnątrz)
Moc transmitowana (dBW)	-10	-10	-10
Tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)	-167,3	-167,3	-167,3
Zysk anteny, odbiornik (dBi)	31	31	31
Tłumienie polaryzacji (dB)	-3	-3	-3
Dodatkowe tłumienie trasy (dB)	0	-17	-7,8
Moc odbierana (dB(W/kanał))	-149,3	-166,3	-157,1
Moc odbierana (dB(W/Hz))	-221,3	-238,3	-229,1
Próg zakłóceń skaterometru	-207	-207	-207
Margines (dB/Hz)	14,3	31,3	22,1
Współczynnik aktywny/pasywny (5%)	13	13	13
Dozwolona liczba sieci RLAN aktywnych + pasywnych/km ² (dB)	27,3	44,3	35,1

5.2 Zakłócenie w pracy sieci RLAN wywołane przez skaterometry

W tym przypadku rozpatrywane są zakłócenia w pracy sieci HIPERLAN typu 2 wywołane przez skaterometr 1. Ponieważ ten typ sieci RLAN wyposażony jest w dynamiczny wybór częstotliwości, a szerokość pasma skaterometru jest stosunkowo mała, scenariusz tu określony uwzględnia wyłącznie jeden z listków bocznych skaterometru w jednej sieci HIPERLAN. Moc szczytowa dla tego systemu skaterometru wynosi 4,8 kW, a do celów tej analizy ponownie zastosowano listek boczny o wartości 26 dBi.

Moc otrzymana przez jedną sieć HIPERLAN od skaterometru 1 wynosi około $-106,5$ dB, co przekracza próg zakłóceń sieci HIPERLAN lub tak zwaną minimalną użyteczną czułość odbiornika o wartości -115 dB. W niniejszej analizie nie uwzględniono dodatkowych strat na wejściu ani polaryzacji, ale wartości te nie spowodują drastycznej zmiany wyniku (w kolejności kilku dB). Podczas przelotu skaterometru czas, w którym system RLAN jest widoczny przed jeden z listków bocznych anteny skaterometru, wynosi zazwyczaj kilka sekund. Ponieważ ten typ skaterometru wykorzystuje kilka anten o wiązce płetwowej, czas całkowitego zakłócenia podczas przelotu satelity może wynosić nawet około 20 s. Jak wspomniano wcześniej, te systemy sieci HIPERLAN typu 2 korzystają z dynamicznego wyboru częstotliwości, który pozwala im przełączyć się na inny kanał przed faktyczną transmisją danych. Z tego powodu urządzenie to uważane jest za przydatne w osłabianiu zakłóceń.

Bardziej odpowiednim sposobem na określenie maksymalnego dopuszczalnego poziomu zakłóceń byłoby uwzględnienie C/I o wymaganej wartości powyżej 15 dB. W przypadku gdy nadajniki znajdują się w odległości 50 m od siebie (najbardziej pesymistyczny scenariusz), dopuszczalny poziom zakłóceń może wzrosnąć o 10 dB (-105 dBW zamiast -115 dBW). Dla skaterometru 1 niniejsza analiza podaje pozytywny margines o wartości 1,5 dB dla sprzętu pracującego na zewnątrz. Zastosowanie sieci RLAN działających w pomieszczeniach w niniejszej analizie dałoby większy margines (18,5 dB).

TABELA 13

Zakłócenia w pracy sieci WLAN dużej prędkości wywołane przez skaterometr 1

Parametr	Wartość	dB
Transmitowana moc (W)	4 800,00	36,81
Tłumienie trasy transmisji (dB):	0,00	0,00
Zysk anteny, nadajnik (dB)	26,00	26,00
Zysk anteny, odbiornik (dB)	0,00	0,00
Długość fali (m)	$5,65 \times 10^{-2}$	$-24,96$
$(4\pi)^{-2}$	$6,33 \times 10^{-3}$	$-21,98$
Odległość (km)	1 314,03	$-122,37$
Zmniejszenie szerokości pasma (dB)	0,00	0,00
Moc odbierana (dBW)		$-106,50$
Próg zakłóceń sieci HIPERLAN		$-115,00$
Margines (dB) (na zewnątrz)		$-8,50$
Tłumienie spowodowane przez budynek (dB)		17
Margines (dB) (w pomieszczeniach)		8,50

5.3 Wnioski

Stwierdzono, że praca skaterometru wokół częstotliwości 5,3 GHz jest kompatybilna z sieciami RLAN pracującymi w tym samym paśmie częstotliwości. Przewiduje się, że sieci RLAN nie powodują znaczących zakłóceń w pracy skaterometrów. W badaniu dotyczącym zakłóceń w pracy sieci RLAN wywołanych przez skaterometry wskazano, że współużytkowanie jest możliwe przy zastosowaniu sieci RLAN pracujących w pomieszczeniach. Należy zauważyć, że niektóre sieci RLAN o parametrach normy sieci HIPERLAN typu 2 planuje się wyposażyć DFS, czyli dynamiczny

wybór częstotliwości. Podczas pracy na zewnątrz, systemy te mają mniejsze szanse na zakłócenie ich pracy spowodowane pracą systemów skaterometru.

6 Wnioski ogólne dotyczące kompatybilności

Z analizy współużytkowania, zawartej w niniejszym zaleceniu dla typowych aktywnych sensorów umieszczonych w przestrzeni kosmicznej, pracujących w zakresie częstotliwości 5 250-5 350 MHz i sieci WLAN dużych prędkości, które planuje się rozmieścić w tym samym paśmie, ogólnie wynika, że te dwie służby są kompatybilne z uwzględnieniem pewnych parametrów sieci RLAN:

- działanie w pomieszczeniach (przy tłumieniu o wartości 17 dB w odniesieniu do systemów pracujących na zewnątrz);
- średnia e.i.r.p.² ograniczona do 200 mW (lub do 100 mW w przypadku niestosowania TPC), i średni limit gęstości e.i.r.p ograniczony do 10 mW w każdym pasmie 1 MHz;
- funkcja TPC w celu zapewnienia współczynnika osłabienia równego co najmniej 3 dB;
- funkcja losowego wyboru kanałów, taka jak funkcja DFS związana z mechanizmem wyboru kanałów, która jest wymagana do umożliwienia równomiernego rozkładu obciążenia kanałów sieci WLAN w całej dostępnej szerokości pasma w zakresie 5 GHz (założenia określone w badaniu łącznie dla 330 MHz dały zagęszczenie 440 nadajników na kanale 20 MHz w obszarze oświetlenia (footprint) SARu).

² Średnia e.i.r.p. odnosi się do e.i.r.p. uśrednionej dla transmisji przy ustawieniu najwyższej mocy.

ZALECENIE ITU-R M.1638-0

Parametry i kryteria ochrony dla badań współużytkowania w odniesieniu do radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacji lotniczej i radarów meteorologicznych działających w zakresach częstotliwości pomiędzy 5 250 a 5 850 MHz

(2003)

Streszczenie

Niniejsze zalecenie określa parametry techniczne i operacyjne oraz kryteria ochrony dla radarów działających w zakresie częstotliwości 5 250–5 850 MHz. Parametry te są przeznaczone do stosowania podczas dokonywania oceny kompatybilności tych systemów z innymi służbami.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że parametry anteny, sygnału propagacji, wykrywania celu oraz znacznej niezbędnej szerokości pasma danego radaru są w niektórych zakresach częstotliwości optymalne w celu realizowania ich funkcji;
- b) że parametry techniczne radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacyjnych i radarów meteorologicznych określa misja systemu oraz że różnią się one w znacznym stopniu nawet w obrębie danego pasma;
- c) że zgodnie z ust. 4.10 Regulaminu Radiokomunikacyjnego służba radionawigacyjna jest służbą bezpieczeństwa i wymaga użycia specjalnych środków celem zapewnienia jej pracy w środowisku wolnym od szkodliwych zakłóceń;
- d) że od czasu WARC-79 znacząca pula przeznaczeń widma na potrzeby radiolokalizacji i radionawigacji (sięgająca około 1 GHz) została wykreślona z Głównego Rejestru lub zmniejszona;
- e) że niektóre grupy ITU-R ds. technicznych rozważają ewentualność wprowadzenia nowych rodzajów systemów (np. stałych bezprzewodowych systemów dostępowych oraz systemów o dużym zagęszczeniu w służbach stałej i ruchomej) lub służb w zakresach częstotliwości pomiędzy 420 MHz a 34 GHz użytkowanych przez radary radiolokalizacyjne, radary radionawigacyjne i radary meteorologiczne;
- f) że reprezentatywne parametry techniczne i operacyjne radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacyjnych i radarów meteorologicznych są wymagane do celów określenia możliwości wprowadzenia nowych rodzajów systemów do zakresów częstotliwości, w których systemy te są obsługiwane;
- g) że procedury i metodyki służące do analizowania kompatybilności między radarami a systemami w innych służbach określa Zalecenie ITU-R M.1461;
- h) że radary radiolokalizacyjne, radary radionawigacyjne i radary meteorologiczne działają w zakresach 5 250–5 850 MHz;
- j) że radary naziemne używane do celów meteorologicznych mają równoważne prawo do działania ze stacjami w służbie radionawigacyjnej lotniczej (ARNS) w zakresie 5 600–5 650 MHz (zob. uwaga 5.452 Regulaminu Radiokomunikacyjnego),

zaleca

1 aby parametry techniczne i operacyjne radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacji lotniczej i radarów meteorologicznych określone w dodatku 1 uznano za reprezentatywne dla radarów działających w zakresach częstotliwości pomiędzy 5 250 a 5 850 MHz (zob. uwaga 1);

2 stosowanie Zalecenia ITU-R M.1461 jako wytycznych przy dokonywaniu analizy kompatybilności radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacji lotniczej i radarów meteorologicznych z systemami w innych służbach; oraz zastosowanie kryterium mocy sygnału zakłócającego do poziomu mocy szumów odbiornika radaru I/N , wynoszącego -6 dB, jako wymaganego poziomu inicjującego ochronę dla badań współużytkowania służby radiolokacji z innymi służbami. Wspomniane kryterium ochrony stanowi poziom ochrony netto w przypadku występowania wielu źródeł zakłóceń.

UWAGA 1 – W odniesieniu do parametrów radarów radionawigacji morskiej w zakresie częstotliwości 5 470–5 650 MHz powinno się stosować Zalecenie ITU-R M.1313.

Dodatek 1

Parametry radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacji lotniczej oraz radarów meteorologicznych

1 Wprowadzenie

Jak przedstawiono w tabeli 1, zakresy częstotliwości pomiędzy 5 250 a 5 850 MHz są przeznaczone dla służby radionawigacyjnej lotniczej na prawach pierwszej ważności. Radary naziemne używane do celów meteorologicznych mają równoważne prawo do działania ze stacjami w służbie radionawigacyjnej morskiej w zakresie 5 600–5 650 MHz (zob. uwaga 5.452 Regulaminu Radiokomunikacyjnego).

TABELA 1

Zakres (MHz)	Przeznaczenie
5 250–5 255	Służba radiolokalizacyjna
5 255–5 350	Służba radiolokalizacyjna
5 350–5 460	Służba radionawigacyjna lotnicza
5 460–5 470	Służba radiolokalizacyjna
5 470–5 650	Służba radionawigacyjna morska ⁽¹⁾
5 650–5 725	Służba radiolokalizacyjna
5 725–5 850	Służba radiolokalizacyjna

⁽¹⁾ Zgodnie z uwagą 5.452 Regulaminu Radiokomunikacyjnego, w zakresie częstotliwości pomiędzy 5 600 a 5 650 MHz, radary naziemne użytkowane do celów meteorologicznych mają równoważne prawo działania ze stacjami służby radionawigacyjnej morskiej.

Radary radiolokalizacyjne wykonują różne funkcje, takie jak:

- śledzenie kosmicznych rakiet nośnych i pojazdów lotniczych poddawanych testom rozwojowym i operacyjnym;
- dozorowanie na morzu i w powietrzu;
- dokonywanie pomiarów środowiskowych (np. przeprowadzanie badań cykli wód oceanicznych i zjawisk atmosferycznych, takich jak huragany);
- obrazowanie Ziemi; oraz
- zapewnianie obrony narodowej i utrzymywanie pokoju na świecie.

Radary radionawigacji lotniczej wykorzystywane są przede wszystkim jako pokładowe radary meteorologiczne do unikania zjawisk pogodowych i uskoków wiatru oraz do celów wykonywania służby bezpieczeństwa (zob. ust. 4.10 Regulaminu Radiokomunikacyjnego).

Radary meteorologiczne są wykorzystywane do celów wykrywania gwałtownych żywiołów pogodowych, takich jak tornada, huragany i silne burze z piorunami. Takie radary pogodowe wykonują również ilościowe pomiary opadów atmosferycznych na obszarach, które mają istotne znaczenie dla prognozowania hydrologicznego potencjalnych powodzi. Informacje te są wykorzystywane do celów przekazywania społeczeństwu ostrzeżeń, w związku z czym zapewniają usługi związane z bezpieczeństwem życia.

Zalecenie ITU-R M.1313 określa parametry radarów radionawigacji morskiej działających w zakresie częstotliwości 5 470–5 650 MHz.

2 Parametry techniczne

Z zakresów pomiędzy 5 250 a 5 850 MHz korzysta wiele różnych rodzajów radarów umieszczonych na stałych platformach naziemnych, pokładach statków oceanicznych, pokładach statków powietrznych i platformach przENOśnych. W tabelach 2 i 3 przedstawiono parametry techniczne reprezentatywnych systemów stosowanych w tych zakresach częstotliwości. Informacje te są na ogół wystarczające do ogólnych obliczeń mających na celu ocenę kompatybilności między takimi radarami i innymi systemami.

W poniższych tabelach nie zawarto jednak parametrów radarów ze skokową zmianą częstotliwości, które pracują we wspomnianym zakresie częstotliwości. Skokowa zmiana częstotliwości (frequency hopping) jest jednym z najczęściej stosowanych instrumentów walki elektronicznej/przeciwdziałania radioelektronicznego (ECCM). Systemy radarowe przeznaczone do pracy we wrogich środowiskach narażonych na ataki elektroniczne wykorzystują skokową zmianę częstotliwości jako jedną z technik ECCM. Taki rodzaj radaru zazwyczaj dzieli przeznaczony mu zakres częstotliwości na kanały. Następnie radar ten losowo wybiera jeden kanał spośród wszystkich dostępnych kanałów do transmisji. Takie losowe zajęcie kanału może nastąpić według pozycji wiązki, w której transmitowanych jest wiele impulsów na tym samym kanale, lub według poszczególnych impulsów. Powinno się rozważyć ten istotny aspekt systemów radarowych oraz uwzględnić potencjalny wpływ radarów ze zmianą skokową częstotliwości w badaniach dotyczących współużytkowania.

TABELA 2

Parametry radarów radiolokalizacji lotniczej oraz systemów radarów meteorologicznych

Parametry	Radar A	Radar B	Radar C	Radar D	Radar E	Radar F	Radar G	Radar H	Radar I	Radar J
Funkcja	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Służba radionawigacyjna lotnicza	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna
Rodzaj platformy (na pokładzie statku powietrznego, na pokładzie statku oceanicznego, naziemna)	Naziemna/na pokładzie statku oceanicznego	Na pokładzie statku powietrznego	Naziemna	Na pokładzie statku powietrznego	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna
Zakres strojenia (MHz)	5 300–5 700	5 370	5 600–5 650	5 440	5 600–5 650	5 300–5 700	5 600–5 650	5 600–5 650	5 600–5 650	5 250–5 725
Modulacja	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Konwencjonalna	Ze zdolnością dopplerowską	Ze zdolnością dopplerowską
Moc wejściowa anteny	250 kW (szczyt) 125 W (średnia)	70 kW (szczyt)	250 kW (szczyt) 1 500 W (średnia)	200 kW (szczyt)	250 kW (szczyt)	250 kW (szczyt)	250 kW (szczyt)	250 kW (szczyt) 150 W (średnia)	250 kW (szczyt) 150 W (średnia)	2,25 (szczyt)
Szerokość impulsu (μ s)	2,0	6,0	0,05–18	1–20	1,1	0,8–2,0	3,0	0,8–5	0,8–5	0,1
Czas narastania/opadania impulsu (μ s)	0,2	0,6	0,005	0,1	0,11	0,08	0,3	0,2–2	0,2–2	0,005
Prędkość powtarzania impulsu (pps)	50, 250 i 1 200	200	0–4 000	180–1 440	2 000	250–1 180	259	250–1 200	50–1 200	100 000
Urządzenie wyjściowe	Koncentryczny magnetron	Koncentryczny magnetron	Klistron	Magnetron	Klistron	Magnetron regulowany	Koncentryczny magnetron	Koncentryczny magnetron lub klistron	Koncentryczny magnetron	Koncentryczny magnetron
Kształt charakterystyki promieniowania anteny (szpilkowy, płetwowy, kosekans kwadrat itd.)	Stożek	Płetwowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy
Rodzaj anteny (antena reflektorowa, antenowy szyk fazowany, antena szczelinowa itd.)	Bryłowa paraboliczna metalowa	Paraboliczna	Paraboliczna	Szczelinowa	Paraboliczna	Paraboliczna	Bryłowa paraboliczna	Bryłowa paraboliczna	Bryłowa paraboliczna	Bryłowa paraboliczna

TABELA 2 (koniec)

Parametry	Radar A	Radar B	Radar C	Radar D	Radar E	Radar F	Radar G	Radar H	Radar I	Radar J
Polaryzacja anteny	Pionowa	Pozioma	Pozioma	Pozioma	Pozioma	Pozioma	Pozioma	Pozioma i/lub pionowa	Pozioma lub pionowa	Pozioma lub pionowa
Zysk wiązki głównej anteny (dBi)	39	37,5	44	34	50	40	40	40–50	40–50	35–45
Szerokość wiązki anteny w elewacji (stopnie)	4,8	4,1	0,95	3,5	0,55	1,0	1,65	0,5–2	0,5–2	2,4–12
Szerokość wiązki anteny w azymucie (stopnie)	0,65	1,1	0,95	3,5	< 0,55	< 1,0	1,65	0,5–2	0,5–2	1,5–12
Prędkość skanowania w poziomie anteny (stopnie/s)	0,65	24	0–36 (0–6 rpm)	20	21–24	30–48	30–48	6–18 (1–3 rpm)	6–18 (1–3 rpm)	1,2
Tryb skanowania w poziomie anteny (ciągłe, losowe, 360°, sektorowe itd.) (stopnie)	360	180 Sektorowe	360	Ciągłe	Ciągłe 360 Sektorowe	360	360	360	360	360
Prędkość skanowania w pionie anteny (stopnie/s)	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	45	15	15	15	1–10	1–14	Nie dotyczy
Tryb skanowania w pionie anteny (ciągłe, losowe, 360°, sektorowe itd.) (stopnie)	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Sektorowe	Stopniowe 0,5–60	Stopniowe –2 do +60	–1 do +60	–1 do +90	–5 do +90	Nie dotyczy
Poziomy listka bocznego anteny (pierwsze listki boczne i oddalone listki boczne) (dB)	–26	–20	–35	–31	–27	–25	–25	25 do –35	25 do –35	–20
Wysokość anteny (m)	30	Wysokość statku powietrznego	10	Wysokość statku powietrznego	30	30	30	6–30	6–30	10
Szerokość pasma odbiornika IF 3 dB (MHz)	0,5	0,6	20	1,0	0,91	0,6	0,25 do 0,5	0,7 do 4	0,1 do 3,0	10
Współczynnik szumów odbiornika (dB)	7	6	4	5	2,3	3	3	3,5–8	1,5–8	3
Minimalny wyraźny sygnał (dBm)	–110	–106	–97	–109	–109	–109 do –112	–114	–113 do –120	–113 do –120	–113 do –118

TABELA 3
Parametry of systemów radiolokalizacji

Parametry	Radar K	Radar L	Radar M	Radar N	Radar O	Radar P	Radar Q	Radar R	Radar S
Funkcja	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Przeszukiwanie powierzchni i przestrzeni powietrznej	Przeszukiwanie powierzchni i przestrzeni powietrznej	Badanie i obrazowanie Ziemi	Przeszukiwanie
Rodzaj platformy (na pokładzie statku powietrznego, na pokładzie statku oceanicznego, naziemna)	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Na pokładzie statku oceanicznego	Na pokładzie statku oceanicznego	Na pokładzie statku powietrznego	Na pokładzie statku powietrznego
Zakres strojenia (MHz)	5 300	5 350–5 850	5 350–5 850	5 400–5 900	5 400–5 900	5 300	5 450–5 825	5 300	5 250–5 725
Modulacja	Nie dotyczy	Niestosowana	Niestosowana	Sygnal/sygnal świergotowy	Sygnal świergotowy	Linearna FM	Niestosowana	Nielinearna/linearna FM	Sygnal fali ciągłej
Moc wejściowa anteny	250 kW	2,8 MW	1,2 MW	1,0 MW	165 kW	360 kW	285 kW	1 lub 16 kW	100–400 W
Szerokość impulsu (μ s)	1,0	0,25; 1,0 i 5,0	0,25; 0,5 i 1,0	0,25–1 (równa) 3,1–50 (świergotowa)	100	20,0	0,1/0,25/1,0	7 lub 8	1,0
Czas narastania/opadania impulsu (μ s)	0,1/0,2	0,02–0,5	0,02–0,05	0,02–0,1	0,5	0,5	0,03/0,05/0,1	0,5	0,05
Prędkość powtarzania impulsu (pps)	3 000	160, 640	160, 640	20–1 280	320	500	2 400/1 200/750	1 000–4 000	200–1 500
Szerokość pasma sygnału świergotowego (MHz)	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	4,0	8,33	1,5	Nie dotyczy	62, 124	Nie dotyczy
Szerokość pasma emisji RF –3 dB –20 dB (MHz)	4,0 10,0	0,5–5	0,9–3,6 6,4–18	0,9–3,6 6,4–18	8,33 9,9	1,5 1,8	5,0/4,0/1,2 16,5/12,5/7,0	62, 124 65, 130	4,0 10,0
Kształt charakterystyki promieniowania anteny (szpilkowy, płetwowy, kosekans kwadrat itd.)	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Szpilkowy	Kosekans kwadrat	Płetwowy	Płetwowy	Szpilkowy
Rodzaj anteny (antena reflektorowa, anteny szyk fazowany, antena szczelinowa itd.)	Paraboliczna Reflektorowa	Paraboliczna	Paraboliczna	Szczelinowa	Szczelinowa	Paraboliczna	Konwerter fali bieżącej	Dwa rogi promieniujące pracujące na dwóch polaryzacjach zamontowane na jednej podstawie	Szczelinowa

TABELA 3 (koniec)

Parametry	Radar K	Radar L	Radar M	Radar N	Radar O	Radar P	Radar Q	Radar R	Radar S
Polaryzacja anteny	Pionowa/lewoskrętna kołowa	Pionowa/lewoskrętna kołowa	Pionowa/lewoskrętna kołowa	Pionowa/lewoskrętna kołowa	Pionowa/lewoskrętna kołowa	Pozioma	Pozioma	Pozioma i pionowa	Kołowa
Zysk wiązki głównej anteny (dBi)	38,3	54	47	45,9	42	28,0	30,0	26	30–40
Szerokość wiązki anteny w elewacji (stopnie)	2,5	0,4	0,8	1,0	1,0	24,8	28,0	28,0	2–4
Szerokość wiązki anteny w azymucie (stopnie)	2,5	0,4	0,8	1,0	1,0	2,6	1,6	3,0	2–4
Prędkość skanowania w poziomie anteny (stopnie/s)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	36, 72	90	Nie dotyczy	20
Tryb skanowania w poziomie anteny (ciągłe, losowe, 360°, sektorowe itd.) (stopnie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Ciągłe 360	30–270 Sektorowe	Stałe w lewo lub prawo od ścieżki lotu	Ciągłe
Prędkość skanowania w pionie anteny (stopnie/s)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy	Nie dotyczy
Tryb skanowania w pionie anteny (ciągłe, losowe, 360°, sektorowe itd.) (stopnie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy (śledzenie)	Nie dotyczy	Stałe	Stałe w elewacji (–20 do –70)	Nie dotyczy
Poziomy listka bocznego anteny (pierwsze listki boczne i oddalone listki boczne) (dB)	–20	–20	–20	–22	–22	–20	–25	–22	–25
Wysokość anteny (m)	20	20	8–20	20	20	40	40	Do 8 000	9 000
Szerokość pasma odbiornika IF 3 dB (MHz)	1	4,8; 2,4; 0,25	4, 2, 1	2–8	8	1,5	1,2; 10	90, 147	1
Współczynnik szumów odbiornika (dB)	6	5	5	11	5	5	10	4,9	3,5
Minimalny wyraźny sygnał (dBm)	–105	–107	–100	–107, –117	–100	–107	–94 (impuls krótki/średni) –102 (impuls szeroki)	–90, –87	–110

3 Parametry operacyjne

3.1 Radary meteorologiczne

Zarówno radary meteorologiczne umieszczone na pokładach statków powietrznych, jak i naziemne radary meteorologiczne działają w zakresie częstotliwości 5 250–5 850 MHz, a ich parametry techniczne przedstawiono w tabeli 1.

Naziemne systemy radarów pogodowych, które często są usytuowane w pobliżu lotnisk na całym świecie, wykorzystuje się do celów wykrywania gwałtownych zjawisk pogodowych i działań związanych z planowaniem lotów. W związku z tym radary te działają bez przerwy przez całą dobę.

Radary meteorologiczne służą do dokonywania ilościowych pomiarów opadów atmosferycznych na obszarach i w większości przypadków należą do sieci, które koordynują takie pomiary na poziomie krajowym lub regionalnym. Systemy, które korzystają z technologii radarów dopplerowskich, służą również do obserwacji prędkości opadów atmosferycznych, która wskazuje na obecność i przemieszczanie się gwałtownych zjawisk pogodowych, takich jak tornada, huragany i gwałtowne burze oraz uskoki wiatru i turbulencje. Pomiary ilościowe pochodzące z obu rodzajów radarów wykorzystuje się w czasie rzeczywistym, jako decydujące i jednoznaczne źródło danych służących do prognozowania w dziedzinie hydrologii, meteorologii i środowiska. Poprzez asymilację danych liczbowych, modelowanie i prognozowanie pogody, powodzi i zanieczyszczeń, w szczególności w przypadku występowania zjawisk niszczących, dane są wykorzystywane w celu zwiększenia dokładności i terminowości prognoz i ostrzeżeń. Dane mogą być wykorzystywane bezpośrednio, na przykład do oceny ryzyka związane z błyskawicą. Wiele aplikacji może mieć decydujące znaczenie dla bezpieczeństwa i ochrony ogółu społeczeństwa (zarówno życia, jak i mienia) oraz bezpieczeństwa i ochrony operacji wojskowych.

Radary meteorologiczne umieszczone na pokładach statków powietrznych wykorzystuje się do celów badań huraganów i ich rozpoznawania. Statek powietrzny wielokrotnie penetruje ścianę (eyewall) huraganu na wysokościach do 20 000 stóp (6 096 m) oraz na możliwie niskich wysokościach do 1 500 stóp (457 m). Statek powietrzny gromadzi podczas misji badawczych dane, które mają decydujące znaczenie dla modeli komputerowych służących do przewidywania intensywności huraganu i miejsca, w którym huragan zetknie się z lądem. Inne statki powietrzne penetrują huragany na wyższych wysokościach, mniej narażonych na turbulencje (30 000–45 000 stóp lub 9 144–13 716 m), w celu określenia pozycji oka huraganu.

3.2 Radary radionawigacji lotniczej

Radary działające w służbie radionawigacyjnej lotniczej w zakresie częstotliwości 5 350–5 460 MHz są przede wszystkim systemami umieszczonymi na pokładach statków powietrznych wykorzystywanymi do zapewniania bezpieczeństwa lotów. Stosuje się zarówno radary służące do wykrywania warunków pogodowych oraz unikania obszarów złej pogody, które działają bez przerwy podczas lotu, jak i radary wykrywające uskoki wiatru, które zaczynają działać automatycznie w momencie gdy statek powietrzny zejdzie na wysokość poniżej 2 400 stóp (732 m). Oba rodzaje radarów mają podobne parametry techniczne i są zasadniczo radarami służącymi do przewidywania, które skanują przestrzeń dookoła toru lotu statku powietrznego. Takie systemy są automatycznie skanowane przez określony azymut i zakres wysokości i zazwyczaj są manualnie (mechanicznie) regulowane co do wysokości przez pilota (który może pragnąć wprowadzić różne „cięcia” wysokości do celów podejmowania decyzji nawigacyjnych).

3.3 Radary radiolokalizacyjne

Istnieje wiele rodzajów radarów, które realizują różne zadania, działających w służbie radiolokalizacyjnej w zakresie 5 250–5 850 MHz. W tabeli 3 przedstawiono parametry techniczne

kilku reprezentatywnych rodzajów radarów korzystających z tych częstotliwości, które można wykorzystać w celu dokonania oceny kompatybilności między radarami radiolokalizacyjnymi i systemami innych służb. Operacyjne wykorzystywanie tych radarów omówiono w skrócie poniżej.

Radary do testowania instrumentacji (test range instrumentation radars) służą do zapewniania wysoce precyzyjnych danych dotyczących pozycji kosmicznych rakiet nośnych i pojazdów lotniczych poddawanych testom rozwojowym i operacyjnym. Takie radary charakteryzują się wysoką mocą nadajników i dużymi parabolicznymi antenami reflektorowymi z aperturą o bardzo wąskich wiązkiach szpilkowych. Radary te posiadają anteny z funkcją automatycznego śledzenia, które śledzą obiekt za pomocą promieniowania odbitego (skin track) albo promieniowania radiolatarni (beacon track). (Należy zauważyć, że radiolatarni radarowych nie uwzględniono w tabelach; podlegają one zazwyczaj strojeniu w zakresie powyżej 5 400–5 900 MHz, posiadają moc nadajnika w zakresie 50–200 W (szczyt) i służą do retransmitowania odbieranego sygnału radaru.) Okresy działania mogą trwać od kilku minut do 4–5 godzin, w zależności od programu testowania. Operacje przeprowadzane są w wyznaczonych terminach przez całą dobę przez 7 dni w tygodniu.

Radary dozoru na morzu i w powietrzu umieszczone na pokładach statków wykorzystuje się do celów ochrony statku; działają one bez przerwy podczas podróży statku oraz na wejściu do obszarów portowych i na wyjściu z takich obszarów. Takie radary dozoru zazwyczaj wykorzystują umiarkowanie wysoką moc nadajników oraz anteny które skanują elektronicznie w elewacji i mechanicznie w pełnym kącie 360° w azymucie. Operacje, jakie mogą być realizowane, obejmują między innymi jednoczesną obsługę takich radarów na danym obszarze geograficznym przez grupy statków.

Pozostałe radary specjalnego przeznaczenia również działają w zakresie 5 250–5 850 MHz. Radar Q (tabela 3) jest radarem z aperturą syntetyczną umieszczanym na pokładach statków powietrznych, który wykorzystuje się do opracowywania map i obrazowania terenów, przeprowadzania badań środowiskowych i badań dotyczących użytkowania terenu oraz prowadzenia innych powiązanych działań badawczych. Radar ten działa bez przerwy na różnych wysokościach i posiada różne kąty patrzenia w dół przez okresy trwające nawet przez całe godziny, co zależy od przeprowadzanej szczególnej kampanii pomiarowej.

4 Kryteria ochrony

Wpływ zmniejszonej czułości oddziałujący na radary innych służb działające we wspomnianym zakresie częstotliwości powodowany przez modulację falą ciągłą lub modulację o charakterze zbliżonym do szumu jest, jak można się spodziewać, związany z jej intensywnością. W jakichkolwiek sektorach azymutowych, do których dociera zakłócenie, jego widmową gęstość mocy można po prostu dodać do widmowej gęstości mocy szumu cieplnego odbiornika radaru, z racjonalnym przybliżeniem. Jeżeli widmowa gęstość mocy szumu cieplnego przy braku zakłócenia jest oznaczona jako N_0 , a widmowa gęstość mocy zakłócenia o charakterze zbliżonym do szumu jest oznaczona jako I_0 , to wynikającą skuteczną widmową gęstość mocy szumu oznacza się po prostu jako $I_0 + N_0$. Zwiększenie o ok. 1 dB w przypadku radarów meteorologicznych i radiolokalizacyjnych spowodowałoby istotną degradację. Taki wzrost odpowiada współczynnikowi $(I + N)/N$ wynoszącemu 1,26 lub stosunkowi I/N wynoszącemu około –6 dB. W przypadku służby radionawigacyjnej i radarów meteorologicznych, z uwzględnieniem funkcji związanej z bezpieczeństwem życia, zwiększenie o około 0,5 dB spowodowałoby istotną degradację. Taki wzrost odpowiada współczynnikowi $(I + N)/N$ wynoszącemu 10 lub stosunkowi I/N wynoszącemu około –6 dB. Aby potwierdzić tę wartość, konieczne jest jednak przeprowadzenie dalszych badań. Takie kryteria ochrony reprezentują zagregowany wpływ wielu źródeł zakłóceń, jeżeli są obecne; możliwy do zaakceptowania współczynnik I/N w przypadku indywidualnego źródła zakłócenia zależy od liczby źródeł zakłóceń oraz ich geometrii, a także musi zostać poddany ocenie w trakcie przeprowadzania analizy danego scenariusza.

Czynnik agregacji może być bardzo istotny w przypadku niektórych systemów łączności, w których można stosować znaczną liczbę stacji.

Wpływ impulsowych zakłóceń trudniej jest określić ilościowo i w dużym stopniu zależy on od projektu i trybu działania odbiornika/jednostki przetwarzającej. W szczególności korekcyjne zyski przetwarzania w przypadku powrotu z ważnego celu, o synchronicznych impulsach, oraz impulsy zakłócenia, które są zazwyczaj niesynchroniczne, często oddziałują w sposób istotny na wpływ danych poziomów zakłóceń impulsowych. Wspomniane zmniejszenie czułości może powodować różne rodzaje degradacji jakości. Ocena tej degradacji będzie stanowiła cel analiz interakcji między szczególnymi rodzajami radarów. Ogólnie można oczekiwać, że wiele funkcji radarów radiolokacyjnych pomoże wytlumić impulsowe zakłócenie o niskim współczynniku wypełnienia, w szczególności pochodzącego z kilku odosobnionych źródeł. Techniki tłumienia impulsowych zakłóceń o niskim współczynniku wypełnienia przedstawiono w Zaleceniu ITU-R M.1372 w sprawie efektywnego wykorzystania widma radiowego przez stacje radiowe w służbie radiolokacyjnej.

5 Techniki osłabiania zakłóceń

Ogólnie skanowanie wiązek anten wspiera wzajemną kompatybilność pomiędzy radarami radiolokacyjnymi, radarami radionawigacji lotniczej i radarami meteorologicznymi, co ogranicza sprzęganie głównych wiązek. Dodatkowe tłumienie osiąga się dzięki różnicom między kształtami fal dwóch rodzajów radarów oraz powiązanemu tłumieniu niepożądanych impulsów za pośrednictwem technik filtrowania odbiornika i przetwarzania sygnału, takich jak ograniczanie, kontrola czasu czułości i integracja sygnałów. Ponadto, zakłócenia mogą być osłabiane dzięki separacji częstotliwości nośnej lub dyskryminacji czasowej poprzez stosowanie technik niesynchronicznego tłumienia impulsów. W przypadku interakcji radar-radar separacja częstotliwości nie jest zawsze konieczna do kompatybilnego działania, ponieważ wysokie poziomy izolacji w sprzęganiu mocy i w czasie występują samoczynnie lub mogą zostać osiągnięte dzięki odpowiednim projektom. Dodatkowe informacje szczegółowe na temat technik osłabiania zakłóceń stosowanych przez systemy radarowe przedstawiono w Zaleceniu ITU-R M.1372.

ZALECENIE ITU-R M.1642-2

Metoda oceny maksymalnej zagregowanej zastępczej gęstości strumienia mocy na stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej pochodzącej ze wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej działających w zakresie częstotliwości 1 164–1 215 MHz

(2003-2005-2007)

Zakres

Niniejsze zalecenie określa metodę oraz charakterystyki anten odniesienia na potrzeby oceny maksymalnego poziomu zagregowanej zastępczej gęstości strumienia mocy (epfd) generowanej na wejściu stacji w służbie radionawigacyjnej satelitarnej w kierunku stacji służby radionawigacyjnej lotniczej przez wszystkie systemy służby radionawigacyjnej satelitarnej pracujące w dowolnej części zakresu 1 164–1 215 MHz.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że zgodnie z Regulaminem Radiokomunikacyjnym zakres 960–1 215 MHz jest przeznaczony na prawach pierwszej ważności dla służby radionawigacyjnej lotniczej we wszystkich Regionach ITU;
- b) że z analiz wynika, iż sygnały służby radionawigacyjnej satelitarnej w zakresie 1 164–1 215 MHz można zaprojektować tak, aby nie powodowały zakłóceń w pracy odbiorników DME/TACAN służby radionawigacyjnej lotniczej działających w tym zakresie;
- c) że opracowano kryterium ochrony dla służby radionawigacyjnej lotniczej i jest ono wyrażone jako zastępcza gęstość strumienia mocy (epfd), którą określono w Zaleceniu ITU-R M.1639,

uznając

- a) że WRC-2000 wprowadziła równorzędne przeznaczenie na prawach pierwszej ważności dla służby radionawigacyjnej satelitarnej w zakresie częstotliwości 1 164–1 215 MHz, podlegające warunkom, zgodnie z którymi służba radionawigacyjna satelitarna ma obowiązek zapewnienia ochrony służby radionawigacyjnej lotniczej przed szkodliwymi zakłóceniami;
- b) że WRC-03 ustaliła, iż ochrona służby radionawigacyjnej lotniczej przed służbą radionawigacyjną satelitarną jest możliwa, jeżeli wartość zastępczej gęstości strumienia mocy (epfd) wytwarzanej przez wszystkie stacje kosmiczne wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej (kosmos-Ziemia) w zakresie 1 164–1 215 MHz nie przekracza poziomu $-121,5 \text{ dB(W/m}^2\text{)}$ w każdym paśmie 1 MHz oraz przyjęła uchwałę 609 (WRC-03) w celu zapewnienia, aby poziom ten nie został przekroczony;
- c) że zgodnie z ust. 1.59 Regulaminu Radiokomunikacyjnego służba radionawigacyjna lotnicza jest służbą bezpieczeństwa oraz że administracje muszą podjąć specjalne środki w celu ochrony tych służb zgodnie z przepisem ust. 4.10 Regulaminu Radiokomunikacyjnego,

zaleca

1 zastosowanie metody określonej w dodatku 1 oraz parametrów odniesienia służby radionawigacyjnej satelitarnej w celu obliczenia maksymalnej zagregowanej epfd wytwarzanej na wejściu dowolnej stacji radionawigacyjnej lotniczej przez emisje z wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej.

Dodatek 1

Metoda oceny maksymalnej zagregowanej epfd na stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej, pochodzącej ze wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej pracujących w zakresie 1 164–1 215 MHz

Streszczenie metody

Korzystając z metody opisanej w niniejszym dodatku 1, możliwe jest obliczenie maksymalnego poziomu zagregowanej epfd wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej działających w zakresie 1 164–1 215 MHz.

Metoda ta umożliwia łatwe łączenie różnych systemów, w związku z czym w trakcie spotkania konsultacyjnego można zbadać wpływ zmian, takich jak włączanie lub wyłączanie z funkcjonowania jednego lub różnych systemów lub wpływ zmiany parametrów szczególnych systemów.

Metoda ta uwzględnia zarówno systemy NGSO z konstelacjami satelitów na dowolnych orbitach o dowolnych kątach nachylenia, jak i systemy GSO.

Metoda ta opiera się na procesie dwuetapowym:

Etap 1: obliczenie epfd każdego pojedynczego systemu w służbie radionawigacyjnej satelitarnej. Każdy operator może niezależnie wykonać ten etap przed spotkaniem konsultacyjnym, pod warunkiem, że wyniki zostaną przekazane w kompatybilnym formacie (zob. § 1.3 dla systemów NGSO i § 1.4 dla systemów GSO).

Etap 2: połączenie maksymalnej epfd poszczególnych systemów przez nałożenie na siebie map, jeżeli jest to konieczne w różnych częstotliwościach, aby uzyskać wartość maksymalnej zagregowanej epfd (zob. § 2) w zakresie 1 164–1 215 MHz.

Opis metody

1 Metoda obliczania maksymalnej epfd wytwarzanej przez satelity jednego systemu służby radionawigacyjnej satelitarnej

1.1 Definicja epfd

Definicję zastępczej gęstości strumienia mocy (epfd) opracowano w oparciu o ust. 22.5C.1 Regulaminu Radiokomunikacyjnego, przyjęty podczas WRC-2000.

Jeżeli antena odbiera moc, w swojej szerokości pasma odniesienia, jednocześnie z nadajników rozmieszczonych w różnej odległości i w różnych kierunkach, przy różnych poziomach odebranej pfd, za epfd uznaje się taką pfd, która w przypadku jej odbioru z pojedynczego nadajnika zlokalizowanego w polu dalekim anteny w kierunku maksymalnego zysku doprowadziłaby do wytworzenia takiej samej mocy na wejściu odbiornika, jak faktycznie odebrana moc wygenerowana przez zbiór różnych nadajników.

Chwilową epfd oblicza się za pomocą następującego wzoru:

$$epfd = 10 \lg \left[\sum_{i=1}^{N_a} 10^{\frac{P_i}{10}} \cdot \frac{G_t(\theta_i)}{4\pi d_i^2} \cdot \frac{G_r(\varphi_i)}{G_{r,max}} \right]$$

gdzie:

N_a : liczba stacji kosmicznych widocznych z miejsca położenia odbiornika

- i : indeks stacji kosmicznej, która jest brana pod uwagę
- P_i : moc częstotliwości radiowej (w szerokości pasma odniesienia) na wejściu anteny (lub moc generowanej częstotliwości radiowej w przypadku czynnej anteny) nadawczej stacji kosmicznej (dB(W/MHz))
- θ_i : kąt pozaosiowy (w stopniach) między osią promieniowania anteny nadawczej stacji kosmicznej a kierunkiem odbiornika
- $G_r(\theta_i)$: zysk (jako współczynnik) anteny nadawczej stacji kosmicznej w kierunku odbiornika
- d_i : odległość (m) między stacją nadawczą a odbiornikiem
- φ_i : kąt pozaosiowy (w stopniach) między kierunkiem ustawienia odbiornika a kierunkiem nadawczej stacji kosmicznej
- $G_r(\varphi_i)$: zysk (jako współczynnik) anteny odbiorczej odbiornika w kierunku nadawczej stacji kosmicznej (zob. dodatek 2)
- $G_{r, max}$: maksymalny zysk (jako współczynnik) odbiornika
- $epfd$: chwilowa zastępcza gęstość strumienia mocy (dB(W/(m² · MHz))) na wejściu odbiornika

UWAGA 1 – zakłada się, że każdy nadajnik znajduje się w polu dalekim odbiornika (tj. w odległości większej niż $2D^2/\lambda$, gdzie D oznacza efektywną średnicę odbiornika, a λ oznacza obserwowaną długość fali wyrażoną w tej samej jednostce). W rozpatrywanym przypadku warunek ten będzie zawsze spełniony.

1.2 Uwagi ogólne

W pierwszym etapie metody maksymalną $epfd$ dla każdej konstelacji satelitów w służbie radionawigacyjnej satelitarnej oblicza się na każdej szerokości i długości geograficznej na całej powierzchni Ziemi dla każdego 1 MHz widma zajętego przez system.

Ponieważ uszkodzony odbiornik w służbie radionawigacyjnej lotniczej może być zamontowany w statku powietrznym latającym na wysokości do 40 000 stóp (12 192 m) (zob. § 2 w dodatku 2), obliczenia powinny uwzględniać wszystkie satelity o kątach elewacji od 90° do -3,54°.

Obliczenie rozkładu $epfd$ każdego systemu jest konieczne tylko na jednej częstotliwości odniesienia, a najlepiej na częstotliwości, na której moc sygnału osiąga wartość maksymalną. Kształt widma sygnału służby radionawigacyjnej satelitarnej powinien być przedstawiony na spotkaniu konsultacyjnym, tak aby wyniki obliczeń mogły zostać następnie pomnożone przez odpowiednie czynniki kształtowania widma celem uzyskania wyników dla każdej innej częstotliwości.

1.3 Metoda obliczania maksymalnej $epfd$ dla systemu NGSO służby radionawigacyjnej satelitarnej

Aby tego dokonać, można zastosować metodę symulacji podaną w załączniku 1 do dodatku 1, która opiera się całkowicie na zaleceniu ITU-R S.1325.

Metoda przedstawiona w załączniku 2 do dodatku 1 w całości opiera się na technice analitycznej. Wspomnianą metodę można wykorzystać w celu uzyskania szybkich szacunków, jednak nie daje ona dokładnych wyników w zakresie górnych ograniczeń.

1.4 Metoda obliczania maksymalnej $epfd$ dla systemu GSO służby radionawigacyjnej satelitarnej

Wymaga się, aby maksymalną $epfd$ dla każdego satelity GSO obliczano na każdej szerokości i długości geograficznej na całej powierzchni Ziemi dla każdego 1 MHz widma zajętego przez system.

W takim przypadku $epfd$ nie będzie zależeć od czasu, w związku z czym można bezpośrednio obliczyć pojedynczą tabelę wyników.

2 Metoda obliczania maksymalnej zagregowanej epfd wytwarzanej przez wszystkie systemy służby radionawigacyjnej satelitarnej

2.1 Dane wymagane dla każdego systemu

Każdy system NGSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej nieposiadający okresu geosynchronicznego, po zastosowaniu metody określonej w § 1.3, przygotowuje spotkanie konsultacyjne wraz z listą maksymalnych wartości epfd w zestawieniu z szerokością geograficzną (stosownie na wszystkich długościach geograficznych) i kształtem widma sygnału.

Każdy system NGSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej posiadający okres geosynchroniczny, po zastosowaniu metody określonej w § 1.3, przygotowuje spotkanie konsultacyjne wraz z listą maksymalnych wartości epfd w zestawieniu z szerokością i długością geograficzną oraz kształtem widma sygnału.

Każdy system GSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej, po zastosowaniu metody określonej w § 1.4, przygotowuje spotkanie konsultacyjne wraz z listą maksymalnych wartości epfd w zestawieniu z szerokością i długością geograficzną oraz kształtem widma sygnału.

2.2 Zestawienie wartości epfd systemów o podobnych parametrach sygnału

Zagregowaną epfd systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej o tej samej częstotliwości maksymalnego widma sygnału można wyznaczyć za pomocą trzech kroków:

Krok 1a: zsumowanie punkt po punkcie maksymalnych wartości epfd w paśmie 1 MHz, w którym sygnał ma maksymalną moc na każdej szerokości geograficznej, we wszystkich wykazach dotyczących systemów NGSO (nieposiadających okresu geosynchronicznego) w celu uzyskania listy wartości zagregowanej epfd systemów NGSO (nieposiadających okresu geosynchronicznego) w zestawieniu z szerokością geograficzną;

Krok 1b: zsumowanie punkt po punkcie maksymalnych wartości epfd w paśmie 1 MHz, w którym sygnał ma maksymalną moc na każdej szerokości i długości geograficznej, we wszystkich wykazach dotyczących systemów NGSO (posiadających okres geosynchroniczny) w celu uzyskania wykazu wartości zagregowanej epfd systemów NGSO (posiadających okres geosynchroniczny) w zestawieniu z szerokością i długością geograficzną;

Krok 2: zsumowanie punkt po punkcie maksymalnych wartości epfd w paśmie 1 MHz, w którym sygnał ma maksymalną moc w każdym punkcie szerokości i długości geograficznej, we wszystkich tabelach dotyczących systemów GSO w celu uzyskania tabeli wartości zagregowanej epfd systemów NGSO w zestawieniu z szerokością i długością geograficzną;

Krok 3: zsumowanie punkt po punkcie listy wartości zagregowanej epfd systemów NGSO (nieposiadających okresu geosynchronicznego) w zestawieniu z szerokością geograficzną oraz listy wartości zagregowanej epfd systemów NGSO (posiadających okres geosynchroniczny) w zestawieniu z szerokością i długością geograficzną do każdej kolumny z długością geograficzną tabeli wartości zagregowanej epfd systemów GSO zestawionych z szerokością i długością geograficzną w celu uzyskania ogólnej tabeli wartości zagregowanej epfd zestawionych z szerokością i długością geograficzną.

Badanie najwyższej wartości epfd w tej tabeli pokaże, czy na dowolnym paśmie 1 MHz spełnione jest kryterium ochrony, o którym mowa w Zaleceniu ITU-R M.1639.

2.3 Zestawienie wartości epfd systemów o różnych parametrach sygnału

Należy zauważyć, że maksymalna zagregowana epfd będzie zależna od częstotliwości. Jeśli widma wszystkich branych pod uwagę systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej mają swoje maksymalne wartości na tej samej częstotliwości, wystarczy przeprowadzić jedną analizę. Jeżeli jednak różne systemy mają różne wartości maksymalne, ponieważ używają różnych środkowych

częstotliwości z nakładającymi się widmami lub ponieważ wykorzystują różne techniki modulacji, to w analizie maksymalnej zagregowanej epfd należy uwzględnić częstotliwość.

Wyznaczenie maksymalnej zagregowanej epfd systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej o różnych częstotliwościach środkowych wymaga co najmniej zrealizowania powyższych trzech etapów na każdej częstotliwości, na której każdy pojedynczy system osiąga maksymalną wartość widma sygnału, i może również wymagać analizy częstotliwości pośrednich.

Dla każdej częstotliwości każda lista lub tabela zostanie pomnożona przez odpowiedni czynnik kształtowania widma przed zsumowaniem ich z innymi listami i tabelami.

Badanie najwyższej wartości epfd we wszystkich uzyskanych tabelach ujawni, czy w każdym paśmie 1 MHz przestrzegane jest kryterium ochrony określone w zaleceniu ITU-R M.1639.

2.4 Weryfikacja wyników

Po wyznaczeniu maksymalnej zagregowanej epfd, z zastosowaniem załącznika 1 lub 2 do dodatku 1, w celu potwierdzenia uzyskanych wyników można rozważyć przeprowadzenie jednoczesnej symulacji wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej umiejscowionych w lokalizacji stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej, w przypadku gdy wyznaczono bezwzględną wartość maksymalnej zagregowanej epfd.

Załącznik 1 do dodatku 1

Metoda symulacji na potrzeby wyznaczania maksymalnej epfd dla systemu NGSO służby radionawigacyjnej satelitarnej

1 Metoda i opis podejścia symulacyjnego

Podstawą tej metody w oparciu o Zalecenie ITU-R S.1325 jest opracowanie modelu wszystkich satelitów systemu służby radionawigacyjnej satelitarnej na określonej częstotliwości odniesienia (zazwyczaj jest to część 1 MHz zakresu 1 164–1 215 MHz o maksymalnej gęstości widmowej sygnału służby radionawigacyjnej satelitarnej). Symulację konstelacji poddaje się próbkowaniu przez określony okres w stosunkowo szybkim tempie. Dla każdej próby oblicza się epfd dla wszystkich punktów szerokości i długości geograficznej. Dla każdego punktu szerokości i długości geograficznej należy zarejestrować maksymalną próbę. Pozostałe próby mogą zostać odrzucone. Wynikiem jest tabela, która może być przedstawiona jako mapa, jak pokazano na rys. 5 i 6. Następnie należy określić maksymalną epfd dla każdej szerokości geograficznej, dzięki czemu wyeliminowane zostaną przybliżenia spowodowane ograniczonym czasem symulacji.

2 Założenia symulacji

2.1 Model orbity

Modele orbit do celów symulacji stacji kosmicznych na ich orbitach mają zastosowanie wyłącznie dla orbit kołowych i eliptycznych, z uwzględnieniem precesji linii węzłów w płaszczyźnie równikowej ze względu na asferyczność Ziemi.

Model orbity reprezentuje ruch satelity w geocentrycznym inercyjnym układzie współrzędnych przedstawionym na rys. 1. Początek tego układu inercyjnego znajduje się w środku Ziemi. Oś x skierowana jest do pierwszego punktu w gwiazdozbiornie Barana (tj. równonoc wiosenna), oś z jest średnią osią obrotu Ziemi, a oś y określa się jako iloczyn wektorowy wektorów jednostkowych w kierunku z i x, tzn. $\vec{y} = \vec{z} \times \vec{x}$

Modele orbit opierają się na równaniu ruchu Newtona dla satelity orbitującego wokół idealnie kulistej Ziemi w okręgu i elipsie. W przypadku systemu NGSO korzystającego z orbity kołowej cechą tego ruchu, dzięki której opracowanie modelu jest łatwe, jest to, że promień orbity satelity i prędkości są stałe.

2.1.1 Stałe dotyczące Ziemi

W odniesieniu do Ziemi ogólnymi stałymi są:

- R_e : promień Ziemi (6 378,137 km)
- O : środek Ziemi
- μ : stała przyciągania ziemskiego ($3,986005 \times 10^5 \text{ km}^3/\text{s}^2$)
- J_2 : druga stała harmoniczna potencjału Ziemi ($1\,082,63 \times 10^{-6}$)
- T_e : okres obrotu Ziemi (23 godz. 56' 4,0989" = 86 164,0989 s)
- Ω_e : prędkość kątowna obrotu Ziemi = $2\pi/T_e \cong 7,2921151467 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$
- t : czas, jaki upłynął od symulowanej epoki (s)

2.1.2 Stałe dotyczące stacji kosmicznych satelitarne systemu NGSO

W odniesieniu do stacji kosmicznych satelitarne systemu NGSO korzystających z orbit kołowych (zob. rys. 1) stałe są następujące:

- N : liczba stacji kosmicznych satelitarne systemu NGSO
- i : indeks dla każdego satelity niegeostacjonarnego ($0 \leq i < N$)
- h_{sat} : wysokość satelity nad Ziemią (w km)
- r : promień orbity satelity (w km) = $h_{sat} + R_e$
- I : kąt nachylenia płaszczyzny orbitalnej do równika (rad)
- RAAN: długość węzła wstępującego
- $\Omega_{i,0}$: RAAN i -tego satelity niegeostacjonarnego w czasie t (rad)
- $u_{i,0}$: argument szerokości i -tego satelity niegeostacjonarnego w czasie t (rad)
- T : okres orbitalny satelity (s) = $2\pi (r^3/\mu)^{1/2}$
- n : ruch średni satelity (rad/s) = $2\pi/T$
- $u_{i,t}$: argument szerokości i -tego satelity w czasie t (rad) = $u_{i,0} + n_t$
- Ω_r : regresja węzłowa węzła wstępującego (rad/s)

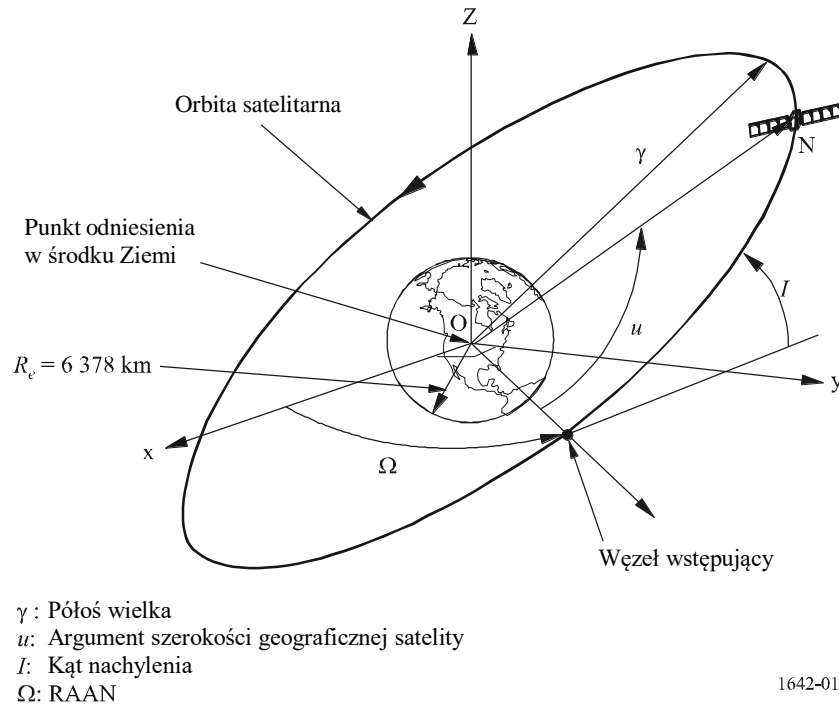
$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I) R_e^2 \frac{\sqrt{r\mu}}{r^4}$$

- $\Omega_{i,t}$: RAAN i -tego satelity niegeostacjonarnego w czasie t (rad) = $\Omega_{i,0} + \Omega_r t$

\vec{ON}_i : wektor współrzędnych (w inercyjnym układzie współrzędnych) satelity niegeostacjonarnego w stałym układzie współrzędnych, którego środek stanowi Ziemia:

$$\vec{ON}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) - \cos(I) \cdot \sin(u_{i,t}) \cdot \sin(\Omega_{i,t}) \\ \cos(u_{i,t}) \cdot \sin(\Omega_{i,t}) + \cos(I) \cdot \sin(u_{i,t}) \cdot \cos(\Omega_{i,t}) \\ \sin(u_{i,t}) \cdot \sin(I) \end{bmatrix}$$

RYSUNEK 1
Geometria orbity kołowej



W przypadku stacji kosmicznych satelitarne systemu NGSO korzystających z orbit eliptycznych (zob. rys. 2 i 3) stałe są następujące:

- N : liczba stacji kosmicznych satelitarne systemu NGSO
- i : indeks dla każdego satelity niegeostacjonarne ($0 \leq i < N$)
- a_i : półoś wielka i -tego satelity (km)
- e_i : ekscentryczność i -tego satelity (km)
- $M_{i,0}$: średnia anomalia i -tego satelity niegeostacjonarne w czasie początkowym (rad)
- T_i : okres orbitalny i -tego satelity (s) $= 2\pi(a_i^3 / \mu)^{1/2}$
- n_i : średnia prędkość i -tego satelity (rad/s) $= 2\pi/T_i$
- $v_{i,t}$: prawdziwa anomalia i -tego satelity w czasie $t = 2 \cdot \text{tg}^{-1} \left[\sqrt{\frac{1+e_i}{1-e_i}} \text{tg} \frac{E_{i,t}}{2} \right]$
- $E_{i,t}$: anomalia ekscentryczna i -tego satelity w czasie $t = 2 \cdot \text{tg}^{-1} \left[\sqrt{\frac{1-e_i}{1+e_i}} \text{tg} \left(\frac{v_{i,t}}{2} \right) \right]$
- $M_{i,t}$: średnia anomalia i -tego satelity w czasie $t = M_{i,0} + n_i \cdot t = E_{i,t} - e_i \cdot \sin E_{i,t}$ *
- I_i : kąt nachylenia płaszczyzny orbitalnej do równika i -tego satelity (rad)
- RAAN: długość węzła wstępującego

* Jeżeli $M_{i,t}$ jest podane, $E_{i,t}$ wyznacza się przez iterację. Zazwyczaj w przypadku krótkich odstępów czasowych, ostatnią wartość $E_{i,t}$ można wykorzystać jako wstępną wartość szacunkową.

$\Omega_{i,0}$: RAAN każdego i -tego satelity niegeostacjonarnego w czasie początkowym (rad)

$\omega_{i,0}$: argument perygeum każdego i -tego satelity niegeostacjonarnego w czasie początkowym (rad)

$u_{i,t}$: argument szerokości i -tego satelity w czasie t (rad) = $\omega_{i,0} + v_{i,t}$

Ω_{ri} : regresja węzłowa węzła wstępującego i -tego satelity (rad/s)

$$= -\frac{3}{2} J_2 \cos(I_i) R_e^2 \frac{\sqrt{a_i \mu}}{a_i^4 (1 - e_i^2)^2}$$

$\Omega_{i,t}$: RAAN i -tego satelity w czasie t (rad) = $\Omega_{i,0} + \Omega_{rit}$

$\vec{ON}_{i,t}$: wektor współrzędnych (w inercyjnym układzie współrzędnych) i -tego satelity niegeostacjonarnego w stałym układzie współrzędnych, którego środek stanowi Ziemia, w czasie t :

$$\vec{ON}_{i,t} = \text{rot3}(-\Omega_{i,t}) \cdot \text{rot1}(-I_i) \cdot \text{rot3}(-\omega_{i,0}) \cdot \vec{r}_{i,t}$$

$\text{rot1}(\alpha)$: obrotu wokół osi x

$$\text{rot1}(\alpha) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$$

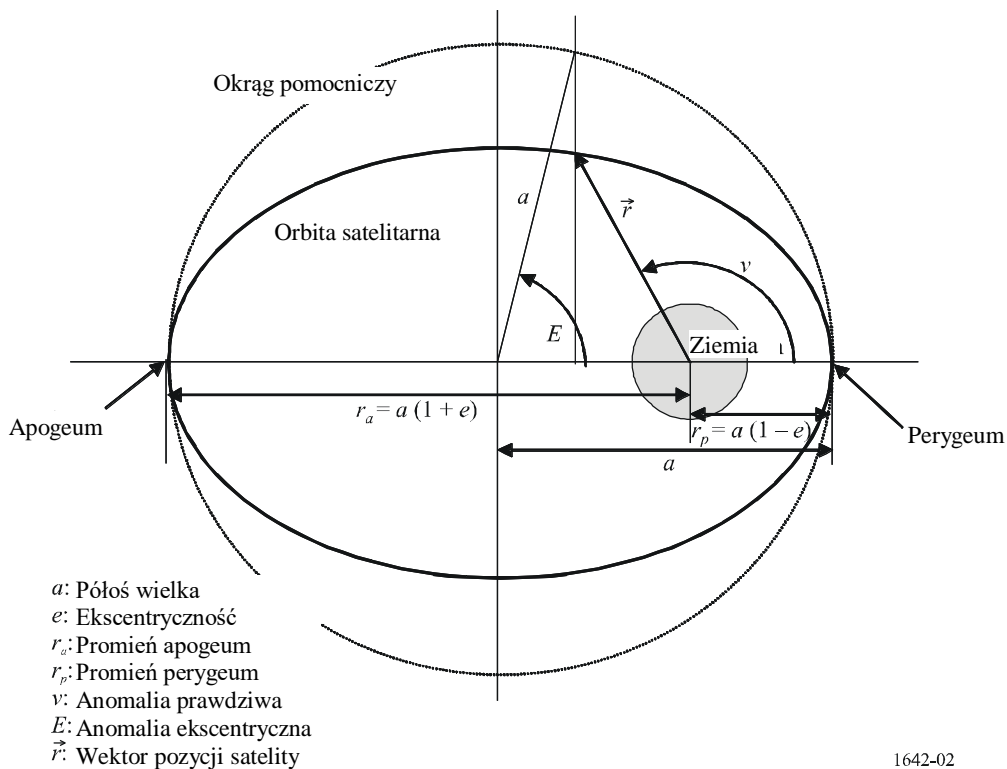
$\text{rot3}(\alpha)$: obrotu wokół osi z

$$\text{rot3}(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\vec{r}_{i,t} : \vec{r}_{i,t} = r_{i,t} \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \sin v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e_i \cdot \cos v_{i,t}} \cdot \begin{bmatrix} \cos v_{i,t} \\ \sin v_{i,t} \\ 0 \end{bmatrix}$$

RYSUNEK 2

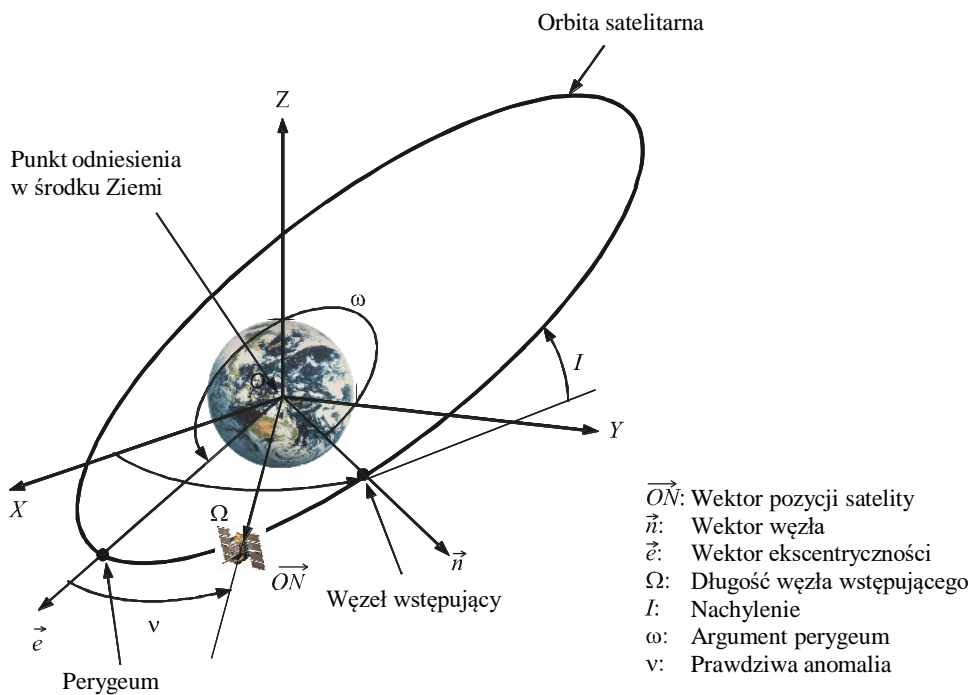
Geometria orbity eliptycznej w płaszczyźnie ogniskowej



1642-02

RYSUNEK 3

Geometria orbity eliptycznej w układzie geocentrycznym



1642-03

Przy obliczaniu stałych związanych z konstelacją NGSO można rozważyć perturbację NGSO, jako że położenie satelitów może być inne przy uwzględnieniu perturbacji.

2.1.3 Stałe dotyczące stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej

- Lat: szerokość geograficzna stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej (rad)
- Lon: długość geograficzna stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej (rad)
- h_{ARNS} : wysokość stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej (km)
- \vec{OM} : współrzędne geograficzne stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej w inercyjnym układzie współrzędnych, którego środek stanowi Ziemia

$$\vec{OM} = \begin{cases} X = (R_e + h_{ARNS}) \cos(\text{Lat}) \cos(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Y = (R_e + h_{ARNS}) \cos(\text{Lat}) \sin(\text{Lon} + \Omega_e t) \\ Z = (R_e + h_{ARNS}) \sin(\text{Lat}) \end{cases}$$

2.2 Parametry anteny

2.2.1 Parametry anteny stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej

Charakterystyka promieniowania anteny stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej jest parametrem wejściowym w symulacji (zob. dodatek 2).

2.2.2 Parametry anteny stacji kosmicznej w systemie niegeostacjonarnym

Aby przeprowadzić analizę zakłóceń, anteny satelity NGSO powinno się przedstawić przy użyciu jednej z następujących charakterystyk, w zależności od dostępności:

- zmierzone charakterystyki promieniowania anteny;
- proponowane referencyjne charakterystyki promieniowania anteny;
- funkcja analityczna przedstawiająca charakterystykę promieniowania anteny satelity NGSO.

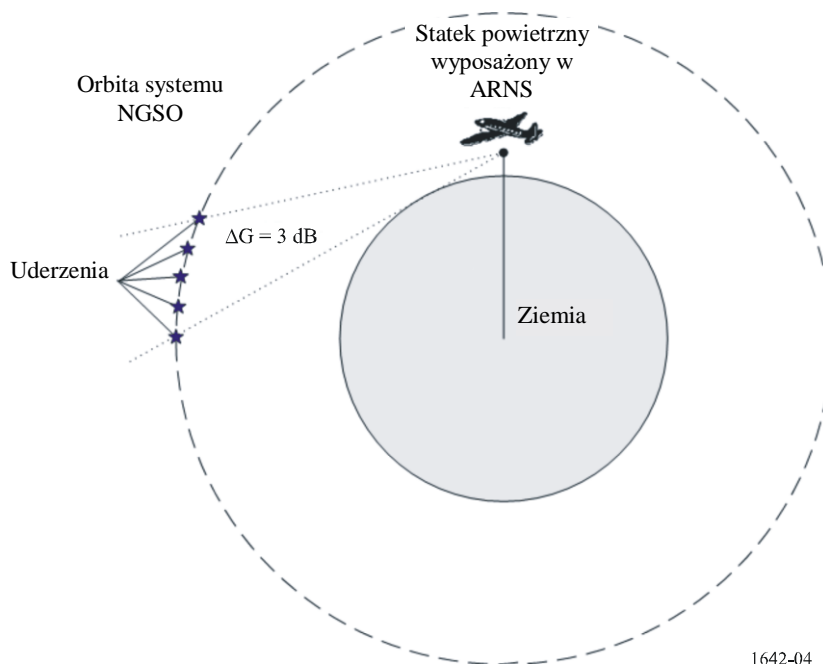
2.3 Obliczanie czasu symulacji

2.3.1 Przyrost czasu symulacji

Dla uzyskania dokładnych wyników przyrost czasu symulacji, t_{inc} , powinien być jak najkrótszy, lecz z drugiej strony całkowity czas symulacji powinien być rozsądny. Aby osiągnąć wymaganą dokładność, konieczne jest zapewnienie wystarczającej liczby pomiarów epfd (N_{hits}), gdy statek kosmiczny w systemie niegeostacjonarnym w służbie radionawigacyjnej satelitarnej wchodzi w zakres charakterystyki promieniowania anteny w służbie radionawigacyjnej lotniczej zakładającej maksymalny zysk widoczny dla stacji kosmicznej. $N_{hits} = 0$ wartości 5 jest uważane za wystarczające.

Maksymalny zysk widoczny dla stacji kosmicznej następuje na kącie elewacji od $-3,54^\circ$ do $+3^\circ$ (dodatek 2) w przypadku statku powietrznego na wysokości 40 000 stóp (12 192 m). Ważne jest, aby wartość N_{hits} wynosiła 5 w tym zakresie, co oznacza, że przyrost czasu symulacji o wartość 1° ruchu konstelacji jest wystarczający.

RYSUNEK 4
Rozważenie przyrostu czasu symulacji



2.3.2 Całkowity czas symulacji

Satelita w konstelacji NGSO na dowolnej orbicie śledzi ścieżkę na powierzchni Ziemi. Po upływie czasu określonego dla systemu, omawiany satelita lub inny satelita konstelacji powraca do tego samego lub prawie tego samego punktu. Czas pomiędzy tymi dwoma przypadkami to okres powtórzenia konstelacji. Okresy powtórzenia różnych konstelacji wynoszą od kilku dni do kilku miesięcy. Typowe wyniki obliczeń epfd systemu służby radionawigacyjnej satelitarnej w jednym okresie powtórzenia konstelacji przedstawiono na rys. 5.

Dokładne tempo precesji długości geograficznej satelitów konstelacji NGSO będzie narażone na dryfy ze względu na wzdlużne utrzymywanie błędów przez stację. Efekt ten może zostać odwzorowany i zintegrowany w symulacjach.

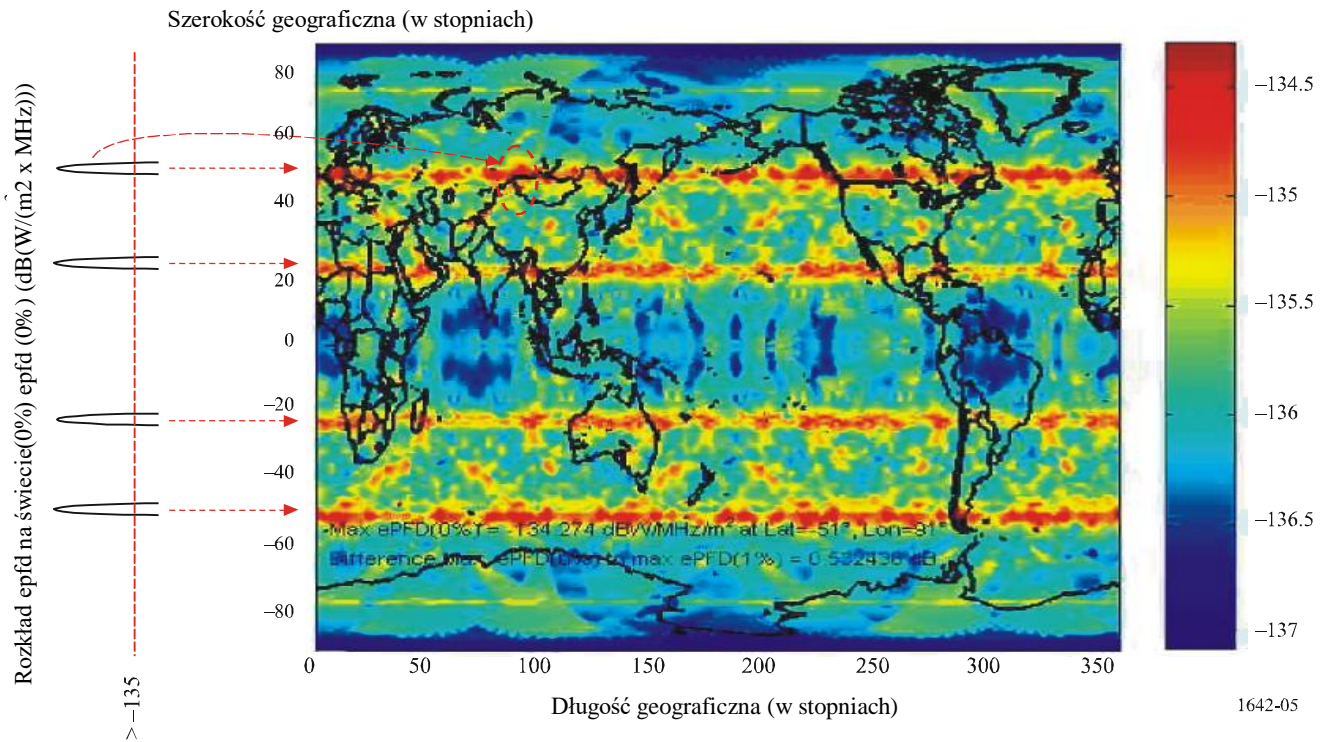
W przypadku systemu NGSO nieposiadającego okresu geosynchronicznego wspomniany wyżej efekt spowoduje maksymalną epfd na każdej długości geograficznej, stając się w rzeczywistości maksymalną epfd na wszystkich długościach geograficznych. (Innymi słowy, gdyby symulacja miała obejmować wszystkie możliwe stany konstelacji, „wysokie miejsca” o maksymalnej epfd na mapie na rys. 5 rozprzestrzeniłyby się poziomo, tworząc jednolite paski poziome.) W związku z tym uznaje się, że lepiej będzie przyjąć, dla każdej szerokości geograficznej, maksymalną epfd na każdej długości geograficznej i używać jej dla wszystkich długości geograficznych. Przekształca to tabelę maksymalnych wartości epfd zestawionych z szerokością i długością geograficzną w zwykły wykaz wartości maksymalnej epfd zestawionych z szerokością geograficzną.

Jeśli to uczyniono, to czas symulacji można skrócić do pojedynczego okresu orbitalnego dla systemu NGSO nieposiadającego okresu geosynchronicznego. „Mapa” wygenerowana w drodze takiej ograniczonej symulacji pokaże tylko kilka „wysokich miejsc”, ale, na każdej szerokości geograficznej, wartość „wysokich miejsc”, reprezentująca maksymalną epfd na każdej długości geograficznej, będzie taka sama.

Dodatkowo ilość informacji, jaką należy przedstawić na spotkaniu konsultacyjnym, zostałaby znacznie zmniejszona.

RYSUNEK 5

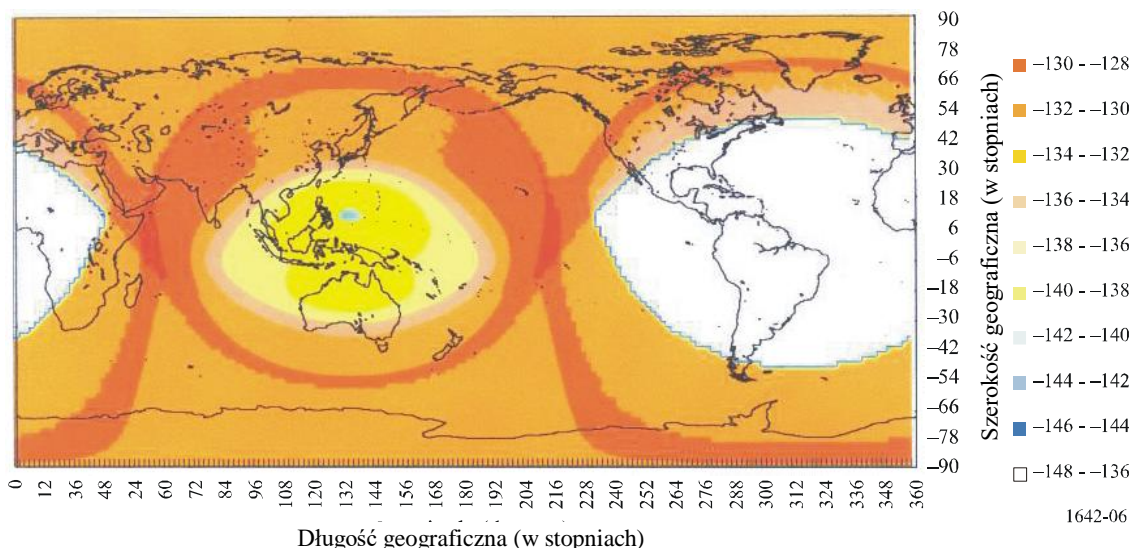
Przykład rozkładu maksymalnej epfd na świecie



Z drugiej strony systemy NGSO posiadające okres geosynchroniczny tworzą szlaki naziemne, które są ograniczone do limitowanego zakresu długości geograficznej na powierzchni Ziemi. Spowoduje to powstanie „wysokich miejsc” o maksymalnej epfd pojawiających się tylko na ograniczonym obszarze powierzchni Ziemi. (Innymi słowy „wysokie miejsca” o maksymalnej epfd na powierzchni Ziemi nie rozprzestrzenia się poziomo.) W związku z tym wartość zagregowaną epfd, spowodowaną przez systemy NGSO posiadające okres geosynchroniczny, oblicza się dla punktów szerokości i długości geograficznej w zakresie widzialnym z systemu NGSO.

W przypadku systemu NGSO posiadającego okres geosynchroniczny obliczeń można dokonać, uwzględniając pojedynczy okres orbitalny. Typowe wyniki obliczeń epfd dla systemu NGSO posiadającego okres geosynchroniczny przedstawiono na rys. 6.

RYSUNEK 6
Przykład światowego rozkładu maksymalnej epfd dla systemu NGSO
posiadającego okres geosynchroniczny



Załącznik 2 do dodatku 1

Metoda analityczna oceny maksymalnej epfd pojedynczego systemu w służbie radionawigacyjnej satelitarnej działającego w zakresie 1 164–1 215 MHz

1. Wprowadzenie

Metoda ta ma na celu wskazanie sposobu oceny maksymalnej epfd pojedynczego systemu w służbie radionawigacyjnej satelitarnej.

Definicję epfd przedstawiono w dodatku 1, § 1.1.

2 Opis metody

Jeśli zakłada się, że konstelacje systemu NGSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej składają się z wielu płaszczyzn orbitalnych, to bardzo prawdopodobne jest, że w każdej poszczególnej płaszczyźnie maksymalnie jeden satelita na płaszczyznę będzie zawierał się w zakresie kąta elewacji od $-3,54^\circ$ do $+3^\circ$ charakterystyki promieniowania anteny w służbie radionawigacyjnej lotniczej (zob. dodatek 2). Ponadto, w przypadku systemów NGSO prawdopodobne jest, że, gdy satelita znajduje się w charakterystyce promieniowania anteny w służbie radionawigacyjnej lotniczej o maksymalnym zysku widocznego dla stacji kosmicznej, to wkład epfd pozostałych satelitów na płaszczyźnie będzie stosunkowo nieistotny. W związku z tym, że liczba satelitów ze znaczącym wkładem w wartość zagregowanej epfd systemu w służbie radionawigacyjnej satelitarnej może być mniejsza lub równa liczbie satelitów systemu korzystającego z tych samych założeń, to maksymalną epfd konstelacji systemów NGSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej ($epfd_{max}$) można wyznaczyć za pomocą wzoru:

$$epfd_{max} = 10 \lg N_p + epfd_{i,max} \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

gdzie:

N_p : maksymalna liczba satelitów w głównej wiązce anteny odbiorczej w służbie radionawigacyjnej lotniczej (typowo liczba płaszczyzn orbitalnych w konstelacji)

$epfd_{i,max}$: maksymalny wkład epfd pojedynczego satelity (dB(W/(m² · MHz)))

3 Przykłady NGSO

W przypadku maksymalnego wkładu epfd pojedynczego satelity na poziomie –136,9 dB(W/(m² · MHz)) w ramach konstelacji NGSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej sześciu płaszczyzn, na podstawie wzoru podanego w § 2, $epfd_{max}$ wynosi:

$$epfd_{max} = (-136,9) + 10 \lg 6 = -129,12 \quad \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))}$$

Podobnie w przypadku maksymalnego wkładu epfd pojedynczego satelity na poziomie –130,24 dB(W/(m² · MHz)), w ramach konstelacji NGSO w służbie radionawigacyjnej satelitarnej trzech płaszczyzn, na podstawie wzoru podanego w § 2, $epfd_{max}$ wynosi –125,47 dB(W/(m² · MHz)).

Wartości te są zgodne z metodą symulacji przedstawioną w załączniku 1 do dodatku 1; różnica wynosi jedynie 1,2 dB.

Dodatek 2

Parametry referencyjne stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej, które należy zastosować przy obliczaniu epfd

1 Parametry techniczne anteny w służbie radionawigacyjnej lotniczej

W tabeli 1 przedstawiono zysk anteny dla wartości elewacji pomiędzy –90° a 90°. Dla wartości elewacji pomiędzy dwoma wartościami przedstawionymi w tabeli 1 należy zastosować interpolację liniową. Wartość $G_{r,max}$ wynosi 3,4 dBi, jak określono w Zaleceniu ITU-R M.1639, i obejmuje ona wartość rozbieżności polaryzacji kołowej do liniowej na poziomie 2 dB. Zakłada się, że elewacja i charakterystyka zysku są takie same dla wszystkich kątów azymutu.

TABELA 1

Kąt elewacji (w stopniach)	Zysk anteny obejmujący rozbieżność polaryzacji kołowej do liniowej $G_r/G_{r,max}$ (dB)	Kąt elewacji (w stopniach)	Zysk anteny obejmujący rozbieżność polaryzacji kołowej do liniowej $G_r/G_{r,max}$ (dB)	Kąt elewacji (w stopniach)	Zysk anteny obejmujący rozbieżność polaryzacji kołowej do liniowej $G_r/G_{r,max}$ (dB)
-90	-17,22	22	-10,72	57	-15,28
-80	-14,04	23	-10,81	58	-15,49
-70	-10,51	24	-10,90	59	-15,67
-60	-8,84	25	-10,98	60	-15,82
-50	-5,40	26	-11,06	61	-16,29
-40	-3,13	27	-11,14	62	-16,74
-30	-0,57	28	-11,22	63	-17,19
-20	-1,08	29	-11,29	64	-17,63
-10	0,00	30	-11,36	65	-18,06
-5	-1,21	31	-11,45	66	-18,48
-3	-1,71	32	-11,53	67	-18,89
-2	-1,95	33	-11,60	68	-19,29
-1	-2,19	34	-11,66	69	-19,69

TABELA 1 (koniec)

Kąt elewacji (w stopniach)	Zysk anteny obejmujący rozbieżność polaryzacji kołowej do liniowej $G_r/G_{r,max}$ (dB)	Kąt elewacji (w stopniach)	Zysk anteny obejmujący rozbieżność polaryzacji kołowej do liniowej $G_r/G_{r,max}$ (dB)	Kąt elewacji (w stopniach)	Zysk anteny obejmujący rozbieżność polaryzacji kołowej do liniowej $G_r/G_{r,max}$ (dB)
0	-2,43	35	-11,71	70	-20,08
1	-2,85	36	-11,75	71	-20,55
2	-3,26	37	-11,78	72	-20,99
3	-3,66	38	-11,79	73	-21,41
4	-4,18	39	-11,80	74	-21,80
5	-4,69	40	-11,79	75	-22,15
6	-5,20	41	-12,01	76	-22,48
7	-5,71	42	-12,21	77	-22,78
8	-6,21	43	-12,39	78	-23,06
9	-6,72	44	-12,55	79	-23,30
10	-7,22	45	-12,70	80	-23,53
11	-7,58	46	-12,83	81	-23,44
12	-7,94	47	-12,95	82	-23,35
13	-8,29	48	-13,05	83	-23,24
14	-8,63	49	-13,14	84	-23,13
15	-8,97	50	-13,21	85	-23,01
16	-9,29	51	-13,56	86	-22,88
17	-9,61	52	-13,90	87	-22,73
18	-9,93	53	-14,22	88	-22,57
19	-10,23	54	-14,51	89	-22,40
20	-10,52	55	-14,79	90	-22,21
21	-10,62	56	-15,05		

2 Położenie stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej

Należy uwzględnić wysokość stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej określoną w najbardziej pesymistycznym scenariuszu (12 192 m)¹, dającą maksymalną widoczność potencjalnie zakłócających satelitów z anteny odbiorczej stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej.

¹ Odpowiednik wysokości 40 000 stóp.

ZALECENIE ITU-R M.1643-0*

Wymogi techniczno-operacyjne dla ziemskich stacji statku powietrznego w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej, obejmujące stacje, które wykorzystują transpondery działające w sieci w służbie stałej satelitarnej w zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz (Ziemia-kosmos)

(2003)

Streszczenie

Niniejsze zalecenie określa ogólnoświatowe wymogi techniczno-operacyjne dla ziemskich stacji statku powietrznego (AES) w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej (AMSS), obejmujące stacje, które wykorzystują transpondery działające w sieci w służbie stałej satelitarnej w zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz (Ziemia-kosmos); administracje powinny traktować te wymogi jako techniczne wytyczne dotyczące ustanawiania wymogów w zakresie zgodności dla AES oraz ułatwiające przyznawanie tym stacjom licencji.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że zaprojektowano szereg różnych pod względem technicznym i operacyjnym sieci w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej (AMSS), które rozpoczną pracę w najbliższej przyszłości;
- b) że te planowane sieci w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej mogą zapewniać dostęp do szeregu zastosowań łączności szerokopasmowej (internet, e-mail, wewnętrzne sieci korporacyjne) ze statkiem powietrznym i ze statku powietrznego w skali światowej;
- c) że ziemska stacja statku powietrznego (AES) będzie współpracowała z krajowymi i międzynarodowymi liniami lotniczymi na całym świecie;
- d) że krążenie AES jest zwykle przedmiotem wielu krajowych i międzynarodowych zasad i regulacji, obejmujących zachowanie zadowalającej zgodności ze wzajemnie uzgodnionymi normami technicznymi i wymogami operacyjnymi;
- e) potrzebę określenia wymogów technicznych i operacyjnych w odniesieniu do testów zgodności dotyczących AES;

* UWAGA – Grupa Arabska reprezentowana na RA-03 wstrzymała się z określeniem swojego stanowiska w sprawie niniejszego zalecenia i zgłosiła brak gotowości do przyjęcia jakichkolwiek konsekwencji w odniesieniu do pozycji 1.11 porządku obrad WRC-03.

f) że określenie technicznych i operacyjnych wymagań dla AES zapewniło by wspólne podstawy techniczne ułatwiające różnym organom krajowym i międzynarodowym przeprowadzanie testów zgodności dotyczących AES oraz opracowanie uzgodnień dotyczących wzajemnego uznawania zgodności w odniesieniu do AES;

g) że techniczne i operacyjne wymagania powinny przyczyniać się do osiągnięcia dopuszczalnej równowagi między złożonością urządzeń radiowych a potrzebą skutecznego wykorzystania widma częstotliwości radiowych,

uwzględniając również

a) że w zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz znajdują się przeznaczenia na prawach pierwszej ważności dla służby stałej satelitarnej (Ziemia-kosmos), służby radionawigacyjnej, służb stałych i ruchomych (z wyjątkiem służby ruchomej lotniczej); że do służb drugiej ważności, które otrzymały przeznaczenia w zakresie 14–14,5 GHz lub w częściach tego zakresu, należą służba ruchoma satelitarna (z wyjątkiem służby ruchomej lotniczej satelitarnej) (Ziemia-kosmos), służba badań kosmosu (SRS), służba radioastronomiczna (RAS) i służba radionawigacyjna satelitarna;

b) że istnieje wymóg pełnej ochrony wszystkich służb pierwszej ważności i istniejących wcześniej systemów służb drugiej ważności w zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz;

c) że wyniki badań przeprowadzonych zgodnie z Uchwałą 216 (Rev.WRC-2000) wskazują na możliwość użytkowania zakresu częstotliwości 14–14,5 GHz przez służbę ruchomą lotniczą satelitarną (Ziemia-kosmos) na prawach drugiej ważności zgodnie z pewnymi warunkami i ustaleniami¹;

d) że określenie przez ITU-R technicznych i operacyjnych wymagań dla AES działających w zakresie 14–14,5 GHz mogłoby pomóc administracjom w zapobieganiu szkodliwym lub niedopuszczalnym zakłóceniom innych służb;

e) że powinna istnieć możliwość stałego i dokładnego mierzenia i kontrolowania parametrów technicznych i operacyjnych,

zaleca

1 aby techniczne i operacyjne wymagania dotyczące AES w sieciach w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej działającej w zakresie 14–14,5 GHz, określone w dodatkach 1 i 2, były stosowane przez administracje jako wytyczne dotyczące:

- ustanawiania wymagań w zakresie zgodności dla AES;
- ułatwiania pracy AES.

¹ Parametry typowych ziemskich stacji statków powietrznych muszą spełniać wymagania określone w niniejszym zaleceniu i, w dalszej kolejności, muszą być objęte zakresem objętności parametrów pierwotnie opublikowanych w Międzynarodowym okólniku informacji o częstotliwościach (BR IFIC) dotyczących odpowiedniej sieci w służbie stałej satelitarnej. W przypadku, gdy parametry nie są objęte zakresem objętności parametrów z pierwotnej publikacji, wymagana koordynacja takich potrzeb w odniesieniu do ziemskiej stacji statku powietrznego należy przeprowadzić odpowiednio zgodnie z obowiązującymi postanowieniami Regulaminu Radiowego (RR) oraz zmodyfikowanymi zasadami postępowania, określonymi w § 2 Zasad Postępowania odnoszącymi się do ust. 11.32 Regulaminu Radiokomunikacyjnego.

Dodatek 1

Techniczne i operacyjne wymagania dla ziemskich stacji statku powietrznego w sieciach w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej w zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz (Ziemia-kosmos)

Część A

Zasadnicze wymagania związane z ochroną sieci w służbie stałej satelitarnej

1 Sieci w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej (AMSS) powinny być skoordynowane i użytkowane w taki sposób, aby poziomy zagregowanej pozaosiowej e.i.r.p. wytwarzanej przez wszystkie ziemskie stacje statku powietrznego (AES) działające na wspólnych częstotliwościach w ramach sieci w służbie AMSS nie były większe od poziomów zakłóceń, które zostały opublikowane i skoordynowane dla szczególnych lub typowych stacji ziemskich należących do sieci w służbie stałej satelitarnej, w których wykorzystywane są transpondery działające w służbie stałej satelitarnej.

2 Konstrukcja, koordynacja i działanie stacji AES powinny uwzględniać przynajmniej poniższe czynniki, które mogą powodować różnicę w poziomach zagregowanej pozaosiowej e.i.r.p. generowanej przez daną AES:

2.1 niewłaściwe ukierunkowanie anten stacji AES. W stosowanych przypadkach to niewłaściwe ukierunkowanie anten obejmuje co najmniej skutki spowodowane odchyleniem i opóźnieniem systemów ukierunkowujących, błędem śledzenia systemów śledzenia w obiegu zamkniętym, niewspółosiowością między aperturą nadawczą i aperturą odbiorczą dla systemów wykorzystujących oddzielne apertury oraz niewspółosiowością między zasilaniem nadawczym i odbiorczym dla systemów wykorzystujących apertury połączone;

2.2 zmiany w charakterystyce promieniowania anteny stacji AES. W stosownych przypadkach zmiany te obejmują co najmniej skutki spowodowane wytwarzaniem tolerancji, starzeniem się anteny i wpływem na środowisko. Sieci w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej wykorzystujące niektóre typy anten stacji AES, takie jak szyki fazowane, powinny uwzględniać zmiany w charakterystyce promieniowania anteny pod względem kątów skanowania (elewacji i azymutu). Sieci wykorzystujące szyki fazowane powinny również uwzględniać błąd fazy elementu, błąd amplitudy i stopień niepowodzenia;

2.3 zmiany w e.i.r.p. transmisji pochodzącej z AES. W stosownych przypadkach zmiany te obejmują co najmniej skutki spowodowane błędem pomiaru, błędem kontroli i opóźnieniem w odniesieniu do systemów kontroli mocy o obiegu zamkniętym. Ośrodki kontroli i monitorowania sieci (NCMCs), które obliczają e.i.r.p. stacji AES w oparciu o otrzymany sygnał, muszą uwzględnić w tej kalkulacji źródła błędów i opóźnienie. NCMCs, które obliczają e.i.r.p. stacji AES w oparciu o moc wejściową, muszą uwzględnić błąd pomiaru i opóźnienie raportowania.

3 Stacja AES, która wykorzystuje funkcję śledzenia sygnału satelitarne w obwodzie zamkniętym, musi zastosować algorytm odporny na przechwytywanie i śledzenie sygnałów sąsiednich satelitów. Stacja AES musi ograniczyć transmisję bezzwłocznie po wykryciu, że doszło do niepożądanego śledzenia satelitarne lub że wkrótce takie śledzenie będzie miało miejsce.

4 Stacja AES powinna być objęta monitorowaniem i kontrolą prowadzoną przez NCMC lub równoważny ośrodek. Stacja AES musi mieć możliwość otrzymania od NCMC przynajmniej poleceń „umożliwienia transmisji” i „dezaktywacji transmisji”. Stacja AES musi automatycznie zaprzestać transmisji bezzwłocznie po otrzymaniu jakiegokolwiek polecenia „zmiany parametru”, które może powodować szkodliwe zakłócenie w czasie zmiany, do momentu otrzymania polecenia „włączenia transmisji” od swojego ośrodka kontroli i monitorowania sieci. Ponadto ośrodek kontroli i

monitorowania sieci powinien mieć możliwość monitorowania pracy stacji AES w celu określenia, czy jej działanie jest nieprawidłowe.

5 Ziemska stacja statku powietrznego musi również prowadzić monitoring własny i w razie wykrycia uszkodzenia, które może powodować szkodliwe zakłócenie sieci w służbie stałej satelitarnej, stacja AES musi automatycznie stłumić swoje transmisje.

Część B

Zasadnicze wymagania związane z ochroną służby stałej

W zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz użytkowanym przez sieci w służbie stałej w obrębie zasięgu horyzontu terytorium administracji, na którym sieci w służbie stałej działają w tym zakresie, maksymalna gęstość strumienia mocy wytwarzana na powierzchni Ziemi przez emisje pochodzące z jednej stacji AES w sieci w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej nie powinna przekraczać:

$$\begin{array}{llll} -132 + 0,5 \cdot \theta & \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{dla} & \theta \leq 40^\circ \\ -112 & \text{dB(W/(m}^2 \cdot \text{MHz))} & \text{dla} & 40 < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

gdzie θ jest kątem nadejścia fali radiowej (ponad płaszczyznę poziomą, wyrażonym w stopniach).

UWAGA 1 – Określone wcześniej wartości graniczne odnoszą się do gęstości strumienia mocy i kątów nadejścia fali, jakie uzyskano by zgodnie z warunkami propagacji w wolnej przestrzeni.

UWAGA 2 – Maskę e.i.r.p. można obliczyć na podstawie wyżej określonej maski gęstości strumienia mocy, stosując metodę przedstawioną w dodatku 2 do niniejszego zalecenia. Można również rozważyć uproszczenie uzyskanej maski e.i.r.p.

Część C

Zasadnicze wymagania związane ze współużytkowaniem ze służbą radioastronomiczną

W celu ochrony radioastronomii w zakresie częstotliwości 14,47–14,5 GHz stacje ziemskie w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej powinny spełniać oba poniższe wymagania:

Kanały stosowane w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej w zakresie częstotliwości 14,47–14,5 GHz

- stacje w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej nie transmitują w zakresie częstotliwości 14,47–14,5 GHz w obrębie zasięgu bezpośredniej widoczności stacji radioastronomicznych pracujących w tym zakresie;
- lub,
- jeżeli operator w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej zamierza pracować na wspólnej częstotliwości w obrębie widoczności stacji radioastronomicznej, potrzebne będzie szczegółowe porozumienie ze stacją radioastronomiczną, aby zapewnić, że w czasie obserwacji stacja AES w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej będzie spełniała wymagania Zaleceń ITU-R RA.769 i ITU-R RA.1513 w zakresie 14,47–14,5 GHz. W przypadku gdy jest to możliwe, porozumienie takie może obejmować przekazywanie operatorom w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej szczegółowych informacji dotyczących harmonogramów obserwacji.

Kanały stosowane w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej w zakresie częstotliwości 14–14,47 GHz

Wszystkie nadajniki stacji AES pracujące na kanałach w zakresie 14–14,47 GHz w obrębie zasięgu horyzontu stacji radioastronomicznych w czasie obserwacji radioastronomicznych mają takie emisje w zakresie 14,47–14,5 GHz, które spełniają wymagania w zakresie poziomów

i odsetka utraty danych, określone w Zaleceniach ITU-R RA.769 i ITU-R RA.1513. Wyniki badań wskazują, że następujące poziomy gęstości strumienia mocy stacji AES ($\text{dB(W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))}$) w zakresie 14,47–14,5 GHz są wystarczające, z pewnym marginesem, aby osiągać poziomy gęstości strumienia mocy przewidziane dla radioastronomii w Zaleceniu ITU-R RA.769 oraz odsetek utraty danych określony w Zaleceniu ITU-R RA.1513, tj.:

$$\begin{array}{lll} -190 + 0,5 \cdot \theta & \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{dla } \theta \leq 10^\circ \\ -185 & \text{dB(W/(m}^2 \cdot 150 \text{ kHz))} & \text{dla } 10^\circ < \theta \leq 90^\circ \end{array}$$

gdzie θ jest kątem nadejścia fali radiowej (ponad płaszczyznę poziomą, wyrażonym w stopniach).

Operatorzy w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej mogą osiągać takie poziomy gęstości strumienia mocy na stacji AES działającej w zakresie częstotliwości 14,47–14,5 GHz poprzez połączenie obniżonej mocy sygnału stacji AES, ostrego filtrowania, utrzymywania odpowiedniej separacji częstotliwości lub lepszej wydajności anteny stacji AES.

Część D

Zasadnicze wymagania związane ze współużytkowaniem ze służbą badań kosmosu

Należy opracować uzgodnienia koordynacyjne między służbą ruchomą lotniczą satelitarną a systemami badań kosmosu (SRS) w oparciu o sterowanie poziomów emisji wytwarzanych przez stację AES w zakresie częstotliwości użytkowanym przez systemy w służbie SRS, a w drastycznych przypadkach, uzgodnienia te mogą nakładać wymóg zaprzestania emisji przez stację AES na częstotliwościach użytkowanych przez system SRS w przypadku pracy w pobliżu stacji ziemskiej w służbie badań kosmosu. Szczegóły tych uzgodnień będą się różniły w zależności od parametrów poszczególnych miejsc prowadzenia działań w służbie badań kosmosu i sieci w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej.

Dodatek 2

Obliczanie maski e.i.r.p. półkuli południowej na podstawie maski gęstości strumienia mocy

Przy testowaniu urządzeń służby ruchomej lotniczej satelitarnej w celu ustalenia, czy spełnione są wymagania w zakresie danej maski gęstości strumienia mocy, takie jak te przedstawione w dodatku 1 część B, przydatne może być określenie zastępczej maski e.i.r.p., którą można wykorzystać do celów testowania.

Maskę gęstości strumienia mocy, gęstość strumienia mocy(θ) gdzie θ jest kątem nadejścia fali (kąt elewacji) na powierzchni Ziemi, można wykorzystać do matematycznego obliczenia maski e.i.r.p., e.i.r.p. (γ , H) gdzie γ jest kątem poniżej lokalnej płaszczyzny poziomej, a H jest wysokością bezwzględną pozycji statku powietrznego. Konwersji tej dokonuje się w dwóch etapach. Najpierw konwertuje się γ na równoważny kąt nadejścia fali, θ . Następnie określa się długość drogi propagacji dla kąta nadejścia fali θ , którą wykorzystuje się do obliczania straty rozprzestrzeniania dla drogi oraz uzyskanej e.i.r.p.

Etap 1: Obliczanie kąta nadejścia fali w stopniach, θ , na podstawie γ i H :

$$\theta = \arccos((R_e + H) \cos(\gamma)/R_e)$$

gdzie:

θ : kąt nadejścia fali

R_e : promień Ziemi (6 378 km)

H : wysokość bezwzględna pozycji statku powietrznego (w km)

γ : kąt poniżej płaszczyzny poziomej

UWAGA 1 – Jeżeli argument funkcji arcus cosinus jest większy niż 1, droga propagacji w kierunku kąta γ nie przecina Ziemi. W tym przypadku, który zachodzi dla wartości γ około $3,5^\circ$ lub mniejszych, nie istnieje wartość dla θ i w związku z tym nie ma żadnej wartości zdefiniowanej dla maski gęstości strumienia mocy.

Etap 2: Obliczanie wartości e.i.r.p. na podstawie zdefiniowanej gęstości strumienia mocy(θ):

$$d = (R_e^2 + (R_e + H)^2 - 2 R_e (R_e + H) \cos(\gamma - \theta))^{1/2}$$

$$\text{e.i.r.p.}(\gamma, H) = \text{pfd}(\theta) + 10 \log_{10}(4 \pi d^2) + 60$$

gdzie:

d : odległość pomiędzy stacją AES a uwzględnianym punktem na powierzchni Ziemi (w km)

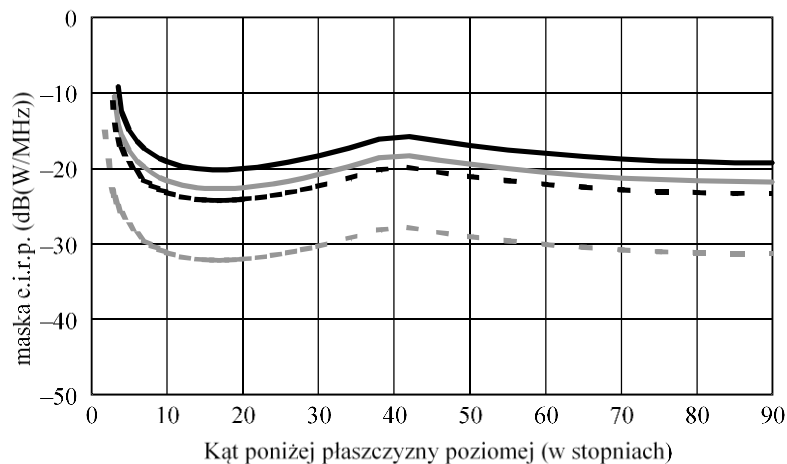
gęstość strumienia mocy $\text{pfd}(\theta)$: (dB(W/(m² · MHz)))

e.i.r.p.: (dB(W/MHz)).

Wykres na rys. 1 przedstawia tę funkcję dla różnych wysokości bezwzględnych pozycji statków powietrznych na podstawie maski gęstości strumienia mocy, określonej w części B dodatku 1 do niniejszego zalecenia.

RYSUNEK 1

Maska e.i.r.p. na podstawie maski gęstości strumienia mocy



Wysokość bezwzględna (w km)

- 12,2
- 9,1
- - - 7,6
- - - 3,0

ZALECENIE ITU-R M.1652-1

Dynamiczny wybór częstotliwości* w bezprzewodowym systemie dostępowym obejmującym lokalne sieci radiowe w celu ochrony służby radiolokacyjnej w pasmie częstotliwości 5 GHz

(Zagadnienie ITU-R 212/5)

(2003–2011)

Zakres

Niniejsze zalecenie określa wymagania w zakresie dynamicznego wyboru częstotliwości (DFS), zalecane do stosowania jako techniki osłabiania w ramach bezprzewodowych systemów dostępowych (WAS), uwzględniając lokalne sieci radiowe (RLAN), w celu usprawnienia wymiany informacji między służbą radiolokacyjną w pasmie częstotliwości 5 GHz. Dodatek 1 określa wymogi w zakresie wykrywania, wymagania operacyjne oraz wymagania w zakresie reagowania. Pozostałe dodatki odnoszą się do poszczególnych metod i zawierają informacje, które mogą zostać wykorzystane przez administracje przy prowadzeniu badań dotyczących współużytkowania pasm przez radary i WAS, uwzględniając RLAN.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU,

uwzględniając

- a) że zharmonizowanie częstotliwości w zakresach 5 150–5 350 MHz i 5 470–5 725 MHz na potrzeby służby ruchomej ułatwiłoby wprowadzenie bezprzewodowych systemów dostępowych (WAS), uwzględniając lokalne sieci radiowe (RLAN);
- b) że istnieje potrzeba objęcia ochroną radarów w służbie radiolokacyjnej działających w zakresach częstotliwości 5 250–5 350 i 5 470–5 725 MHz;
- c) że w przypadku wielu administracji naziemne radary meteorologiczne znajdują się w powszechnym użyciu i są wykorzystywane do wspierania działań kluczowych służb meteorologicznych;
- d) że procedury i metody analizowania kompatybilności między radarami a systemami w innych służbach ustanowiono w Zaleceniu ITU-R M.1461;
- e) że reprezentatywne parametry techniczne i operacyjne radarów radiolokacyjnych, radionawigacyjnych i meteorologicznych zostały przedstawione w Zaleceniu ITU-R M.1638, uwzględniając parametry morskich radarów radionawigacyjnych działających m.in. w zakresie częstotliwości 5 470–5 650 MHz;
- f) że WAS, uwzględniając RLAN, o których mowa w Zaleceniu ITU-R M.1450, mogą działać zarówno w pomieszczeniach, jak i na zewnątrz;
- g) sprawozdanie ITU-R M.2034, dotyczące wpływu niektórych wymagań w zakresie wykrywania DFS na wydajność WAS,

* Dynamiczny wybór częstotliwości to ogólny termin stosowany w niniejszym zaleceniu do opisanego techniki osłabiania umożliwiających m.in. wykrywanie i unikanie zakłócenia współkanałowego w odniesieniu do systemów radarowych.

uznając

- a) że zakres częstotliwości 5 250–5 350 MHz jest przeznaczony dla służby radiolokacyjnej na prawach pierwszej ważności; że zakres częstotliwości 5 250–5 350 MHz jest również przeznaczony na prawach pierwszej ważności dla służby satelitarnych badań Ziemi (aktywnych);
- b) że zakres częstotliwości 5 470–5 650 MHz jest przeznaczony dla służby radionawigacyjnej morskiej na prawach pierwszej ważności;
- c) że zakres częstotliwości 5 350–5 650 MHz jest przeznaczony dla służby radiolokacyjnej na prawach drugiej ważności;
- d) że radary naziemne wykorzystywane do celów meteorologicznych mają takie samo prawo do działania w zakresie częstotliwości 5 600–5 650 MHz jak stacje w służbie radionawigacyjnej morskiej;
- e) że zakres częstotliwości 5 650–5 725 MHz jest przeznaczony dla służby radiolokacyjnej na prawach pierwszej ważności;
- f) że administracje mogą brać pod uwagę szczegółowe informacje na temat faktycznego rozmieszczenia radarów przy opracowywaniu wytycznych w zakresie stosowania DFS w WAS w porozumieniu z administracjami, na które stosowanie DFS może potencjalnie wywrzeć wpływ,

zauważając

- a) że wysoki poziom mocy częstotliwości radiowej i czułość odbiorników radarów w służbie radiolokacyjnej w połączeniu z oczekiwanym wysokim zagęszczeniem WAS, uwzględniając RLAN, zasadniczo uniemożliwiają kompatybilne działanie WAS, uwzględniając RLAN, z radarami na prawach współkanałowych w przypadku braku technik osłabiania;
- b) że WAS, w tym RLAN, mogą być rozmieszczane w tych pasmach częstotliwości jako urządzenia nieobjęte obowiązkiem uzyskania pozwolenia radiowego, utrudniając sprawowanie nadzoru nad gęstością ich rozmieszczenia;
- c) że normy określające specyfikacje RLAN są zróżnicowane;
- d) że administracje mogą rozważyć możliwość wdrożenia procedur służących zatwierdzeniu zdolności mechanizmów unikania zakłóceń do prawidłowego działania w obecności systemów radarowych rozmieszczonych w tym paśmie,

zaleca

1 aby w celu usprawnienia współużytkowania z radarami pasm częstotliwości 5 GHz wykorzystywanych przez radary w ramach WAS, uwzględniając RLAN, wdrażano techniki osłabiania, o których mowa w dodatku 1;

2 aby techniki osłabiania spełniały wymagania w zakresie wykrywania, wymagania operacyjne oraz wymagania w zakresie reagowania określone w dodatku 1 § 2 ;

3 aby metody przedstawione w dodatkach 4, 5, 6 i 7 mogły zostać wykorzystane przez administracje przy prowadzeniu badań dotyczących współużytkowania pasm przez radary i WAS, w tym RLAN.

UWAGA 1 – Dalsze informacje na temat wyników badań dotyczących wymagań ustanowionych w *zaleceniu 2* są przedstawione w Sprawozdaniu ITU-R M.2115, w którym zawarto informacje na temat procedur stosowanych przez poszczególne administracje lub grupy regionalne w celu sprawdzenia zgodności z wymaganiami DFS.

Dodatek 1

Korzystanie z DFS w ramach WAS, uwzględniając RLAN, w celu ochrony służby radiolokacyjnej w paśmie częstotliwości 5 GHz

1 Wprowadzenie

1.1 DFS

Jeżeli chodzi o badania nad możliwością współużytkowania zakresów częstotliwości 5 250–5 350 i 5 470–5 725 MHz przez służbę ruchomą i służbę radiolokacyjną w ramach WAS¹, z obliczeń bilansu łącza wynika, że aby umożliwić współużytkowanie WAS z innymi służbami, takimi jak systemy radarowe, konieczne jest stosowanie technik osłabiania zakłócenia. Niniejszy dodatek określa technikę (techniki) osłabiania zakłócenia DFS² zgodnie z normami RLAN dotyczącymi pasma częstotliwości 5 GHz, przy czym obliczenia wydajności przeprowadza się w oparciu o standardowe zastosowania.

WAS i radary działające w paśmie 5 GHz będą zakłócały swoją pracę, jeżeli będą działały na tych samych częstotliwościach, a ich zasięg będzie się pokrywał.

Funkcja DFS została przewidziana do:

- zapewnienia równomiernego rozkładu obciążenia w całym dostępnym zakresie widma WAS w polu widzenia satelity w celu zmniejszenia zagregowanego poziomu generowanych przez WAS emisji odbieranych przez satelity w służbie stałej satelitarnej (łącza dosyłowe) i w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych);
- umożliwienia uniknięcia konieczności pracy współkanałowej z innymi systemami, w szczególności z systemami radarowymi.

Rozszerzenie zakresu stosowania DFS zgodnie z niniejszym zaleceniem pozwoli WAS uniknąć zakłócania służby radiolokacyjnej. Zgodnie z ogólną zasadą, WAS powinny być wykorzystywane do wykrywania zakłóceń i identyfikowania źródeł zakłóceń pracy radarów, przy czym nie mogą korzystać z tych samych częstotliwości, co radary.

1.2 Cel stosowania DFS w odniesieniu do radarów

Stosowanie DFS w ramach WAS ma na celu objęcie radarów działających w paśmie 5 GHz odpowiednią ochroną. Cel ten jest realizowany poprzez unikanie korzystania z kanału lub zwalnianie kanału zidentyfikowanego jako zajęty przez urządzenia radarowe dzięki detekcji sygnałów radarowych.

Na potrzeby niniejszego dodatku działające w paśmie 5 GHz systemy radiolokacji wykorzystywane przy ustalaniu parametrów DFS zostały omówione w dodatku 3.

Kwestie związane z wdrażaniem mechanizmów detekcji radarowej oraz z procedurami stosowanymi przez WAS wykraczają poza zakres niniejszego dodatku. Wynika to głównie z faktu, że:

- struktura WAS wywiera wpływ na kwestie związane z wdrażaniem;

¹ Przez termin „WAS” stosowany w niniejszym zaleceniu rozumie się „beprzewodowe systemy dostępowe, w tym RLAN”.

² Funkcja DFS została początkowo uwzględniona w normach RLAN dotyczących pasma 5 GHz w celu osłabienia zakłóceń w nieskoordynowanych skupiskach RLAN oraz zapewnienia zoptymalizowanej skuteczności widmowej, aby umożliwić przesyłanie danych w ramach transmisji o wysokiej przepustowości i dużej prędkości.

- doświadczenie praktyczne może umożliwić przyjęcie innowacyjnych środków, które będą skuteczniejsze od obecnie dostępnych środków;
- różni producenci mogą podejmować różne decyzje w zakresie wdrażania, aby uzyskać pożądaną poziom wydajności możliwie najniższym kosztem; dlatego też w dokumentach normatywnych należy zawrzeć wyłącznie kryteria w zakresie wydajności, nie zaś specyfikacje konkretnych mechanizmów.

2 Wymagania w zakresie wydajności DFS

Wymaganie dotyczące efektywności DFS zostało wyrażone jako zdolność reagowania na wykrycie sygnału zakłócającego.

WAS działające w paśmie 5 GHz powinny spełniać następujące wymagania w zakresie wykrywania i reagowania.

Procedury weryfikacji zgodności powinny zostać uwzględnione w odpowiednich normach sektorowych dotyczących RLAN.

2.1 Wymagania w zakresie wykrywania

Mechanizm DFS powinien umożliwiać wykrywanie sygnałów zakłócających powyżej minimalnego progu wykrywania DFS wynoszącego -62 dB dla urządzeń, których maksymalna e.i.r.p. jest mniejsza niż 200 mW, oraz -64 dBm dla urządzeń, których maksymalna e.i.r.p. uśredniona w czasie 1 μ s mieści się w przedziale od 200 mW do 1 W³.

Wskaźnik ten definiuje się jako siłę odbieranego sygnału (RSS) (dBm), który ma zostać wykryty w paśmie kanału WAS, znormalizowaną do 0 dBi na wyjściu anteny odbiorczej.

2.2 Wymagania operacyjne

WAS muszą być zdolne do przeprowadzania kontroli dostępności kanału: w ramach takiej kontroli WAS nasłuchują na danym kanale radiowym przez 60 s aby stwierdzić, czy na tym kanale radiowym działa jakiś radar.

WAS muszą być zdolne do monitorowania aktywności w trakcie eksploatacji, tj. monitorowania kanału operacyjnego w celu upewnienia się, że radar współkanałowy nie zmienił położenia lub nie rozpoczął pracy w zasięgu WAS. W ramach monitorowania aktywności w trakcie eksploatacji funkcja detekcji radarowej jest wykorzystywana do ciągłego wyszukiwania sygnałów radarowych pomiędzy standardowymi transmisjami WAS. Wymaga to wykorzystania okresów ciszy pomiędzy kolejnymi transmisjami WAS (zob. dodatek 4).

Jeżeli WAS nie prowadziły wcześniej pracy, a ich aktywność nie była stale monitorowana w trakcie eksploatacji, nie powinny rozpoczynać transmisji na żadnym kanale przed zakończeniem kontroli dostępności kanału.

2.3 Wymagania w zakresie reagowania

W odniesieniu do kanału, który został oflagowany jako zawierający sygnał radarowy w ramach kontroli dostępności kanału albo w rezultacie monitorowania w trakcie eksploatacji, stosuje się 30-minutowy okres (okres niekorzystania), w którym kanał ten nie może być wykorzystywany przez urządzenie WAS, co służy ochronie radarów skanujących. Bieg okresu niekorzystania powinien rozpocząć się w momencie wykrycia sygnału radarowego.

³ W praktyce pełne wdrożenie funkcji DFS w każdym urządzeniu może nie być konieczne, o ile takie urządzenia będą zdolne do transmisji wyłącznie pod kontrolą urządzenia gwarantującego spełnienie wszystkich wymogów DFS.

Ponadto w zakresie 5 600–5 650 MHz, jeżeli kanał został oflagowany jako zawierający sygnał radarowy, należy stale monitorować oznaczony kanał przez 10 minut przed przystąpieniem do jego wykorzystywania. W przeciwnym wypadku należałoby zastosować inne odpowiednie metody, np. wyłączenie kanału.

Okres 10 s, którego WAS potrzebują, aby zaniechać wszystkich transmisji na kanale operacyjnym po wykryciu sygnału zakłócającego powyżej progu wykrywania DFS, określa się jako czas zmiany kanału. Transmisje w tym okresie będą obejmowały transmisje standardowej korespondencji, zazwyczaj w czasie krótszym niż 100 ms i nieprzekraczającym 200 ms od momentu wykrycia sygnału radarowego. Ponadto, w pozostałym czasie można nadawać przerywane sygnały zarządzania i sterowania, aby usprawnić proces zwalniania kanału operacyjnego. Łączny czas trwania przerywanych sygnałów zarządzania i sterowania zazwyczaj nie przekracza 20 ms.

2.4 Podsumowanie informacji na temat wymagań

W tabeli 1 przedstawiono podsumowanie informacji na temat wymagań, które omówiono powyżej. Przykładowe procedury operacyjne zostały przedstawione w dodatku 2.

TABELA 1

Parametr	Wartość
Próg wykrywania DFS	–62 dBm dla urządzeń, których maksymalna e.i.r.p. jest mniejsza niż 200 mW oraz –64 dBm dla urządzeń, których maksymalna e.i.r.p. uśredniona w czasie 1 μ s mieści się w przedziale od 200 mW do 1 W
Czas kontroli dostępności kanału	60 s
Okres niekorzystania	30 min
Czas zmiany kanału	≤ 10 s

Dodatek 2

Detekcja radarowa i przykładowe powiązane procedury DFS

W niniejszym dodatku przedstawiono przykładowy opis mechanizmu DFS.

1 Definicje

Poniższe definicje obowiązują na potrzeby niniejszego dodatku:

Kanał dostępny: kanał radiowy, na którym w ramach kontroli dostępności nie wykryto obecności radaru;

odebrany sygnał radarowy: sygnał posiadający następujące właściwości:

- RSS równą progowi wykrywania DFS na poziomie T_{DFS} (dBm) w ramach pasma kanału WAS lub większą od tego progu;
- prędkość powtarzania impulsu w przedziale od 200 do 4000 impulsów/s;
- nominalne szerokości impulsów w zakresie od 1 do 20 μ s.

kanal operacyjny: kanał staje się kanałem operacyjnym w momencie rozpoczęcia przez WAS transmisji danych za jego pośrednictwem.

2. Procedury

2.1 Wyszukiwanie początkowego kanału dostępnego

Jeżeli nie zidentyfikowano jeszcze żadnego kanału dostępnego, przed przystąpieniem do transmisji WAS przeprowadzają kontrolę dostępności kanału na kanale radiowym wykorzystywanym wcześniej do transmisji. W rezultacie, w momencie zainstalowania i pierwszego uruchomienia sieci, należy przeprowadzić kontrolę (kontrole) dostępności kanału, aby zidentyfikować co najmniej jeden dostępny kanał. Po zidentyfikowaniu dostępnego kanału WAS mogą przystąpić do pracy na tym kanale; sprawdzenie innych kanałów radiowych w celu wykrycia innych dostępnych kanałów jest nieobowiązkowe.

2.2 Rozpoczęcie pracy

W momencie rozpoczęcia przez WAS transmisji danych za pośrednictwem dostępnego kanału kanał ten staje się kanałem operacyjnym.

2.3 Monitorowanie kanału operacyjnego

WAS prowadzą działania w zakresie monitorowania w trakcie eksploatacji w celu przeprowadzenia ponownej kontroli kanału operacyjnego pod kątem obecności sygnałów radarów współkanałowych, które mogły wejść w zasięg WAS lub rozpocząć pracę na kanale operacyjnym.

3 Aspekty związane z wdrażaniem

3.1 Wykrywanie sygnału radarowego

Sygnały radarowe mogą zostać wyemitowane w dowolnym momencie i mogą im towarzyszyć współkanałowe sygnały WAS.

Poszukując początkowego dostępnego kanału, WAS nie będą prowadziły transmisji, co zapewni możliwość wykrywania wszelkich sygnałów radarowych w szybki i wiarygodny sposób, potencjalnie z wyjątkiem sygnałów emitowanych przez bardzo wolno obracające się radary. Takie sygnały zostaną jednak wykryte w ramach monitorowania w trakcie eksploatacji.

W ramach monitorowania aktywności w trakcie eksploatacji funkcja detekcji radarowej jest wykorzystywana do ciągłego wyszukiwania wzorów sygnałów radarowych – w trakcie lub pomiędzy standardowymi transmisjami WAS. W przypadku słabo odbieranych sygnałów radarowych może wiązać się to z koniecznością wydłużenia czasu potrzebnego na wykrycie sygnału radiowego. Znalazło to odzwierciedlenie w wymaganiach przedstawionych w dodatku 1.

3.1.1 Wykrywanie radarów ze zmianą skokową częstotliwości

Radary ze zmianą skokową częstotliwości działają na szerokim zakresie częstotliwości i są zdolne do szybkiej zmiany swojej częstotliwości operacyjnej.

Czas, jakiego WAS potrzebują, by w wiarygodny sposób wykryć sygnały takich radarów, zależy od parametrów impulsów emitowanych przez te radary. W przypadku radarów ze zmianą skokową częstotliwości prawdopodobieństwo wykrycia sygnałów zależy również od czasu, przez jaki radar zajmuje kanał WAS (czas oddziaływania).

Doprowadzi to do jednego z dwóch następujących rezultatów:

- jeżeli czas oddziaływania będzie dostatecznie długi, DFS wykryje sygnał radarowy (zob. dodatek 4) i w konsekwencji transmisje WAS na danym kanale zakończą się;

- jeżeli czas oddziaływania jest bardzo krótki, może to wywrzeć wpływ na prawdopodobieństwo wykrycia radaru przez WAS na kanale operacyjnym, w zależności od liczby impulsów odebranych w czasie oddziaływania.

3.1.2 Próg i zysk anteny

Próg wykrywania definiuje się pod względem dBm znormalizowanego do 0 dBi na wyjściu anteny odbiorczej. Jeżeli WAS korzysta z anten o większym zysku, poziom T_{DFS} powinien zostać zwiększony poprzez dodanie zysku anteny.

3.1.3 Emisje uboczne

Określenie wpływu, jaki emisje uboczne wywierają na interakcje między WAS a radarami, wymaga przeprowadzenia dalszych badań.

3.2 Czas zmiany kanału

Zgodnie z procedurami DFS po wykryciu sygnału powyżej progu wykrywania należy przesłać polecenie wstrzymania wszystkich transmisji operacyjnych oraz podjęcia działań służących przejściu na (jeden z) dostępnych kanałów wykrytych w ramach kontroli dostępności kanału. Transmisję powtarza się kilkakrotnie, aby upewnić się, że została odebrana przez wszystkie urządzenia wchodzące w skład sieci. Część populacji WAS może znajdować się w tzw. „stanie wstrzymania”, w którym urządzenia wznawiają pracę w odstępach czasu wynoszących z reguły setki milisekund, choć długość takiego okresu może wynosić nawet 60 s. Pomijając ten ostatni przypadek, transmisję należy powtórzyć kilkakrotnie w czasie zmiany kanału, aby zapewnić – z praktycznego punktu widzenia – opuszczenie kanału przez wszystkie urządzenia WAS.

Dodatek 3

Wykorzystywanie parametrów radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacji morskiej oraz radarów meteorologicznych

Parametry techniczne niektórych radarów meteorologicznych, radiolokalizacyjnych i radarów radionawigacji morskiej działających w zakresach częstotliwości od 5 250–5 350 MHz do 5 470–5 725 MHz zostały przedstawione w Zaleceniu ITU-R M.1638. Te informacje są wykorzystywane przy ustalaniu wymogów technicznych związanych z mechanizmem DFS, który ma zostać wdrożony w WAS i który został uznany za niezbędny do tego, by można było wprowadzić WAS w służbie ruchomej w pasmach częstotliwości wykorzystywanych przez radary. Przy opracowywaniu parametrów DFS bierze się pod uwagę w szczególności radary należące do kategorii od A do S, o których mowa w Zaleceniu ITU-R M.1638.

W tabeli 1 w Zaleceniu ITU-R M.1638 przedstawiono przeznaczenia dla służby radiolokacyjnej w ramach pasma 5 GHz.

Dodatek 4

Parametry i metody obliczania prawdopodobieństwa wykrycia systemów radiolokacji przez urządzenia WAS, uwzględniając RLAN, wykorzystujące DFS w paśmie częstotliwości 5 GHz podczas monitorowania w trakcie eksploatacji

W przedstawionej poniżej metodzie bierze się pod uwagę prawdopodobieństwo, że urządzenie WAS pracujące w paśmie 5 GHz i wykorzystujące DFS skutecznie wykryje podczas monitorowania w trakcie eksploatacji radar w służbie radiolokacyjnej działający w paśmie 5 GHz.

Krok 1: Określenie ilości czasu, w którym dane urządzenie będzie znajdowało się w wiązce głównej anteny radaru (tj. szerokość wiązki 3 dB/prędkość skanowania anteny). Tabela 2 określa parametry radarów, które należy wykorzystywać w badaniu jako wartości odniesienia. Czas analizy to okres, przez jaki WAS jest narażony na oddziaływanie wiązki głównej radaru w trakcie jednego przemieszczenia, ustalony w oparciu o charakterystykę promieniowania anteny radarowej i prędkość skanowania.

TABELA 2

Radar	C	K	P	S
szerokość wiązki 3 dB (stopnie)	0,95	2,5	2,6	2
Prędkość skanowania (stopnie/s)	36	Nie dotyczy	72	20
Czas analizy (ms)	26	100	36	100

Krok 2: Parametry radarów C, K, P i S są reprezentatywne dla bardziej rygorystycznych przypadków i mogą zostać wykorzystane w celu zdefiniowania współdzielenia ze wszystkimi radarami opisanymi w dokumencie poświęconym parametrom radarów. Radar K nie jest wyposażony w funkcję skanowania w promieniu 360°.

Krok 3: W oparciu o rozmieszczenie urządzeń WAS przeprowadzone na podstawie rozkładu prędkości przesyłania danych i długości pakietów przedstawionych w tabeli 3 opracowuje się kształt fali przedstawiający czas transmisji WAS i okresy nasłuchu o długości $(x) \cdot 9 + 50$ ms, gdzie x stanowi losową liczbę całkowitą między 2 a 32 (tj. 31 różnych, równomiernie rozłożonych potencjalnych okresów).

TABELA 3

Ważenie czasu transmisji RLAN

Rozmiar pakietu (bajty)	Waga	Prędkość przesyłania danych (Mbit/s)	Waga
64	0,6	6	0,1
538	0,2	12	0,1
1 500	0,2	18	0,1
		24	0,3
		36	0,3
		54	0,1

WAS transmituje falę za każdym razem, gdy dochodzi do utworzenia transmisji pakietu WAS poprzez losowy dobór pakietów transmisji, korzystając z przedstawionych w tabeli 3 wag przypisanych poszczególnym rozmiarom pakietów i prędkościom przesyłania danych, a następnie oblicza czas transmisji, dzieląc „rozmiar pakietu” przez prędkość przesyłania danych $\cdot 8$). Po każdym pakiecie następuje okres ciszy, który jest niezbędny do tego, by sieć WAS mogła usprawnić współużytkowanie środka dostępu (tj. kanału WAS) przez wiele urządzeń korzystających z sieci. Taki okres ciszy może zostać wprowadzony podczas monitorowania w trakcie eksploatacji. Decyzję w sprawie okresu ciszy podejmuje się zgodnie z procedurą wskazaną powyżej. Następnie tworzy się kolejny losowo wybrany pakiet w taki sam sposób, jak pierwszy pakiet, po którym następuje kolejny okres ciszy. Procedurę tę powtarza się do momentu, w którym długość kształtu fali będzie

odpowiadała długości kształtu fali generowanej przez urządzenie WAS w wiązce głównej anteny, zgodnie z obliczeniami przedstawionymi w kroku 1.

Krok 4: Ustalanie kształtu fali w oparciu o prędkość powtarzania impulsu (PRR) i szerokość impulsu analizowanego radaru. Wartości, które należy wykorzystywać jako wartości odniesienia, zostały przedstawione w tabeli 4. Długość kształtu fali powinna odpowiadać długości obliczonej w kroku 1.

TABELA 4

Wartości odniesienia dla radarów wykorzystywane do ustalania prawdopodobieństwa wykrycia sygnału

Radar	C	K	P	S
Szerokość impulsu (μs)	0,95	1	20	1
PRR (pps)	200	3 000	500	200

Krok 5: Stwierdzenie, czy zdarzenie, które doprowadziło do wykrycia sygnału, zaszło przy ustalaniu, czy impulsy radarowe przesyłane w ramach symulowanego kształtu fali radarowej pokrywają się z okresami nasłuchiwania w ramach kształtu fali sieci WAS.

Krok 6: Kilkukrotne powtórzenie symulacji i zarejestrowanie faktu wystąpienia lub niewystąpienia zdarzeń prowadzących do wykrycia sygnału oraz wykorzystanie zgromadzonych danych do obliczenia prawdopodobieństwa wykrycia sygnału (tj. wskazanie odsetka symulacji, w których impuls radarowy został uznany za wykryty).

Krok 7: Prawdopodobieństwo wykrycia sygnału w czasie n obrotów:

p : prawdopodobieństwo wykrycia w czasie jednego obrotu

p_n : prawdopodobieństwo wykrycia w czasie n obrotów

$$p_n = 1 - (1 - p)^n.$$

Dodatek 5

Przeprowadzanie oceny zakłóceń w oparciu o obliczenia dotyczące budżetu połączenia z wykorzystaniem jednego urządzenia WAS i systemów radiolokacji działających w paśmie 5 GHz

1 Kontekst

Niniejszy dodatek dotyczy zakłóceń generowanych przez pojedynczy WAS. Wartości uzyskane dzięki przeprowadzeniu obliczeń, o których mowa w niniejszym dodatku, zostały wykorzystane jako wartości początkowe w procesie modelowania zbiorowego (aggregate modelling) (zob. dodatek 6) w celu ustalenia progu wykrywania.

2 Metoda

Obliczenia przedstawione w niniejszym dodatku zostały przeprowadzone w oparciu o wyniki analizy bilansu łącza. Próg ustala się na podstawie wyników analizy bilansu łącza, wychodząc z założenia, że próg ten musi zostać osiągnięty w przypadku, gdy praca radaru może zostać zakłócona przez emisje generowane przez jedno urządzenie WAS (tj. gdy poziom zakłóceń generowanych przez sygnał WAS i odbieranych przez odbiornik radaru przekracza możliwy do zaakceptowania poziom zakłóceń). Opiera się to na założeniu, że droga propagacji między ścieżką a radarem jest symetryczna.

Przedmiotowa metoda bazująca na bilansie łącza jest uznawana za odpowiednią do badania przypadków występowania zakłóceń w transmisjach z udziałem jednego WAS i jednego radaru.

Metoda ta opiera się na Zaleceniach ITU-R SM.337 oraz ITU-R M.1461 i jest stosowana w szczególności w odniesieniu do DFS.

3 Obliczenia w oparciu o bilans łącza obejmujący radary, o których mowa w zaleceniu ITU-R M.1638

Procedurę ustalenia maksymalnego dopuszczalnego poziomu zakłóceń wywoływanego emisjami generowanymi przez jedno urządzenie WAS i obieranymi przez odbiornik radaru przeprowadza się zgodnie z Zaleceniem ITU-R M.1461, w którym stwierdzono, że taki poziom powinien być niższy niż $N + (I/N)$, gdzie N oznacza poziom szumów własnych odbiornika radaru a I/N – stosunek zakłóceń do szumów (przyjmowany jako -6 dB zgodnie z Zaleceniami ITU-R M.1461 i ITU-R M.1638).

Tabela obliczeniowa została przedstawiona w załączniku 1 do niniejszego dodatku. Z tabeli tej wynika, że w przypadku zignorowania radaru J, w danych warunkach, konieczny próg wykrywania umożliwiający objęcie radarów ochroną przed emisjami generowanymi przez pojedynczy WAS wyniósłby -52 dBm.

4 Obliczenia w oparciu o bilans łącza obejmujący niektóre nowe radary

Poza radarami, o których mowa w Zaleceniu ITU-R M.1638, niektóre administracje w regionie 1 rozmieściły niedawno dwa nowe radary naziemne. Niektóre parametry zostały udostępnione na potrzeby przeprowadzenia obliczeń bilansu łącza. Parametry te zostały przedstawione w załączniku 2 do niniejszego dodatku.

Z obliczeń wynika, że konieczny próg wykrywania gwarantujący, że emisje generowane przez pojedyncze 1-watowe urządzenie WAS nie zakłóca działania radarów, wynosi -62 dBm.

5 Możliwość zastosowania zmiennego progu wykrywania

W obliczeniach przedstawionych w niniejszym dodatku przyjęto założenie, że emisje są generowane przez jeden zewnętrzny WAS o e.i.r.p. wynoszącej 1 W, co stanowi najbardziej pesymistyczny scenariusz w ramach analizy dotyczącej pojedynczego źródła zakłóceń. Stwierdzono, że WAS o e.i.r.p. wynoszącej 1 W nie będzie reprezentatywny dla większości rozmieszczonych WAS.

W związku z powyższym, można rozważyć możliwość wprowadzenia zmiennej wartości progu wykrywania, która będzie uzależniona od poziomu e.i.r.p. danego WAS. Zgodnie z metodą zastosowaną w niniejszym dodatku, próg wykrywania wyznacza się proporcjonalnie do e.i.r.p. WAS.

Zgodnie z metodą, o której mowa w niniejszym dodatku, stosowaną w przypadku scenariuszy zakładających występowanie jednego urządzenia WAS, próg wykrywania jest proporcjonalny do e.i.r.p. WAS.

Przykładowo, jeżeli 1-watowy WAS musi wykryć radar powyżej $-N$ dBm, w takich warunkach wysokość odpowiedniego progu dla WAS o mocy 200 mW można określić na poziomie $(N - 7)$ dBm.

6 Wpływ architektury WAS na próg wykrywania

W przypadku scentralizowanej architektury WAS można oczekiwać, że DFS będzie kontrolowany przez jedno konkretne urządzenie w ramach sieci lub komórki. W pewnych okolicznościach może dojść do wystąpienia znacznego tłumienia drogi propagacji między radarem a urządzeniami w ramach sieci lub komórki – w takiej sytuacji przyjęcie założenia, że droga propagacji między radarem a urządzeniem wykrywającym jest symetryczna, byłoby błędne.

Administracje powinny rozważyć możliwość podjęcia środków służących zagwarantowaniu, by żadne urządzenie WAS w ramach pojedynczej sieci nie zakłócało pracy radarów.

Załącznik 1 do dodatku 5

Obliczanie progu wykrywania w oparciu o bilans łącza dla radarów wymienionych w zaleceniu ITU-R M.1638

	Parametry	A	C	E	F	G	H 1	H 2	II	II	J	K	L	M	N	O	P	Q
RADAR	Funkcja	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Meteorologiczna	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Oprzyrządowanie	Przeszukiwanie powierzchni i przestrzeni powietrznej	Przeszukiwanie powierzchni i przestrzeni powietrznej
	Rodzaj platformy	Naziemna/na pokładzie statku oceanicznego	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Naziemna	Na pokładzie statku oceanicznego	Na pokładzie statku oceanicznego
	Moc szczytowa Tx na wejściu anteny (kW)	250	250	250	250	250	250	250	250	250	2,25	250	2 800	1 200	1 000	165	360	285
	Szerokość pasma odbiornika f_{3dB} (MHz)	0,5	20	0,91	0,6	0,5	0,7	4	0,1	3	10	1	4,8	4	8	8	1,5	10
	Polaryzacja anteny	V	H	H	H	H	H	H	H	H	H	V/polaryzacja lewoskrętna kolistą	V/polaryzacja lewoskrętna kolistą	V/polaryzacja lewoskrętna kolistą	V/polaryzacja lewoskrętna kolistą	V/polaryzacja lewoskrętna kolistą	H	H
	Zysk wiązki głównej anteny (dBi)	39	44	50	40	40	50	50	50	50	35	38,3	54	47	45,9	42	28	30
	Wysokość anteny (m)	30	10	30	30	30	30	30	30	30	10							
	e.i.r.p. radaru (dBm)	123,0	128,0	134,0	124,0	124,0	134,0	134,0	134,0	134,0	98,5	122,3	148,5	137,8	135,9	124,2	113,6	114,5
	Współczynnik szumów odbiornika (dB)	7	4	2,3	3	3	3,5	3,5	1,5	1,5	3	6	5	5	11	5	5	10
	$N = k T B F$ (dBm)	-110,0	-97,0	-112,1	-113,2	-114,0	-112,0	-104,5	-122,5	-107,7	-101,0	-108,0	-102,2	-103,0	-93,9	-99,9	-107,2	-94,0
$N - 6$ dB	-116,0	-103,0	-118,1	-119,2	-120,0	-118,0	-110,5	-128,5	-113,7	-107,0	-114,0	-108,2	-109,0	-99,9	-105,9	-113,2	-100,0	
WAS	e.i.r.p. (dBm) na zewnątrz	30																
	TPC (dB)	0																
	Szerokość pasma (MHz)	18																
	Zysk anteny (dookólnej) (dBi)	0																

10 log (Brad/BWAS)	-15,6	0,5	-13,0	-14,8	-15,6	-14,1	-6,5	-22,6	-7,8	-2,6	-12,6	-5,7	-6,5	-3,5	-3,5	-10,8	-2,6
	185,0	177,0	198,1	189,2	190,0	198,0	190,5	208,5	193,7	172,0	182,3	192,2	186,0	175,8	177,9	171,2	160,0
Bilans łącza dla sygnału WAS odebranego przez odbiornik radaru $N - 6$ dB	169,4	177,0	185,1	174,4	174,4	183,9	183,9	185,9	185,9	169,4	169,7	186,4	179,4	172,3	174,4	160,4	157,4
Niezbędny próg wykrywania	-46,4	-49,0	-51,1	-50,4	-50,4	-49,9	-49,9	-51,9	-51,9	-70,9	-47,4	-38,0	-41,6	-36,4	-50,2	-46,9	-42,9

Załącznik 2 do dodatku 5

Obliczanie progu wykrywania w oparciu o bilans łącza dla nowych radarów rozmieszczonych przez niektóre administracje w Regionie 1

RADAR	Funkcja	Przeszukiwanie przestrzeni powietrznej
	Rodzaj platformy	Naziemna/na pojeździe
	Moc szczytowa Tx na wejściu anteny (kW)	15
	Szerokość pasma odbiornika $IF_{3\text{ dB}}$ (MHz)	4
	Polaryzacja anteny	V
	Zysk wiązki głównej anteny (dBi)	35
	Wysokość anteny (m)	10
	e.i.r.p. (dBm)	106,8
	Współczynnik szumów odbiornika (dB)	5
	$N = k T B F$ (dBm)	-103
	$N - 6$ dB	-109
WAS	e.i.r.p. (dBm) na zewnątrz	30
	TPC (dB)	0
	Szerokość pasma (MHz)	18
	Zysk anteny (dookólnej) (dBi)	0

10 log (Brad/BWAS)	-6,5
Tłumienie ze względu na propagację w przypadku sygnału WAS odebranego przez odbiornik radaru $N - 6$ dB (dB)	175,0
	168,4
Konieczny próg wykrywania (dBm)	-61,7

Należy podkreślić, że w powyższej tabeli przyjęto założenie prowadzenia pracy przez pojedynczy WAS, którego e.i.r.p. wynosi 1 W, co może stanowić najwyższy poziom mocy w rozkładzie statystycznym e.i.r.p. rozmieszczonych WAS (np. zgodnie z informacjami przedstawionymi w tabeli 6 w dodatku 6). Przykładowo, przyjęcie niższej e.i.r.p. (< 100 mW) doprowadziłoby np. do zwiększenia T_{DFS} o 10 dB.

Dodatek 6

Parametry i metody wykorzystywane do przeprowadzania badań w zakresie zagregowanych zakłóceń w ramach WAS, uwzględniając RLAN i systemy radiolokacji w paśmie częstotliwości 5 GHz

Przy ustalaniu scenariusza odniesienia dla badań, które mają zostać przeprowadzone w celu określenia parametrów DFS, powinno się wziąć pod uwagę następujące kwestie:

- fakt, że przy obliczaniu poziomu zakłóceń korzystano z Zalecenia ITU-R M.1461;
- fakt, że wykorzystano charakterystykę promieniowania anteny radaru przedstawioną w załączniku 1 do niniejszego dodatku;
- fakt, że wykorzystano charakterystykę promieniowania anteny WAS przedstawioną w załączniku 2 do niniejszego dodatku;
- fakt, że badania w zakresie współużytkowania służące ustaleniu poziomu zagregowanych zakłóceń odbieranych przez radary przeprowadzono w oparciu o koncepcję prawdopodobieństwa wykrycia sygnału (zob. dodatek 4). Takie prawdopodobieństwo zostało ustalone dla interwałów poszczególnych kerków;
- zastosowano interwał kroku (step interval) wynoszący 1° ;
- przy ustalaniu rozmieszczenia WAS w sposób przedstawiony w tabeli 5 wykorzystano trzy koncentryczne pierścienie. Powinno się zapewnić równomierne rozmieszczenie urządzeń w każdej strefie wolumetrycznej, biorąc pod uwagę wysokość;

TABELA 5

Rozmieszczenie użytkowników WAS

	Strefa miejska	Strefa podmiejska	Strefa wiejska
Promień od centrum (km)	0–4	4–12	12–25
Użytkownicy WAS (%)	60	30	10
Wysokość budynku (m)	30	6	6

- w danym momencie w użyciu było łącznie 2753 urządzeń WAS działających z systemem radiolokacji na prawach współkanałowej;
- zastosowano rozkład mocy WAS przedstawiony w tabeli 6;

TABELA 6

Rozkład mocy WAS

Poziom mocy	1 W	200 mW	100 mW	50 mW
Użytkownicy WAS (%)	5	25	40	30

- Radary śledzące były modelowane począwszy od losowego rozmieszczenia i losowego kąta początkowego, który został następnie przesunięty bezpośrednio w górę w kierunku przeciwnego horyzontu;
- modelowanie radarów morskich rozpoczęto od horyzontu obszaru wiejskiego, śledząc przepływ sygnału do centrum strefy miejskiej;

- modelowanie radarów zainstalowanych na pokładzie statku powietrznego rozpoczęto od horyzontu obszaru wiejskiego, śledząc przepływ sygnału do centrum strefy miejskiej;
- w badaniach skoncentrowano się na następujących radarach:
 - radarach należących do kategorii C, I, K, P i S wskazanych w zaleceniu ITU-R M.1638;
- w przypadku radarów naziemnych zastosowano współczynnik losowej propagacji w celu ustalenia tłumienia drogi propagacji dla każdego urządzenia WAS. Zastosowano wartość mieszczącą się w przedziale od 20 do 35 log D . Ponadto, zastosowano losowy współczynnik tłumienia propagacji przez budynki/ukształtowanie terenu. Zastosowano wartość mieszczącą się w przedziale od 0 do 20 dB. Przy ustalaniu tych wartości przyjęto założenie równomiernego rozmieszczenia;
- w przypadku radarów zainstalowanych na pokładzie statku powietrznego przyjęto wskaźnik straty w wolnej przestrzeni wynoszący +17 dB;
- w przypadku radarów morskich przyjęto wskaźnik straty w wolnej przestrzeni mieszczący się w przedziale od 0 do +20 dB;
- w obliczeniach przyjęto gładki horyzont Ziemi. Nie brano pod uwagę żadnych urządzeń WAS, które były poza horyzontem.

Załącznik 1 do dodatku 6

Na chwilę obecną ITU nie opracował żadnych charakterystyk odniesienia anteny radaru, dlatego też poniższe ustalenia pełnią funkcję wartości odniesienia. Statystyczny model zysku anteny został zastosowany w celu ustalenia zysku anteny radaru w płaszczyźnie poziomej i pionowej. W modelu przedstawiono zysk anteny jako funkcję kąta pozaosiowego (θ) dla określonego poziomu zysku wiązki głównej anteny (G). W modelu przewidziano odrębne algorytmy dla anten o bardzo wysokim, wysokim i średnim zysku, tj. odpowiednio dla anten o zysku większym niż 48 dBi, anten, których zysk mieści się w przedziale od 22–48 dBi, oraz anten o zysku od 10 do 22 dBi. Na rys. 1 przedstawiono ogólny rozkład zysku anteny. Równania dla kątów θ_M (pierwsza półka listka bocznego), θ_R (bliski region listka bocznego) oraz θ_B (daleki region listka bocznego) zostały przedstawione w tabeli 7. Poziomy zysk anteny wyrażonego jako funkcja kąta pozaosiowego dla anten o bardzo wysokim zysku zostały przedstawione w tabeli 8, dla anten o wysokim zysku – w tabeli 9, a dla anten o średnim zysku – w tabeli 10. Kąt θ mierzy się w stopniach, natomiast wszystkie poziomy zysku zostały przedstawione w decybelach względem anteny izotropowej (dBi).

RYSUNEK 1

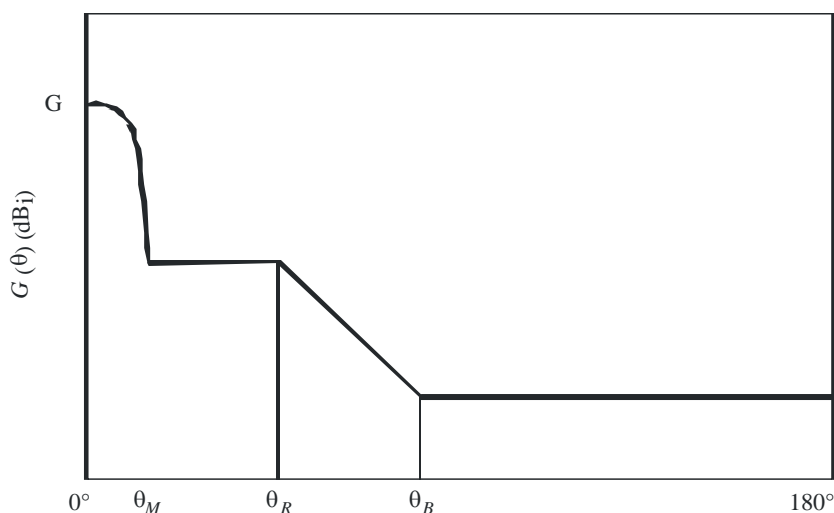


TABELA 7

Definicje kątów

Bardzo wysoki zysk ($G > 48$ dBi)	Wysoki zysk ($22 < G < 48$ dBi)	Średni zysk ($10 < G < 22$ dBi)
$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 27,466 10^{-0,3G/10}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 48$	$\theta_M = 50 (0,25 G + 7)^{0,5} / 10^{G/20}$ $\theta_R = 250 / 10^{G/20}$ $\theta_B = 131,8257 10^{-G/50}$

TABELA 8

Równania dla anten o bardzo wysokim zysku ($G > 48$ dBi)

Odstęp kątowy (w stopniach)	Zysk (dBi)
od 0 do θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
od θ_M do θ_R	$0,75 G - 7$
od θ_R do θ_B	$29 - 25 \lg(\theta)$
od θ_B do 180	-13

TABELA 9

Równania dla anten o wysokim zysku ($22 < G < 48$ dBi)

Odstęp kątowy (w stopniach)	Zysk (dBi)
od 0 do θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
od θ_M do θ_R	$0,75 G - 7$
od θ_R do θ_B	$53 - (G/2) - 25 \lg(\theta)$
od θ_B do 180	$11 - G/2$

TABELA 10

Równania dla anten o średnim zysku ($10 < G < 22$ dBi)

Odstęp kątowy (w stopniach)	Zysk (dBi)
od 0 do θ_M	$G - 4 \times 10^{-4} (10^{G/10}) \theta^2$
od θ_M do θ_R	$0,75 G - 7$
od θ_R do θ_B	$53 - (G/2) - 25 \lg(\theta)$
od θ_B do 180	0

Załącznik 2 do dodatku 6

Charakterystyki promieniowania anten WAS

Charakterystyka promieniowania anteny WAS w azymucie jest wielokierunkowa. Charakterystyka promieniowania anteny WAS w płaszczyźnie pionowej została ustalona wskutek przeprowadzenia analizy charakterystyk promieniowania anten WAS. Zastosowana charakterystyka została wskazana w tabeli 11. Należy podkreślić, że choć kierunkowe anteny WAS o takiej samej e.i.r.p. mogą generować mniejszą ilość zakłóceń na wejściu odbiornika radiolokacyjnego, takie anteny mogą jednocześnie generować znacznie wyższe poziomy zakłóceń na wejściu odbiornika WAS, jeżeli doszłoby do sprzężenia wiązek głównych.

TABELA 11

Charakterystyka promieniowania anteny WAS w płaszczyźnie pionowej

Kąt elewacji, φ (w stopniach)	Zysk (dBi)
$45 < \varphi \leq 90$	-4
$35 < \varphi \leq 45$	-3
$0 < \varphi \leq 35$	0
$-15 < \varphi \leq 0$	-1
$-30 < \varphi \leq -15$	-4
$-60 < \varphi \leq -30$	-6
$-90 < \varphi \leq -60$	-5

Większość urządzeń z reguły nie będzie zdolna do wyemitowania e.i.r.p. wynoszącej 1 W, jeżeli zysk anteny będzie niższy niż 6 dBi. Zgodnie z Zaleceniem ITU-R F.1336 ten parametr został opatrzony następującym opisem:

$$G(\theta) = \max[G_1(\theta), G_2(\theta)]$$

$$G_1(\theta) = G_0 - 12 \left(\frac{\theta}{\theta_3} \right)^2$$

$$G_2(\theta) = G_0 - 12 + 10 \lg \left[\left(\max \left\{ \frac{|\theta|}{\theta_3}, 1 \right\} \right)^{-1,5} + k \right]$$

$$\theta_3 = 107,6 \times 10^{-0,1G_0}$$

gdzie:

$G(\theta)$: zysk anteny (dBi)

θ : kąt elewacji (w stopniach)

$k = 0,5$

$G_0 = 6$ dBi.

Dodatek 7

Analiza wyników oceny poziomu zakłóceń i zalecenie dotyczące poziomów progu DFS

Dla odpowiednich radarów działających w paśmie 5 GHz opracowano podsumowanie wyników symulacji przeprowadzonych z wykorzystaniem wskazanych w dodatkach 5 i 6 metod symulowania, odpowiednio, zakłóceń statycznych generowanych przez jedno urządzenie WAS oraz zakłóceń zagregowanych generowanych wskutek rozmieszczenia WAS w zasięgu poszkodowanego odbiornika radaru.

W tabeli 12 przedstawiono wartości uzyskane po przeprowadzeniu obliczeń zgodnie z dodatkiem 5 w przypadku zakłóceń generowanych przez jedno urządzenie WAS.

TABELA 12

Wartości uzyskane po przeprowadzeniu obliczeń, o których mowa w dodatku 5

Radar wymieniony w dodatku 5	Analiza bilansu łącza przeprowadzona zgodnie z dodatkiem 5	-62 dBm w przypadku urządzenia o mocy 1 W
		-55 dBm w przypadku urządzenia o mocy 0,2 W
		-52 dBm w przypadku urządzenia o mocy 0,1 W

W tabeli 13 przedstawiono podsumowanie informacji dotyczących wymaganych poziomów progu ochrony uzyskanych po przeprowadzeniu obliczeń związanych z modelowaniem zagregowanych zakłóceń.

TABELA 13
Wymagane poziomy progu ochrony

Typ radaru	Scenariusz symulacji	Próg DFS zapewniający ochronę (T_{DFS}) (uwaga 1)
Radary obrotowe typu A, C, E, F, G, H, I, J Radary typu P i Q	Norma przedstawiona w dodatku 6	-52 dBm oraz ustalenia operacyjne wykorzystywane przez systemy radarowe
Radar typu I	Zgodnie z dodatkiem 6, ale wysokość anteny radaru w przedziale od 500 do 1 000 m	-62 dBm
Radar typu S	Norma przedstawiona w dodatku 6	Zob. uwaga 2
Radar typu K	Norma przedstawiona w dodatku 6	-67 dBm
	Zgodnie z dodatkiem 6, ale przyjmując o połowę mniejszą gęstość zaludnienia	-64 dBm
	Zgodnie z dodatkiem 6, ale przyjmując, że moc wszystkich urządzeń wynosi 50 mW	-62 dBm

UWAGA 1 – Przyjmując, że zysk anteny odbiorczej WAS został znormalizowany do 0 dBi.

UWAGA 2 – Sytuacja związana ze współużytkowaniem pasma przez ten radar i WAS jest bardzo złożona. Początkowe obliczenia przeprowadzone w oparciu o wyniki uzyskane dzięki skorzystaniu z wartości odniesienia wskazują, że należałoby ustanowić wymagany próg wykrywania DFS dla wartości niższych niż dolny pułap szumów operacyjnych generowanych przez urządzenia WAS. W oparciu o wyniki przeprowadzonych dyskusji stwierdzono, że takie systemy mogą być instalowane wyłącznie na wojskowych statkach powietrznych. Uzgodniono, że nie będą one brane pod uwagę przy opracowywaniu wymogu dotyczącego progu wykrywania.

Uwagi dotyczące stosowanych parametrów i metod

Skutki zastosowania odmiennych parametrów i metod można podsumować w następujący sposób:

- a) zmniejszenie gęstości aktywnych urządzeń o połowę doprowadziłoby do zwiększenia T_{DFS} o 3 dB. Analogicznie, podwojenie gęstości aktywnych urządzeń skutkowałoby zmniejszeniem T_{DFS} o 3 dB.
- b) moc nadawania pojedynczego źródła zakłóceń wykorzystywana w obliczeniach budżetu połączenia ma bezpośrednie przełożenie na ilość dB w ramach wymaganego progu ochrony. W analizie zbiorczej taki wpływ jest uzależniony od rozkładu poziomów mocy wykorzystanych w symulacji.
- c) w większości przypadków zależności między zmiennymi wykorzystywanymi w modelach zagregowanych nie są oczywiste, dlatego też zmiana pojedynczej zmiennej nie daje podstaw do wysuwania jednoznacznych wniosków.

ZALECENIE ITU-R M.1827-1

Wymogi techniczno-operacyjne dla stacji w służbie ruchomej lotniczej (R) z ograniczeniem do zastosowań naziemnych na terenach portów lotniczych w zakresie częstotliwości 5 091–5 150 MHz

(2007-2015)

Zakres

Niniejsze zalecenie określa wymogi techniczno-operacyjne dla stacji w służbie ruchomej lotniczej (wzdłuż tras) (AM(R)S) z ograniczeniem do zastosowań naziemnych na terenach portów lotniczych w zakresie częstotliwości 5 091–5 150 MHz, które administracje powinny traktować jako techniczne wytyczne dotyczące ustanawiania ogólnowiatowych wymogów w zakresie zgodności dla stacji.

Słowa kluczowe

AM(R)S, FSS, port lotniczy, zgodność.

Skróty/Słowniczek

AM(R)S Służba ruchoma lotnicza (wzdłuż tras)

ARNS Służba radionawigacyjna lotnicza

FSS Służba stała satelitarna

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU

uwzględniając

- a) że stacje lotnicze będą działały na szczeblu krajowym, regionalnym i międzynarodowym na całym świecie;
- b) że krążenie stacji lotniczych jest zwykle przedmiotem wielu krajowych i międzynarodowych zasad i regulacji, obejmujących zachowanie zadowalającej zgodności ze wzajemnie uzgodnionymi normami technicznymi i wymogami operacyjnymi Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO);
- c) potrzebę określenia wymogów techniczno-operacyjnych w odniesieniu do testów zgodności dotyczących stacji lotniczych;
- d) że określenie wymogów techniczno-operacyjnych dla stacji lotniczych zapewniło by wspólne podstawy techniczne ułatwiające różnym organom krajowym, regionalnym i międzynarodowym przeprowadzanie testów zgodności dotyczących stacji lotniczych oraz opracowanie postanowień w zakresie wzajemnego uznawania w odniesieniu do zgodności stacji lotniczych;
- e) że wymogi techniczno-operacyjne powinny przyczyniać się do osiągnięcia dopuszczalnej równowagi między złożonością urządzeń radiokomunikacyjnych a potrzebą skutecznego wykorzystania widma częstotliwości radiowych,

uwzględniając również

- a) istnienie wymogu pełnej ochrony wszystkich służb pierwszej ważności w zakresie 5 091–5 150 MHz;

- b) że wyniki badań prowadzonych zgodnie z uchwałą **414 (Rev.WRC-03)** wskazują na możliwość użytkowania zakresu 5 091–5 150 MHz przez AM(R)S, z ograniczeniem do zastosowań naziemnych na terenach portów lotniczych na prawach pierwszej ważności, zgodnie z pewnymi warunkami;
- c) że określenie przez ITU-R wymogów techniczno-operacyjnych dla stacji lotniczych działających w zakresie 5 091–5 150 MHz powinno zapobiec niedopuszczalnym zakłóceniom innych służb;
- d) że powinna istnieć możliwość stałego i dokładnego mierzenia i kontrolowania parametrów technicznych i operacyjnych,

uznając

- a) że zakres częstotliwości 5 000–5 250 MHz jest przeznaczony dla służby radionawigacyjnej lotniczej (ARNS) na prawach pierwszej ważności;
- b) że zakres 5 030–5 150 MHz ma być użytkowany przez standardowy międzynarodowy mikrofalowy system lądowania (MLS) dla potrzeb precyzyjnego podejścia i lądowania. Zakres częstotliwości 5 091–5 150 MHz jest również używany w służbie FSS dla linii zasilających w niegeostacjonarnych systemach służby ruchomej satelitarnej. Wymogi dotyczące międzynarodowego standardowego mikrofalowego systemu radionawigacyjnego powinny mieć pierwszeństwo w stosunku do innych użytkowników zakresu 5 030–5 091 MHz zgodnie z uwagą **5.444** Regulaminu Radiokomunikacyjnego,

zaleca

1 aby wymogi techniczno-operacyjne dla stacji w służbie ruchomej lotniczej (R) z ograniczeniem do zastosowań naziemnych na terenach portów lotniczych w zakresie częstotliwości 5 091–5 150 MHz określone w dodatku 1 były wykorzystywane przez administracje jako wytyczne dotyczące zapewniania kompatybilności ze służbą stałą satelitarną (FSS).

2 następująca uwaga jest uważana za część niniejszego zalecenia

UWAGA – Ze względu na fakt, że dopuszczalne mogą być również inne ograniczenia i że wszystkie zasadnicze wymagania nie są zawarte w niniejszym zaleceniu, wymagane są dalsze badania, w szczególności w odniesieniu do elastycznego podejścia do podziału $\Delta T_s/T_s$ użytego w niniejszym zaleceniu.

Dodatek 1

Zasadnicze wymagania związane z kompatybilnością z sieciami w służbie stałej satelitarnej w zakresie częstotliwości 5 091–5 150 MHz

W tabeli 1 zestawiono parametry odbiornika w służbie FSS przyjęte w odniesieniu do poniższych analiz.

Tabela 1

Wartości parametrów wykorzystywane w obliczeniach zakłóceń satelitów

Parametr	Jednostki	HIBLEO-4 FL
Temperatura szumu odbiornika satelity T	K	550
Skuteczna powierzchnia anteny w paśmie 5 120 MHz	dB(m ²)	-35,6
Dyskryminacja polaryzacji L_p	dB	1
Tłumienie linii zasilającej L_{feed}	dB	2,9
Szerokość pasma odbiornika satelity B	MHz	1,23
Zysk anteny odbiornika satelity G_r	dB	4

UWAGA – Zgodność z gęstościami strumienia mocy (pfd) określonymi poniżej może być otrzymana w warunkach propagacji w wolnej przestrzeni.

Dodatkowe wymogi dotyczące służby ruchomej lotniczej (R)

Poniższe wymagania stanowią techniczne wytyczne, które administracje powinny stosować do ustanawiania ogólnościatowych wymagań w zakresie zgodności dla stacji. Inne wartości graniczne mogą być również dopuszczalne, jednak wymagane są dalsze badania.

Określona w tej sekcji pfd opiera się na zapewnieniu, że wzrost temperatury szumu satelity w służbie stałej satelitarnej ze względu na pracę w zakresie częstotliwości 5 091–5 150 MHz dla AM(R)S (czyli $(\Delta T_s/T_s)_{AM(R)S}$) nie przekracza większej z następujących dwóch wartości:

- 1) 2%
- 2) $5\% - (\Delta T_s/T_s)_{ARNS}$

gdzie:

$(\Delta T_s/T_s)_{ARNS}$: stanowi wzrost temperatury szumów ze względu na pracę ARNS w tym samym zakresie.

Przykład 1: $(\Delta T_s/T_s)_{ARNS} = 3\%$

W tym przypadku, $5\% - (\Delta T_s/T_s)_{ARNS}$ równa się 2%, stąd, $(\Delta T_s/T_s)_{AM(R)S} = 2\%$, czyli -17 dB.

Przyjmując parametry z tabeli 1 dla służby FSS, maksymalny poziom zagregowanego zakłócenia tolerowany na wejściu odbiornika wynosi $I_{Agg-Rec}$:

$$I_{Agg-Rec} = KTB - 17 \text{ dB} = -157,3 \text{ dB(W/1,23 MHz)}$$

gdzie:

- K : stała Boltzmann (1,38 × 10⁻²³)
- T : oznacza temperaturę szumu odbiornika
- B : szerokość pasma odbiornika

W związku z tym, maksymalny poziom gęstości strumienia mocy na wejściu anteny odbiornika satelity wytwarzanej przez jeden nadajnik w służbie ruchomej lotniczej (R) wynosi:

$$\begin{aligned}
 pfd_{\text{Max}} &= I_{\text{Agg-Rec}} - Gr + L_{\text{Feed}} + L_p - 10 \lg(250) + 10 \lg\left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) \\
 &= -157,3 - 4 + 2,9 + 1 - 23,97 + 35,6 \\
 &= -145,77 \text{ dBW}/(\text{m}^2 \times 1,23 \text{ MHz})
 \end{aligned}$$

gdzie:

- Gr*: zysk anteny odbiornika FSS
 250: maksymalna liczba stacji w AM(R)S emitujących jednocześnie w szerokości pasma odbiornika FSS.

Przykład 2: $(\Delta T_s/T_s)_{\text{ARNS}} = 0$

W tym przypadku, $5\% - (\Delta T_s/T_s)_{\text{ARNS}}$ równa się 5% , które jest większe niż 2% , stąd, $(\Delta T_s/T_s)_{\text{AM(R)S}} = 5\%$, czyli -13 dB .

Wtedy:

$$I_{\text{Agg-Rec}} = \text{KTB} - 17 \text{ dB} = -157,3 \text{ dB(W/1,23 MHz)}$$

W związku z tym, maksymalny poziom pfd na wejściu anteny odbiornika satelity wytwarzanej przez jeden nadajnik AMRS wynosi:

$$\begin{aligned}
 pfd_{\text{Max}} &= I_{\text{Agg-Rec}} - Gr + L_{\text{Feed}} + L_p - 10 \lg(250) + 10 \lg\left(\frac{4\pi}{\lambda^2}\right) \\
 &= -153,3 - 4 + 2,9 + 1 - 23,97 + 35,6 \\
 &= -141,77 \text{ dBW}/(\text{m}^2 \times 1,23 \text{ MHz})
 \end{aligned}$$

Przykład 3: $(\Delta T_s/T_s)_{\text{ARNS}} > 3\%$

W tym przypadku, $5\% - (\Delta T_s/T_s)_{\text{ARNS}}$ jest mniejsze niż 2% , stąd, $(\Delta T_s/T_s)_{\text{AM(R)S}} = 2\%$, czyli -17 dB , tak jak w przykładzie 1, czyli uzyskana jest ta sama wartość pfd_{Max} co w przykładzie 1.

ZALECENIE ITU-R M.2013-0

Parametry techniczne i kryteria ochrony systemów służby radionawigacyjnej lotniczej niepodlegających ICAO, które działają w paśmie częstotliwości ok. 1 GHz

(2012)

Zakres

Niniejsze zalecenie określa parametry techniczne i kryteria ochrony systemów służby radionawigacyjnej lotniczej niepodlegających Organizacji Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego (ICAO), które działają w wokół częstotliwości 1 GHz w celu wykorzystania podczas badań kompatybilności. Dotyczy ono systemów służby radionawigacyjnej lotniczej niepodlegających ICAO w państwach określonych w uwadze **5.312** Regulaminu Radiokomunikacyjnego oraz systemów TACAN.

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU,

uwzględniając

- a) że taktyczny system nawigacji lotniczej (TACAN) jest systemem radionawigacji lotniczej wykorzystywanym na poziomie krajowym i działającym w zakresie częstotliwości 960–1 215 MHz;
- b) że system TACAN jest wykorzystywany zarówno przez cywilne, jak i państwowe statki powietrzne;
- c) że podczas wykorzystywania przez lotnictwo cywilne, pod względem funkcjonalnym TACAN odpowiada standardowym urządzeniom do pomiaru odległości (DME) ICAO ;
- d) że system TACAN zapewnia dodatkową funkcję DME tj. możliwość uzyskania informacji o namiarze;
- e) że wyżej wymieniona dodatkowa funkcja powoduje różnice między parametrami technicznymi a parametrami DME i może wymagać dodatkowego przeanalizowania podczas przyszłych badań kompatybilności;
- f) że wykorzystanie systemu TACAN obejmuje także zastosowanie na pokładzie statku i w powietrzu,

zauważając

- a) że zgodnie z uchwałą 417 (WRC-07) należy udzielić pierwszeństwa służbie radionawigacyjnej lotniczej działającej w zakresie częstotliwości 960–1 164 MHz;
- b) że badania ITU-R wykazały, że w wyniku wprowadzenia służby ruchomej lotniczej (na trasie) w zakresie częstotliwości 960–1 164 MHz, konieczne będzie przeprowadzenie w określonym miejscu bardziej szczegółowych badań kompatybilności między systemem TACAN a systemami służby ruchomej lotniczej (na trasie),

zaleca

stosowanie do badań kompatybilności parametrów i kryteriów ochrony określonych w dodatkach.

Dodatek 1

Taktyczny system nawigacji lotniczej

TACAN jest systemem radionawigacji lotniczej wykorzystywanym na poziomie krajowym i działającym w zakresie częstotliwości 960–1 215 MHz. System ten składa się ze stacji zapytującej znajdującej się na pokładzie statku powietrznego i radiolatarni przesyłającej odpowiedzi. W większości przypadków radiolatarnie systemu TACAN są stałymi instalacjami naziemnymi, ale wykorzystuje się także radiolatarnie morskie ruchome i radiolatarnie lotnicze ruchome. W zależności od generowanej e.i.r.p. i konstrukcji stacji zapytującej zasięg odchylenia może wynosić do 400 nm (740 km), w praktyce jednak zasięg ten ogranicza się do maksymalnego zasięgu horyzontu radiowego (RLOS). Jednostka statku powietrznego transmituje pary regularnych impulsów tzw. impulsy zapytania odbierane przez instalacje naziemne (radiolatarnie). Szerokość impulsu wysyłanego przez system TACAN wynosi 3,5 μ s na 50% punktów amplitudy. Odstęp między impulsami w przypadku pary impulsów zapytania wynosi 12 μ s (kanał X) lub 36 μ s (kanał Y). Po odbiorze pary impulsów zapytania stacja naziemna bada kształt i odstęp impulsu. Jeżeli impulsy mieszczą się w dopuszczalnych wartościach granicznych, stacja naziemna zareaguje wysyłając odpowiedź po stałym opóźnieniu na częstotliwości o odchyleniu ± 63 MHz od częstotliwości zapytania w zależności od wybranego kanału na kodzie impulsowym. Odstępy między impulsami odpowiedzi wysyłanymi przez radiolatarnie wynoszą 12 μ s (kanał X) i 30 μ s (kanał Y). Po otrzymaniu odpowiedzi stacja zapytująca oblicza chwilową odległość zasięgu odchylenia wobec radiolatarni od czasu, jaki upłynął między transmitowaniem zapytania a otrzymaniem odpowiedzi w postaci pary impulsów.

Radiolatarnia otrzymuje zapytania od wielu statków powietrznych, dlatego też wysyła wiele odpowiedzi. Każda stacja zapytująca tworzy unikatową charakterystykę poprzez zmianę czasu między parami impulsów, w ramach danych wartości granicznych, w celu uniknięcia generowania odpowiedzi synchronicznych. Zgodnie z tą zasadą każda platforma jest w stanie rozpoznać wśród wszystkich par impulsów odpowiedzi zainicjowane przez jej własną stację zapytującą.

Na potrzeby identyfikacji radiolatarnia systemu TACAN nadaje identyfikacyjny kod Morse'a. Stacje zapytujące znajdujące się na pokładzie statków powietrznych wykorzystują sygnał identyfikacyjny w celu zweryfikowania, czy prawidłowa radiolatarnia dostarczyła odczyty zasięgu. Oprócz odpowiedzi impulsowych, istotne znaczenie dla prawidłowego funkcjonowania stacji zapytujących systemu TACAN ma właściwy odbiór sygnału identyfikacyjnego.

Oprócz pomiarów zasięgu system TACAN oferuje także informacje o azymucie. Informacje o azymucie dostarcza się poprzez stosowanie modulacji amplitudy impulsów transmitowanych przez radiolatarnię naziemną. Modulacja amplitudy impulsu (PAM) jest utworzona za pomocą mechanicznie lub elektronicznie skanującej anteny radiolatarni. Zmiana charakterystyki azymutu w postaci listków anteny 15 Hz i 135 Hz przy maksymalnym dopuszczalnym wskaźniku modulacji wynoszącym 55% zmniejszy poziom sygnału odpowiedzi impulsowych o około 10,7 dB poniżej maksymalnego poziomu impulsów e.i.r.p. bez modulacji amplitudy impulsu. Aby stacja zapytująca rozszyfrowała orientację charakterystyki anteny w kierunku północnym na podstawie modulacji amplitudy impulsu, radiolatarnia transmituje dodatkowych 900 par impulsów składających się z grupy impulsów odniesienia w kierunku północnym (NRPG) i dodatkowej wyważonej grupy impulsów odniesienia (RPG). W celu uzyskania dokładnych informacji o azymucie oraz udzielenia odpowiedzi co najmniej 100 statkom powietrznym przy wydajności udzielania odpowiedzi na poziomie 70 %, należy transmitować stałą liczbę par impulsów tj. co najmniej 3 600.

System TACAN wykorzystuje się w nawigacji lotniczej zarówno do państwowych statków powietrznych, jak i lotnictwa cywilnego. W przypadku wykorzystywania przez lotnictwo cywilne, wyposażenie systemu TACAN odpowiada wyposażeniu standardowych urządzeń do pomiaru odległości (DME) ICAO. Parametry systemu TACAN określa tabela 1.

TABELA 1
Typowe parametry stacji w systemie TACAN

Cel	Jednostki	Systemy radiowe wykorzystywane w nawigacji lotniczej (960–1 215 MHz)				
		Ziemia-statek powietrzny	Statek powietrzny-Ziemia	Ziemia-statek powietrzny morski	Statek powietrzny-Ziemia morski	Statek powietrzny-statek powietrzny
Kierunek transmisji radiowej						
Operacyjny zakres częstotliwości	(MHz)	962–1 213	1 025–1 150	962–977	1 025–1 088	1 025–1 151
Zakres działania (ograniczony do RLOS)	(km)	do 600	do 600	do 600	do 600	do 740
Informacje transmitowane		Zasięg i odpowiedzi azymutu Dane identyfikacyjne	Zasięg i odpowiedzi azymutu	Zasięg i odpowiedzi azymutu Identyfikacja	Zasięg i odpowiedzi azymutu	Zasięg i odpowiedzi azymutu Identyfikacja
Parametry nadajnika						
Nazwa stacji		Radiolatarnia	Stacja zapytująca	Radiolatarnia	Stacja zapytująca	Radiolatarnia
Wysokość nad poziomem terenu	(m)	3 (10 stóp)	do 18 288 (60 000 stóp)	3 (10 stóp)	do 18 288 (60 000 stóp)	do 18 288 (60 000 stóp)
Rodzaj sygnału		impulsowy	impulsowy	impulsowy	impulsowy	impulsowy
Separacja międzykanałowa	(MHz)	1	1	1	1	1
Rodzaj modulacji		Forma impulsu i odstępy między parami impulsów	Forma impulsu i odstępy między parami impulsów	Forma impulsu i odstępy między parami impulsów	Forma impulsu i odstępy między parami impulsów	Forma impulsu i odstępy między parami impulsów
Moc nadajnika (impulsowa)	(dBW)	39 (maks.)	33 (maks.)	39 (maks.)	33 (maks.)	33 (maks.)
Długość impulsu	(μ s)	$3,5 \pm 0,5$ (50% amplitudy)	$3,5 \pm 0,5$ (50% amplitudy)	$3,5 \pm 0,5$ (50% amplitudy)	$3,5 \pm 0,5$ (50% amplitudy)	$3,5 \pm 0,5$ (50% amplitudy)
Typowy współczynnik czasu pracy	(%)	2,52	0,105	2,52	0,105	0,735
Typ anteny		układ antenowy kołowy	wielokierunkowa	układ antenowy kołowy	wielokierunkowa	układ antenowy kołowy
Typowy zysk anteny	dBi	6	0	6	0	6

TABELA 1 (koniec)

Cel	Jednostki	Systemy radiowe wykorzystywane w nawigacji lotniczej (960–1 215 MHz)				
Parametry odbiornika						
Stacja odbiorcza		Stacja statku powietrznego	Stacja lotnicza i stacja naziemna na trasie	Stacje statków powietrznych	Stacja morska	Stacja statku powietrznego
Operacyjny zakres częstotliwości	(MHz)	962–1 213	1 025–1 150	962–977	1 025–1 088	1 025–1 151
Wysokość nad poziomem terenu	(m)	do 20 880 (60 000 stóp)	3 (10 stóp)	do 20 880 (60 000 stóp)	3 (10 stóp)	do 20 880 (60 000 stóp)
Szerokość pasma odbiornika 3 dB	(MHz)	2	2–4,5	2	2–4,5	2–4,5
Maksymalny/minimalny zysk anteny	(dBi)	5,4/0	9,1/4,1	5,4/0	9,1/4,1	5,4/0
Polaryzacja		Pionowa	Pionowa	Pionowa	Pionowa	Pionowa
Wskaźnik czułości odbiornika	(dBW)	–122	–122	–122	–122	–122
Maksymalny dopuszczalny poziom zakłócenia na podstawie odebranej mocy	(dBW)	–129	–130	–129	–130	–129

UWAGA – Współczynniki ochronne przedstawione w tabeli 1 uzyskano dla sygnałów nieimpulsowych. W przypadku sygnałów impulsowych konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań. Pod tym względem sygnały o długości impulsu większej niż 50 μ s uznaje się za sygnały nieimpulsowe lub ciągłe.

UWAGA – Zysk anteny pokładowej określono w zaleceniu ITU-R M.1642-1.

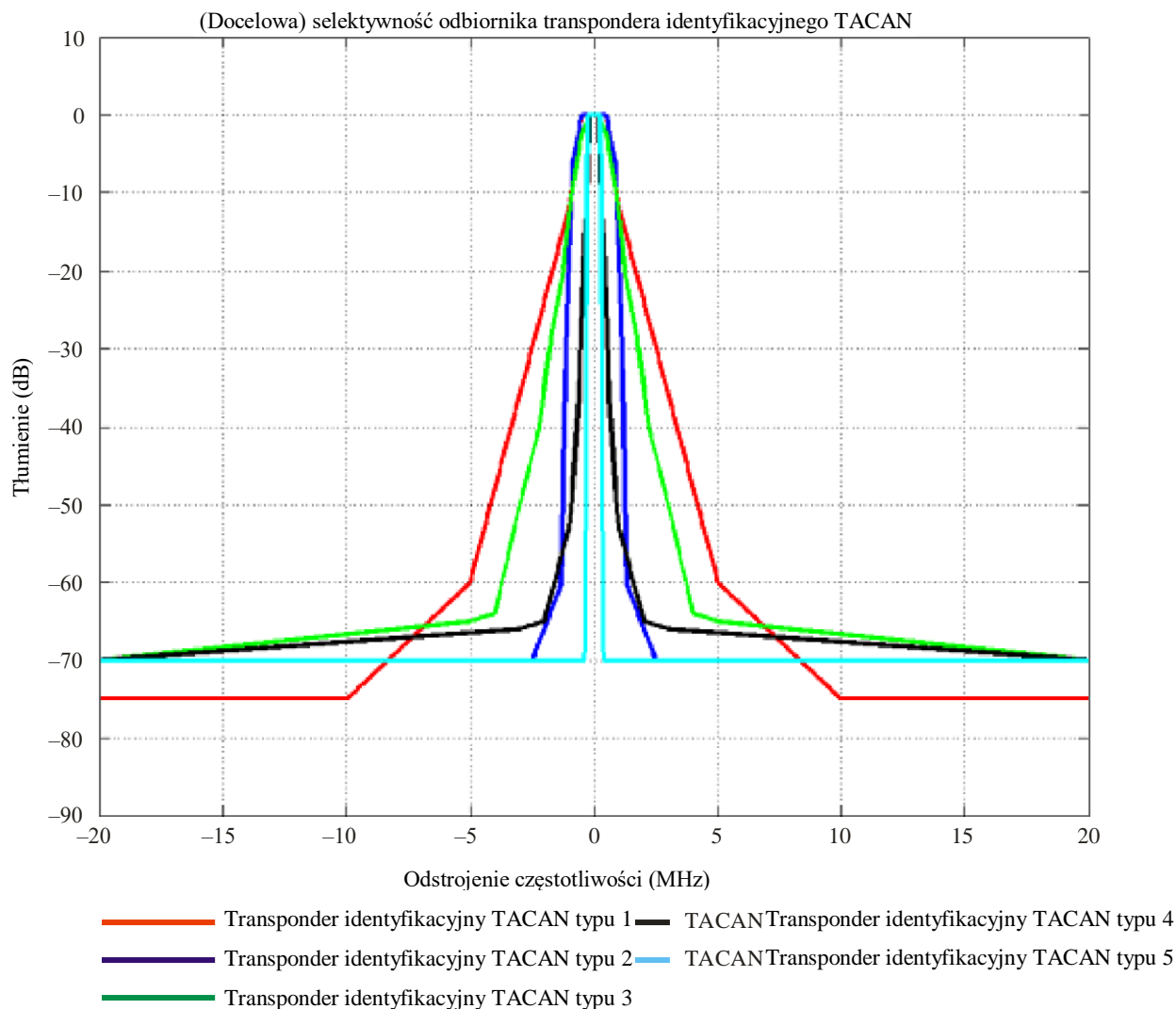
UWAGA – Z pomiarów dokonanych przez niektóre urzędniki systemu TACAN wynika, że wskaźnik czułości systemu TACAN w odniesieniu do pomiarów odległości i kątów różni się jedynie o 3 dB w przypadku odbiornika znajdującego się na stacji zapytującej systemu TACAN (–90 dBm w odniesieniu do odległości i –87 dBm w odniesieniu do pomiarów kątów).

Istnieje duża zainstalowana baza wyposażenia systemu TACAN, zarówno stacji naziemnych (radiolatarni), jak również stacji statku powietrznego (stacji zapytujących) w różnych administracjach. Rzeczywiste parametry techniczne różnią się między poszczególnymi rodzajami wyposażenia. Jednym z ważnych czynników określających wpływ zakłócenia jest krzywa selektywności odbiornika. Na rysunku 1 przedstawiono krzywe selektywności odbiornika dla pięciu rodzajów wyposażenia stacji zapytującej systemu TACAN. Można zauważyć dużą rozpiętość w selektywności różnych rodzajów odbiornika systemu TACAN. W trakcie badań kompatybilności należy wziąć pod uwagę wszystkie rodzaje stacji zapytujących systemu TACAN w celu zagwarantowania odpowiedniej ochrony tej aplikacji służby radionawigacyjnej lotniczej w tym zarówno funkcji określania zasięgu, jak i azymutu.

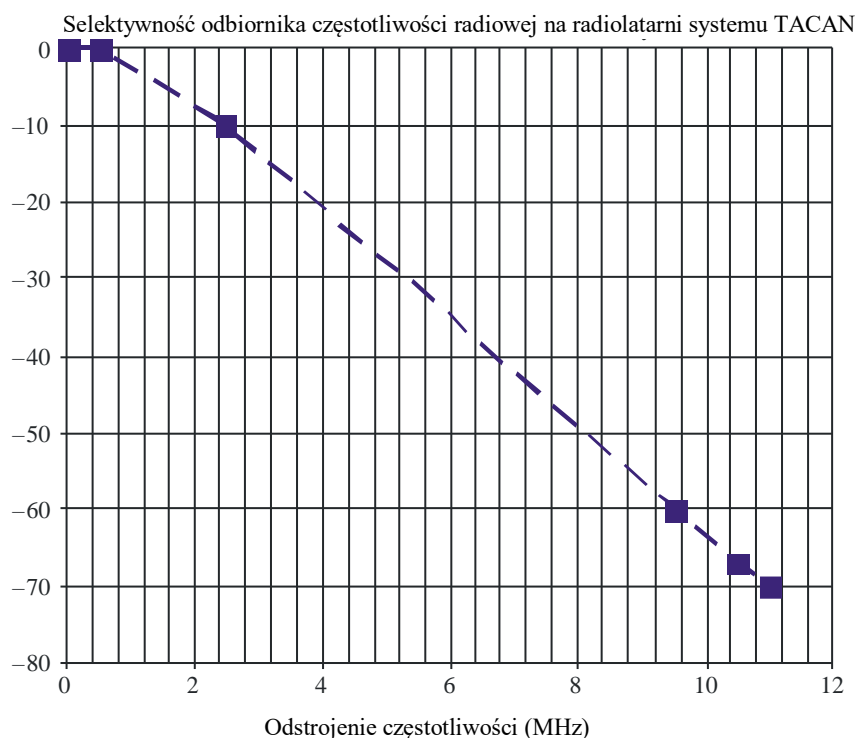
Na rysunku 2 przedstawiono krzywą selektywności odbiornika dla typowej radiolatarni systemu TACAN. Selektywność radiolatarni systemu TACAN jest gorsza niż selektywność odbiorników znajdujących się na stacji zapytującej systemu TACAN.

RYSUNEK 1

Krzywe selektywności odbiornika częstotliwości radiowej (transpondera identyfikacyjnego) znajdującego się na stacji umieszczonej na pokładzie statku powietrznego



RYSUNEK 2

Krzywe selektywności odbiornika częstotliwości radiowej znajdującego się na stacji naziemnej (radiolatarni)

F5-1007-02

Dodatek 2**Systemy radionawigacyjne lotnicze niepodlegające ICAO działające w państwach, o których mowa w uwadze 5.312 Regulaminu Radiokomunikacyjnego**

Państwa określone w uwadze 5.312 Regulaminu Radiokomunikacyjnego w szczególności korzystają z następujących trzech typów systemów radionawigacyjnych lotniczych:

- Typ 1: systemy służby radionawigacyjnej lotniczej typu 1 odnoszą się do systemów namiarowych i systemów zakresów. Systemy służą do znajdowania azymutu i zasięgu odchylenia statku powietrznego, jak również do prowadzenia nadzoru na danym obszarze i nawigacji między statkami powietrznymi. Systemy te składają się ze stacji umieszczonych na pokładzie statku powietrznego oraz stacji naziemnych. Stacje umieszczone na pokładzie statku powietrznego generują sygnał z żądaniem transmitowany za pośrednictwem anteny wielokierunkowej i odbierany na stacjach naziemnych w służbie radionawigacyjnej lotniczej, które także działają w trybie wielokierunkowym. Stacje naziemne generują i transmitują odpowiedzi zawierające informacje na temat azymutu i zasięgu. Sygnały te są odbierane i rozszyfrowywane przez stacje w służbie radionawigacyjnej lotniczej znajdujące się na statkach powietrznych. Stacje typu 1 transmitują sygnały z żądaniem przedstawienia danych na temat azymutu/zasięgu poza zakresem częstotliwości 960–1 164 MHz. Po otrzymaniu

sygnału z żądaniem stacje naziemne w służbie radionawigacyjnej lotniczej użytkują zakres częstotliwości 960–1 164 MHz jedynie w celu transmitowania danych na temat zasięgu odbieranych przez stacje w służbie radionawigacyjnej lotniczej umieszczone na pokładach statków powietrznych. W związku z tym systemy służby radionawigacyjnej lotniczej typu 1 użytkują zakres częstotliwości 960–1 164 MHz jedynie w celu transmitowania sygnałów w kierunku powierzchnia–przestrzeń powietrzna. Maksymalny zasięg operacyjny dla systemów służby radionawigacyjnej lotniczej typu 1 wynosi 400 km. Oczekuje się, że niektóre państwa określone w uwadze 5.312 Regulaminu Radiokomunikacyjnego mogą przestać korzystać ze wspomnianych systemów służby radionawigacyjnej lotniczej typu 1.

- Typ 2: systemy namiarowe i systemy pomiaru odległości w służbie radionawigacyjnej lotniczej typu 2 służą do tego samego rodzaju misji, co systemy służby radionawigacyjnej lotniczej typu 1. Stacje typu 2 różnią się przede wszystkim tym, że sygnały z żądaniem transmitowane są przez stacje umieszczone na pokładzie statku powietrznego w tym samym zakresie częstotliwości, co odpowiedzi transmitowane ze stacji naziemnych. Ponadto, stacje naziemne w służbie radionawigacyjnej lotniczej typu 2 mogą pracować zarówno w trybie jednokierunkowym, jak i wielokierunkowym. Tryb jednokierunkowy zapewnia zwiększoną liczbę kanałów operacyjnych na stacjach w służbie radionawigacyjnej lotniczej. Maksymalny zasięg operacyjny dla systemów służby radionawigacyjnej lotniczej typu 1 wynosi 400 km. Planuje się użytkowanie całkowitego zakresu częstotliwości 960–1 164 MHz przeznaczonego dla służby radionawigacyjnej lotniczej w celu zwiększenia elastyczności działania systemów służby radionawigacyjnej lotniczej typu 2. Stosowanie filtra strojenia szerokopasmowego na odbiorniku front-end służby radionawigacyjnej lotniczej stanowi szczególną cechę projektu systemów służby radionawigacyjnej lotniczej typu 2, wynikającą z potrzeby odbierania sygnałów jednocześnie na kilku kanałach. Szerokość pasma tego filtra 3 dB wynosi 22 MHz i umożliwia jednoczesne odbiór maksymalnie 5 z 30 pokrywających się kanałów, każdy na paśmie 4,3 MHz. Jednoczesne wykorzystanie filtra szerokopasmowego i korelatora pozwala na zwiększenie dokładności pomiarów danych dotyczących pozycji statku powietrznego oraz stosunku sygnał-szum na front-end odbiornika. System służby radionawigacyjnej lotniczej typu 2 może działać w ograniczonej liczbie państw określonych w uwadze 5.312 Regulaminu Radiokomunikacyjnego.
- Typ 3: systemy służby radionawigacyjnej lotniczej typu 3 wykorzystuje się podczas podejścia do lądowania i lądowania. System zapewnia funkcje kontrolne kierunku, zasięgu i ścieżki podejścia podczas zbliżania się i lądowania statku powietrznego. Stacje naziemne w służbie radionawigacyjnej lotniczej typu 3 mogą działać zarówno w trybie jednokierunkowym, jak i wielokierunkowym. Zasięg operacyjny systemów służby radionawigacyjnej lotniczej typu 3 nie przekracza 60 km. Zakres częstotliwości 960–1 164 MHz użytkuje się w celu obsługi kanałów przeznaczonych do kontroli ścieżki podejścia i zasięgu między stacjami na pokładzie statku powietrznego i stacjami naziemnymi w służbie radionawigacyjnej lotniczej. System służby radionawigacyjnej lotniczej typu 3 może działać w ograniczonej liczbie państw określonych w uwadze 5.312 Regulaminu Radiokomunikacyjnego.

Tabela 2 stanowi krótki opis techniczny stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej.

W związku z tym, stacje systemów niepodlegających ICAO działają, wykorzystując powiązania przestrzeń powietrzna-powierzchnia, zaś powiązania powierzchnia-przestrzeń powietrzna składają się z odbiorników i nadajników naziemnych i znajdujących się na pokładzie statku powietrznego.

TABELA 2

Typowe parametry stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej działających w państwach, o których mowa w uwadze 5.312 Regulaminu Radiokomunikacyjnego

Charakterystyka systemu służby radionawigacyjnej lotniczej	Typ 1	Typ 2		Typ 3	
Cel	Systemy radiowe w nawigacji bliskiego zasięgu	Systemy radiowe w nawigacji bliskiego zasięgu		Systemy radiowe wykorzystywane podczas podejścia do lądowania i lądowania	
Operacyjny zakres częstotliwości	960–1 000,5	960–1 164			
Kierunek linii radiowej (MHz)	„Ziemia-statek powietrzny”	„Ziemia-statek powietrzny”	„Statek powietrzny-Ziemia”	„Ziemia-statek powietrzny”	„Statek powietrzny-Ziemia”
Zasięg działania	do 400	do 400	do 400	do 45	do 45
Informacje transmitowane (km)	Transmisja sygnałów azymutowych, sygnałów zawierających odpowiedź dotyczącą zasięgu i sygnałów z żądaniem wskazania	Transmisja sygnałów azymutowych, sygnałów zawierających odpowiedź dotyczącą zasięgu i sygnałów z żądaniem wskazania	Transmisja sygnałów zawierających odpowiedź dotyczącą zasięgu i sygnałów z żądaniem wskazania	Transmisja sygnałów na ścieżce podejścia i kanałach kursu oraz sygnałów zawierających odpowiedź dotyczącą zasięgu	Transmisja żądania dotyczącego zasięgu
Parametry nadajnika					
Nazwa stacji	Stacje lotnicze i stacje naziemne na trasie	Stacje lotnicze i stacje naziemne na trasie	Stacja statku powietrznego	Stacja lotnicza naziemna	Stacja statku powietrznego
Klasa emisji	700KPXX	4M30P1N	4M30P1D	700KP0X; 4M30P1N	700KP0X; 4M30P1N
Separacja międzykanałowa (MHz)	0,7	0,7	0,7	0,7	2
Rodzaj modulacji	impulsowa	impulsowa	impulsowa	impulsowa	impulsowa
Moc nadajnika (impulsowa) (dBW)	20–45	29–39	27–33	3–30	5–33
Współczynnik czasu pracy (%)	0,018; 0,066	0,064 – 0,3	0,00765	0,04; 0,025	0,009
Średnia moc wyjściowa Moc (min/max) (dBW)	7,6/13,2	7,1/13,8	–8,2	–4/–6	–7,5
Długość impulsu (μs)	1,5; 5,5	1,25; 1,5; 5,5	1,5	1,7	1,7
Typ anteny	wielokierunkowa	układ antenowy	wielokierunkowa	układ antenowy	wielokierunkowa
Maksymalny/minimalny zysk anteny (dBi)	6/0	15,6	3/–10	10/0	1,5/–3
Wysokość nad poziomem terenu (m)	10	10	do 12 000	10	do 12 000

TABELA 2 (koniec)

Charakterystyka systemu służby radionawigacyjnej lotniczej	Typ 1	Typ 2		Typ 3	
Cel	Systemy radiowe w nawigacji bliskiego zasięgu	Systemy radiowe w nawigacji bliskiego zasięgu		Systemy radiowe wykorzystywane podczas podejścia do lądowania i lądowania	
Parametry odbiornika					
Stacja odbiorcza	Stacja statku powietrznego	Stacja statku powietrznego	Stacje lotnicze i stacje naziemne na trasie	Stacja statku powietrznego	Stacja lotnicza naziemna
Wysokość nad poziomem terenu (m)	do 12 000	do 12 000	10	do 12 000	10
Szerokość pasma odbiornika 3 dB(MHz)	1,5	22	22	7	7
Temperatura szumu odbiornika, K (K)	400	1 060	550	400	400
Maksymalny/minimalny zysk anteny (dBi)	1,5/-3	3/-10	14	1,5/-3	10/0
Polaryzacja	pozioma	pozioma	pozioma	pozioma	pozioma
Wskaźnik czułości odbiornika (dBW)	-120	-118	-125	-110...-120	-113
Współczynnik ochronny C/I (dB)	25	17	20	25	25

UWAGA – Współczynniki ochronne przedstawione w tabeli 2 uzyskano dla sygnałów nieimpulsowych. W przypadku sygnałów impulsowych konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań. Pod tym względem sygnały o długości impulsu większej niż 50 μ s uznaje się za sygnały nieimpulsowe lub ciągłe.

ZALECENIE ITU-R RS.2065-0

Ochrona łączy kosmos-Ziemia służby badań kosmosu w zakresach częstotliwości 8 400-8 450 MHz i 8 450-8 500 MHz przed niepożądaną emisją radarów z syntetyczną aperturą (SAR) pracujących w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnej) wokół częstotliwości 9 600 MHz

(2014)

Zakres

Niniejsze zalecenie prezentuje tzw. techniki osłabiania (mitigation techniques), które mogą zredukować niepożądaną emisję systemów służby satelitarnych badań Ziemi (EESS) (aktywnej) w paśmie służby badań kosmosu (SRS) i rekomenduje ono, aby systemy służby EESS (aktywnej) zapewniały pełną ochronę misji służby SRS (dalekiego kosmosu) podczas ich zdarzeń krytycznych oraz aby w jakimkolwiek momencie nie powodowały one uszkodzeń odbiorników stacji ziemskich służby SRS.

Słowa kluczowe

Zdarzenia krytyczne, uszkodzenia, daleki kosmos (*deep space*), stacje ziemskie, służba EESS (aktywna), zakłócenia, osłabianie (*mitigation*), ochrona, kryterium, odbiornik, SAR, nasycenie, kosmos-Ziemia, służba badań kosmosu, SRS, radar z syntetyczną aperturą, emisje niepożądane

Skróty/Słowniczek

EESS Służba satelitarnych badań Ziemi (*Earth exploration satellite service*)

LFM Liniowa modulacja FM (*modulacja częstotliwości*)

SAR Radar z syntetyczną aperturą (*Synthetic aperture radar*)

SRS Służba badań kosmosu (*Space research service*)

TR Nadawanie i odbieranie (*Transmit and receive*)

Powiązane Zalecenia, Sprawozdania ITU

Zalecenie ITU-R RS.2043	Charakterystyki radarów z syntetyczną aperturą pracujących w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnej) wokół częstotliwości 9 600 MHz
Zalecenie ITU-R SA.609	Kryteria ochronne dla łączy radiokomunikacyjnych załogowych i bezzałogowych satelitów badawczych pracujących blisko Ziemi
Zalecenie ITU-R SA.1014	Wymagania telekomunikacyjne dla załogowych i bezzałogowych badań dalekiego kosmosu
Zalecenie ITU-R SA.1157	Kryteria ochronne dla badań dalekiego kosmosu
Zalecenie ITU-R SM.1541	Niepożądana emisja pozapasmowa
Sprawozdanie ITU-R RS.2308	Kompatybilność radiowa emisji niepożądanych radarów z syntetyczną aperturą EESS w paśmie 9 GHz ze służbą satelitarnych badań Ziemi (pasywną), służbą badań kosmosu (pasywną), służbą badań kosmosu i służbą radioastronomiczną pracującymi w zakresach częstotliwości 8 400-8 500 MHz oraz 10,6-10,7 GHz, odpowiednio

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU,

zważywszy

- a) że zakres częstotliwości 9 300-9 800 MHz jest przeznaczony dla służby EESS (aktywnej) na zasadzie pierwszej ważności;
- b) że zakres częstotliwości 9 800-9 900 MHz jest przeznaczony dla służby EESS (aktywnej) na zasadzie drugiej ważności;
- c) że zakres częstotliwości 8 400-8 450 MHz jest przeznaczony dla służby SRS (dalekiego kosmosu) na zasadzie pierwszej ważności na potrzeby łączy kosmos-Ziemia;
- d) że zakres częstotliwości 8 450-8 500 MHz jest przeznaczony dla służby SRS na zasadzie pierwszej ważności na potrzeby łączy kosmos-Ziemia;
- e) że systemy wykorzystujące radary aktywne w zakresie częstotliwości 9 300-9 900 MHz wykorzystują emisję o wysokiej mocy w kierunku kosmos-Ziemia;
- f) że stacje ziemskie służby SRS (dalekiego kosmosu) pracujące w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz jak opisano w Zaleceniu ITU-R SA.1014, używają odbiorników o niezwykle wysokiej czułości;
- g) że te stacje ziemskie służby SRS wspierają również misje służby SRS, takie jak misje Lagrange'a i misje księżycowe w zakresie częstotliwości 8 450-8 500 MHz;
- h) że kryteria ochronne misji służby SRS (dalekiego kosmosu) w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz określono w Zaleceniu ITU-R SA.1157, zaś kryteria ochronne misji służby SRS w zakresie częstotliwości 8 450-8 500 MHz określono w Zaleceniu ITU-R SA.609;
- i) że niepożądane emisje służby EESS (aktywnej) pracującej w zakresie częstotliwości 9 300-9 900 MHz mogą przekraczać kryteria ochronne dla służby SRS (dalekiego kosmosu) w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz;
- j) że zakres częstotliwości 8 400-8 450 MHz jest wykorzystywany przez niemal wszystkie misje służby SRS (dalekiego kosmosu) do obsługi ich rutynowych i krytycznych zdarzeń, zaś zakres częstotliwości 8 450-8 500 MHz jest wykorzystywany przez niemal wszystkie misje Lagrange'a i misje księżycowe służby SRS;
- k) że zdarzenia krytyczne służby SRS (dalekiego kosmosu) takie jak start, umieszczenie na orbicie, zbliżanie do planety, faza wejścia i lądowania, w tym powrót pobranej próbki, często decydują o powodzeniu misji kosmicznej;
- l) że zakłócenia podczas krytycznych zdarzeń misji służby SRS (dalekiego kosmosu) mogą doprowadzić do utraty krytycznych danych lub mogą nawet zagrażać bezpieczeństwu statku kosmicznego;
- m) że podczas rutynowych operacji misji służby SRS (dalekiego kosmosu) niepożądane emisje służby EESS (aktywnej), przekraczające – z bardzo małym prawdopodobieństwem – kryteria ochronne służby SRS (dalekiego kosmosu), mogą być akceptowalne;
- n) że niepożądane emisje służby EESS (aktywnej) mogą przekroczyć poziomy nasycenia i poziomy uszkodzenia odbiorników stacji ziemskich służby SRS opisane w dodatku 1,

zaleca

1 aby systemy SAR służby EESS stosowały metody opisane w dodatku 2 dla zmniejszenia ich niepożądanych emisji w zakresie częstotliwości 8 400-8 500 MHz w celu:

- a) uniknięcia w jakimkolwiek momencie uszkodzenia odbiorników stacji ziemskich służby SRS;

- b) zmniejszenia prawdopodobieństwa nasycenia odbiorników stacji ziemskich służby SRS;
- c) unikania powodowania zakłóceń przekraczających kryteria ochronne stacji ziemskich służby SRS (dalekiego kosmosu) podczas zdarzeń krytycznych;
- 2 aby – w ostateczności – jeśli *zalecenie 1* nie może być w pełni spełnione przez zastosowanie metod opisanych w dodatku 2, operatorzy systemów SAR służby EESS przewidywali wszelkie pozostałe potencjalne zdarzenia powodujące zakłócenia i łagodzili je poprzez koordynację swoich działań z operatorami misji służby SRS co najmniej siedem dni przed zdarzeniem w ramach rutynowych operacji SAR służby EESS i co najmniej 24 godziny w przypadku wykonywania zdjęć z wykorzystaniem SAR służby EESS w sytuacjach nadzwyczajnych, takich jak zarządzanie kryzysowe;
- 3 aby, w celu ułatwienia korzystania z niektórych technik osłabiania oraz koordynacji operacyjnej, operatorzy systemów SAR służby EESS i służby SRS udostępniali sobie wzajemnie parametry orbitalne i telekomunikacyjne swoich działań, w tym aktualną trajektorię ich misji, kierunek skierowania anteny oraz harmonogram zdarzeń krytycznych;
- 4 aby, przy realizowaniu *zaleceń 1, 2 i 3*, uwzględniać poziomy uszkodzenia i nasycenia zawarte w tabeli 1 w dodatku 1;
- 5 aby *zalecenia 1, 2, 3 i 4* stosować wyłącznie do stacji ziemskich służby SRS wymienionych w Zaleceniu ITU-R SA.1014.

Dodatek 1

Uszkodzenie i nasycenie układu wejściowego (front-endu) odbiorników stacji ziemskich służby SRS dalekiego kosmosu

Lokalizacje i charakterystyki odbiorników służby SRS dalekiego kosmosu opisano w Zaleceniu ITU-R SA.1014. Amerykańska agencja kosmiczna NASA oraz Europejska Agencja Kosmiczna (ESA) dostarczyły charakterystyki nasycenia i potencjalne poziomy uszkodzenia dla swoich odbiorników stacji ziemskich dalekiego kosmosu. Poziomy te zestawiono w tabeli A1-1 poniżej.

TABELA A1-1

Poziomy nasycenia i uszkodzenia odbiorników stacji ziemskich służby SRS (dalekiego kosmosu)

Parametr	Jednostka	NASA	ESA
Zakres częstotliwości	MHz	8 200-8 700	8 400-8 500
Poziom nasycenia	dBW	-115	-117
Poziom uszkodzenia	dBW	-105	-107

Wymienione poziomy nasycenia oraz uszkodzenia mierzone są bezpośrednio na zaciskach wejściowych front-endu odbiornika. Odbiorniki stacji ziemskich służby SRS dalekiego kosmosu należące do NASA są zaprojektowane w taki sposób, iż obsługują one również radar układu słonecznego NASA pracujący w zakresie częstotliwości 8 500-8 700 MHz, który to zakres przeznaczony jest dla służby radiolokacyjnej.

Stacje ziemskie służby SRS opisane w Zaleceniu ITU-R SA.1014 przeznaczone są również do wspierania misji służby SRS takich jak misje Lagrange'a oraz misje księżycowe w zakresie częstotliwości 8 450-8 500 MHz. Powyższe poziomy uszkodzenia nie powinny być przekraczane w żadnym momencie. Niepożądana emisja służby EESS (aktywnej) powinna być poniżej poziomu nasycenia podczas krytycznych zdarzeń misji służby SRS dalekiego kosmosu. Stacje ziemskie służby SRS, które nie zostały opisane w Zaleceniu ITU-R SA.1014 zazwyczaj wykorzystują inne technologie front-endu RF. Z reguły są one mniej podatne na nasycenie oraz uszkodzenie spowodowane niepożądanymi emisjami służby EESS (aktywnej).

Dodatek 2

Techniki osłabiania stosowane w służbie SRS do redukcji niepożądanych emisji w zakresach częstotliwości 8 400-8 450 MHz oraz 8 450-8 500 MHz pochodzących od systemów służby EESS (aktywnej) działających wokół częstotliwości 9 600 MHz

Niniejszy dodatek prezentuje obliczenia teoretycznych wartości emisji niepożądanych pochodzących od systemów służby EESS (aktywnej) pracujących wokół częstotliwości 9 600 MHz, z wykorzystaniem parametrów dla SAR-1, SAR-2 oraz SAR-3 pochodzących z Zalecenia ITU-R RS.2043. Omówione są niektóre techniki osłabiania (mitigation techniques) stosowane do redukcji niepożądanych emisji pochodzących od systemów służby EESS (aktywnej) w zakresie częstotliwości służby SRS dalekiego kosmosu 8 400-8 450 MHz oraz w zakresie częstotliwości służby SRS 8 450-8 500 MHz.

1 Ochrona łączu kosmos-Ziemia służby SRS

Zalecenie ITU-R SA.1157 podaje kryterium ochronne ziemskich stacji badań dalekiego kosmosu, które wynosi -221 dB(W/Hz) dla zakresu częstotliwości służby SRS 8 400-8 450 MHz. Obliczenia zakłóceń przy braku bezpośredniej widoczności z powodu propagacji pozahoryzontowej powinny bazować na statystyce pogody, która ma zastosowanie w 0,001% czasu. Zalecenie ITU-R SA.1157 podaje kryterium ochronne dla odbiorników w systemach służby SRS dalekiego kosmosu. Od zachowania zgodności z kryteriami ochronnymi tych elementów zależy powodzenie misji dalekiego kosmosu służby SRS. Szkodliwe zakłócenia podczas krytycznych zdarzeń misji, jak np. wprowadzania na orbitę, zbliżania do planet, oraz fazy „wejście i lądowanie”, mogą powodować potencjalnie utratę statku kosmicznego lub utratę niemożliwych do zastąpienia danych. Istnieją również inne krytyczne zdarzenia, takie jak jednorazowe obserwacje naukowe, gdzie statek kosmiczny przedostaje się przez atmosferę planety lub księżyca, lub gdy uderza w księżyc, planetę, asteroidę lub kometę. Statek kosmiczny może zostać zniszczony w wyniku tych działań. Dane transmitowane podczas podejścia lub chwilę przed nim oraz podczas uderzenia definiują sukces danej misji. W związku z tym, ochrona statku kosmicznego służby SRS dalekiego kosmosu oraz stacji ziemskich podczas krytycznych zdarzeń misji w zakresie wymaganym przez Zalecenie ITU-R SA.1157 jest kluczowa dla sukcesu misji służby SRS dalekiego kosmosu.

Ponadto, sytuacje awaryjne statków kosmicznych systemów dalekiego kosmosu powinny być uznawane za zdarzenia krytyczne.

Dodatkowo, Zalecenie ITU-R SA.609 podaje kryterium ochronne stacji ziemskich badań kosmosu wynoszące -216 dB (W/Hz) dla zakresu częstotliwości służby SRS 8 450-8 500 MHz. Dla misji bezałogowych, takich jak misje Lagrange'a oraz księżycowe, obliczenie zakłóceń mogących występować w wyniku efektów atmosferycznych i opadów powinny bazować na statystyce pogody dla 0,1% czasu.

2 Charakterystyki systemów służby EESS (aktywnej) pracujących wokół częstotliwości 9 600 MHz

Zakres częstotliwości 9 300-9 900 MHz, zazwyczaj określany jako pasmo służby EESS (aktywnej) 9 600 MHz, jest wykorzystywany przez systemy SAR. Zalecenie ITU-R RS.2043 podaje charakterystyki trzech systemów SAR działających w tym zakresie.

TABELA A2-1
Charakterystyki systemów SAR-1, SAR-2 oraz SAR-3

Parametr	SAR-1	SAR-2	SAR-3
Wysokość orbity (km)	400	619	506
Inklinacja orbity (stopnie)	57	98	98
Częstotliwość środkowa RF (GHz)	9,6	9,6	9,6
Szczytowa moc wypromieniowana (W)	1 500	5 000	25 000
Modulacja impulsowa	Liniowy świergot FM	Liniowy świergot FM	Liniowy świergot FM
Szerokość pasma świergotu /chirp/ (MHz)	10	400	450
Czas trwania impulsu (μ s)	33,8	10-80	1-10
Częstotliwość powtarzania impulsu (pps)	1 736	2 000-4 500	410-515
Współczynnik wypełnienia (%)	5,9	2,0-28,0	0,04-0,5
Współczynnik kompresji zakresu	338	< 12 000	450-4 500
Typ anteny	Falowód szczelinowy	Szyk planarny	Planarny szyk fazowany
Szczytowy zysk anteny (dBi)	44,0	44,0-46,0	39,5-42,5
e.i.r.p. (dBW)	75,8	83,0	83,5-88,5
Odchylenie anteny od kierunku nadir	Od 20° do 55°	34°	Od 20° do 44°
Szerokość wiązki anteny	5,5° (El) 0,14° (Az)	1,6-2,3° (El) 0,3° (Az)	1,1-2,3° (El) 1,15° (Az)
Polaryzacja anteny	Liniowa pionowa	Liniowa HH lub VV	Liniowa pozioma/pionowa
Temperatura szumowa systemu (K)	551	500	600

3 Niepożądane emisje systemów służby EESS (aktywnej) w zakresie częstotliwości 8 400-8 500 MHz

Teoretyczne poziomy niepożądanych emisji trzech systemów SAR opisanych w tabeli A2-1 w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz są podane w tabeli A2-2. Zakłada się, że liniowe systemy SAR FM (LFM) mają czas narastania 10 ns i czas opadania 10 ns z przebiegami trapezoidalnymi. Czasy trwania impulsów dla systemów SAR-2 oraz SAR-3 wynoszą odpowiednio 10 μ s oraz 1 μ s. Zysk anteny stacji ziemskiej służby SRS dalekiego kosmosu wynosi 74 dBi.

TABELA A2-2

Niepożądane emisje pochodzące od SAR-1, SAR-2 oraz SAR-3 w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz

Parametr	SAR-1	SAR-2	SAR-3
e.i.r.p. (dBW)	76	83	86
Szerokość pasma (MHz)	10	400	450
Minimalny zasięg odchylenia /slant range/ (km)	424	654	536
Tłumienie w przestrzeni kosmicznej (dB)	-164	-167	-166
Szczytowy zysk anteny odbiornika (dBi)	74	74	74
Straty polaryzacyjne (dB)	-3	-3	-3
Spadek widmowy /spectral roll-off/ (dB)	-109	-86	-78
PSD zakłóceń odbiornika (dB(W/Hz))	-196	-185	-174
Kryterium ochronne dalekiego kosmosu (dB(W/Hz))	-221	-221	-221
Przekroczenie kryterium ochronnego (dB)	25	36	47

Tabela A2-2 pokazuje, że niepożądane emisje systemów SAR-1, SAR-2 oraz SAR-3 wykraczają poza kryterium ochronne dalekiego kosmosu o 25-47 dB. Niepożądane emisje systemów SAR są obliczane na podstawie teoretycznego współczynnika opadania (roll-off) sygnałów SAR. Możliwe są większe wartości emisji niepożądanych, jeśli systemy służby EESS (aktywnej) zawierają komponenty takie jak wzmacniacze mocy o wysokiej efektywności działające w trybach nasycenia. Obliczenia niepożądanych emisji systemów SAR z użyciem Dodatku 8 do Zalecenia ITU-R SM.1541 skutkują większymi wartościami emisji pożądaney, a w konsekwencji większymi zakłóceniami łączy dalekiego kosmosu kosmos-Ziemia w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz. Do obliczenia poziomów tłumienia potrzebnych do ochrony operacji służby SRS (dalekiego kosmosu) oraz do ochrony odbiorników służby SRS przed uszkodzeniami, zamiast wartości teoretycznych należy stosować wartości niepożądanych emisji sprzętu służby EESS (aktywnej).

Poziom niepożądanych emisji na częstotliwościach z zakresu 8 450-8 500 MHz byłby nawet wyższy z powodu zmniejszonej separacji częstotliwościowej. Chociaż badania wykazują, że w przedmiotowym zakresie nie powinny wystąpić żadne szkodliwe zakłócenia, istnieje ryzyko nasycenia i uszkodzenia odbiorników stacji ziemskich w wypadku bezpośredniej iluminacji, co wymaga zastosowania specyficznych technik osłabiania w tym zakresie częstotliwości.

4 Techniki osłabiania

W niniejszej sekcji opisanych zostało kilka technik osłabiania zakłóceń (mitigation techniques). Potencjalne zakłócenia powodowane przez niepożądane emisje systemów służby EESS (aktywnej) mogą być zmniejszone przy użyciu jednej lub kombinacji kilku opisanych technik. Zazwyczaj trzy pierwsze techniki, tj. kształtowanie impulsu, ustawienie kierunku anteny i filtrowanie, mogą znacząco zmniejszyć niepożądane emisje systemów służby EESS (aktywnej).

4.1 Kształtowanie impulsu

Kształtowanie impulsu zmienia obwiednię impulsów świergotu LFM w celu zmniejszenia niepożądanych emisji radaru. W porównaniu z systemem LFM o czasie narastania 10 ns i czasie opadania 10 ns, kształtowanie impulsów z przebiegami trapezoidalnymi i przebiegami o charakterystyce podniesionego cosinusa o czasie narastania 100 ns i czasie opadania 100 ns może teoretycznie zmniejszyć niepożądane emisje radarów LFM o wartość od około 17 dB do 26 dB. Tabela A2-3 pokazuje, że przebieg trapezoidalny o czasie narastania 100 ns i czasie opadania 100 ns

może zmniejszyć niepożądane emisje systemu SAR-1 do wartości poniżej poziomu ochrony służby SRS dalekiego kosmosu, aczkolwiek niepożądane emisje od SAR-2 oraz SAR-3 nadal będą przekraczać wspomniany poziom ochrony. Przy kształtowaniu impulsu z zastosowaniem filtru o charakterystyce podniesionego cosinusa, niepożądane emisje wszystkich trzech systemów SAR znajdują się poniżej kryterium ochronnego. Należy zauważyć, że niedoskonałości i nieliniowości różnych komponentów w łańcuchu transmisji służby EESS (aktywnej) najprawdopodobniej zwiększą niepożądane emisje.

TABELA A2-3

Niepożądane emisje służby EESS (aktywnej) z przebiegiem trapezoidalnym o czasach narastania i opadania 100 ns w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz

Parametr	SAR-1	SAR-2	SAR-3
e.i.r.p. (dBW)	76	83	86
Szerokość pasma (MHz)	10	400	450
Minimalny zasięg odchylenia /slant range/ (km)	424	654	536
Tłumienie w przestrzeni kosmicznej (dB)	-164	-167	-166
Szczytowy zysk anteny odbiornika (dBi)	74	74	74
Straty polaryzacyjne (dB)	-3	-3	-3
Spadek widmowy /spectral roll-off/ (dB)	-135	-106	-95
PSD zakłóceń odbiornika (dB(W/Hz))	-222	-205	-191
Kryterium ochronne dalekiego kosmosu (dB(W/Hz))	-221	-221	-221
Przekroczenie kryterium ochronnego (dB)	-1	16	30

TABELA A2-4

Niepożądane emisje służby EESS (aktywnej) z przebiegiem o charakterystyce podniesionego cosinusa o czasach narastania i opadania 100 ns w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz

Parametr	SAR-1	SAR-2	SAR-3
e.i.r.p. (dBW)	76	83	86
Szerokość pasma (MHz)	10	400	450
Minimalny zasięg odchylenia /slant range/ (km)	424	654	536
Tłumienie w przestrzeni kosmicznej (dB)	-164	-167	-166
Szczytowy zysk anteny odbiornika (dBi)	74	74	74
Straty polaryzacyjne (dB)	-3	-3	-3
Spadek widmowy /spectral roll-off/ (dB)	-168	-147	-137
PSD zakłóceń odbiornika (dB(W/Hz))	-255	-246	-233
Kryterium ochronne dalekiego kosmosu (dB(W/Hz))	-221	-221	-221
Przekroczenie kryterium ochronnego (dB)	-34	-25	-12

4.2 Ustawienie kierunku anteny

Wszystkie trzy systemy SAR opisane w Raporcie ITU-R RS.2094 mają wysoce kierunkowe anteny. Przykładowo, szczytowy zysk anteny systemu SAR-2 zawiera się w przedziale od 43 dBi do 46 dBi. Charakterystyka anteny cechuje się gwałtownym opadaniem do wartości -3 dBi w kierunku horyzontalnym (lub azymutalnym). Jeśli SAR-2 może skierować antenę z daleka od stacji ziemskich

służby SRS w taki sposób, aby zysk anteny w kierunku stacji ziemskich służby SRS wynosił -3 dBi, wówczas niepożądane emisje systemu SAR-2 mogą być zmniejszone o 46 do 49 dB. Podobna technika będzie skuteczna również w przypadku systemów SAR-1 oraz SAR-3.

4.3 Filtrowanie

Zależnie od implementacji systemów służby EESS (aktywnej), filtry transmisyjne oraz falowody ze stromym opadaniem pracujące poniżej pasma służby EESS (aktywnej) mogą być zaimplementowane w celu ograniczenia niepożądanych emisji tych systemów. Techniki filtrowania zostały z powodzeniem wdrożone w łączach kosmos-Ziemia służby EESS w zakresie częstotliwości 8 025-8 400 MHz w celu zmniejszenia niepożądanych emisji łączy kosmos-Ziemia służby EESS o 40 dB i więcej w zakresie częstotliwości 8 400-8 450 MHz.

Systemy SAR mogą używać fazowanych szyków anten, które składają się z setek modułów nadawczych i odbiorczych (TR), włącznie ze wzmacniaczami wysokiej mocy. Jakikolwiek filtrowanie wyjściowe musiałoby zostać zastosowane względem członów wysokiej mocy tych modułów i, w konsekwencji, zwiększona zostałaby złożoność systemu, koszty, a także straty wydajności radaru.

Jednak, jeśli zachodzi taka potrzeba, odpowiedni filtr zaporowy (notch) może zostać dodany do łańcucha transmisyjnego w celu słumienia w jak największym stopniu niepożądanych emisji SAR, w paśmie o ograniczonej szerokości.

4.4 Wybór zakresu przemieszczania i szerokości impulsu

Widmowy spadek (roll-off) niepożądanych emisji dla radaru LFM jest funkcją dwóch parametrów: zakresu przemieszczania częstotliwości oraz szerokości impulsu sygnału świergotowego (chirp) LFM. Niepożądane emisje zwiększają się wraz ze wzrostem zakresu przemieszczania świergotu. Zwiększają się one również wraz ze spadkiem szerokości impulsu sygnału świergotowego. Operator służby EESS (aktywnej) może być w stanie dokonać zmiany zakresu przemieszczania i czasu trwania impulsu radaru w celu zmniejszenia niepożądanych emisji, szczególnie jeśli antena służby EESS (aktywnej) jest skierowana niedaleko ziemskiej stacji służby SRS dalekiego kosmosu. Wydajność tych technik jest ograniczona. Mogą one zmniejszyć niepożądane emisje systemu służby EESS (aktywnej) jedynie o kilka decybeli.

4.5 Separacja geograficzna

Zmniejszenie zakłóceń od systemów służby EESS (aktywnej) możliwe jest również w wyniku zastosowania separacji geograficznej. Systemy służby EESS (aktywnej) mogą utrzymać minimalny zasięg odchylenia od stacji ziemskiej służby SRS, wykorzystując informacje z Zalecenia ITU-R SA.1014 w celu utrzymania minimalnego tłumienia w wolnej przestrzeni, powodując w ten sposób powstanie strefy wykluczenia. W ekstremalnym przypadku, systemy służby EESS (aktywnej) mogą wstrzymać się od transmisji w przypadku, gdy występuje linia bezpośredniej widoczności pomiędzy systemami służby EESS (aktywnej) i jedną ze stacji ziemskich służby SRS.

ZALECENIE ITU-R RS.2066-0

Ochrona służby radioastronomicznej w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz przed niepożądanymi emisjami pochodzącymi od radarów z syntetyczną aperturą pracujących w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnej) wokół częstotliwości 9 600 MHz

(2014)

Zakres

Niniejsze zalecenie prezentuje procedurę operacyjną unikania sprzężenia się głównych wiązek pomiędzy systemami SAR-4 pracującymi w służbie satelitarnych badań Ziemi (EESS) (aktywnej) podczas transmisji wokół częstotliwości 9 600 MHz i stacjami służby radioastronomicznej (RAS) prowadzącymi obserwacje w zakresie 10,6-10,7 GHz, która to procedura ma na celu ochronę czułego wzmacniacza niskoszumnego RAS przed uszkodzeniem.

Słowa kluczowe

EESS (aktywna), RAS, ograniczanie (*mitigation*)

Skróty / Słowniczek

SAR Synthetic Aperture Radar - radar z syntetyczną aperturą

Powiązane Zalecenia/Sprawozdania ITU

Zalecenie ITU-R RS.2043	Charakterystyki radarów z syntetyczną aperturą pracujących w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnej) wokół częstotliwości 9 600 MHz
Sprawozdanie ITU-R RA.2188	Gęstości strumienia mocy i poziomy e.i.r.p. potencjalnie szkodliwe dla odbiorników radioastronomicznych
Sprawozdanie ITU-R RS.2274	Wymagania widmowe dla aplikacji radarów z syntetyczną aperturą zainstalowanych na pokładzie statków kosmicznych planowanych w ramach poszerzonej alokacji dla służby satelitarnych badań Ziemi wokół częstotliwości 9 600 MHz
Sprawozdanie ITU-R RS.2308	Kompatybilność radiowa emisji niepożądanych radarów z syntetyczną aperturą EESS w paśmie 9 GHz ze służbą satelitarnych badań Ziemi (pasywną), służbą badań kosmosu (pasywną), służbą badań kosmosu i służbą radioastronomiczną pracującymi w zakresach częstotliwości 8 400-8 500 MHz oraz 10,6-10,7 GHz, odpowiednio

Zgromadzenie Radiokomunikacyjne ITU,

zważywszy

- a) że zakres częstotliwości 9 300-9 800 MHz jest przeznaczony dla służby satelitarnych badań Ziemi EESS (aktywnej) na zasadzie pierwszej ważności;
- b) że zakres częstotliwości 9 800-9 900 MHz jest przeznaczony dla służby satelitarnych badań Ziemi EESS (aktywnej) na zasadzie drugiej ważności;
- c) że zakres częstotliwości 10,6-10,7 GHz jest przeznaczony dla służby radioastronomicznej RAS na zasadzie pierwszej ważności;

- d) że systemy służby EESS (aktywnej) korzystające z aktywnych radarów pracujących wokół częstotliwości 9 600 MHz wykorzystują emisję świergotową (chirp) o wysokiej mocy w kierunku kosmos-Ziemia;
- e) że stacje radioastronomiczne pracujące w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz wykorzystują wzmacniacze niskoszumne o niezwykle wysokiej czułości;
- f) że Raport ITU-R RA.2188 podaje gęstości strumienia mocy i poziomy e.i.r.p., które potencjalnie mogą uszkodzić wzmacniacze niskoszumne / układy wejściowe (front-endy) stosowane w służbie RAS;
- g) że poziom interferencji odbieranych przez stacje służby RAS pochodzących od emisji systemów służby EESS (aktywnej) może – w rzadkich przypadkach sprzęgania się głównych wiązek – osiągnąć lub przekroczyć poziomy krytyczne podane w Raporcie ITU-R RA.2188,

zaleca

1 aby w celu zapewnienia kompatybilności radarów SAR służby EESS ze stacjami służby RAS, systemy SAR służby EESS pracujące wokół częstotliwości 9 600 MHz unikały w jak największym stopniu oświetlania obszaru wokół stacji radioastronomicznych. Wielkość takiego obszaru jest zdefiniowana w dodatku 1. Dodatek 2 zawiera wykaz stacji RAS, które są zdolne do pracy w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz i które mogą wykonywać obserwacje podczas okresów oświetlania;

2 aby w przypadku, gdy warunki, o których mowa w punkcie *zaleca 1*, nie zostały spełnione, operator systemu SAR służby EESS skontaktował się z operatorem danej stacji radioastronomicznej co najmniej siedem dni przed zdarzeniem w ramach rutynowych operacji SAR służby EESS i co najmniej 24 godziny w przypadku wykonywania zdjęć z wykorzystaniem SAR służby EESS w sytuacjach nadzwyczajnych, takich jak zarządzanie kryzysowe, w celu koordynacji i – w razie konieczności – uzgodnienia działań osłabiających (mitigation) lub innych środków zapobiegawczych.

Dodatek 1

Wyznaczenie obszaru ochronnego wokół stacji RAS

Kontur wiązki emisji odpowiadający marginesowi wyznaczonego w wyniku zastosowania Zalecenia ITU-R RA.2188 definiuje strefę uszkodzeń w przypadku potencjalnego sprzężenia głównych wiązek promieniowania obu anten. Kontur taki ma kształt elipsy o wielkiej osi $\delta\theta_h$ w kierunku poziomym wiązki oraz o małej osi $\delta\theta_v$ w kierunku pionowym wiązki, i wyznacza on w ten sposób obszar, w którym poziom mocy przy stacji RAS przekraczałby wartość -18 dBW. Rzut na powierzchnię Ziemi wyznacza wymiar obszaru rozszerzonego o $\pm\delta h$ w kierunku poziomym oraz o $\pm\delta v$ w kierunku pionowym wokół stacji radioastronomicznej, która powinna być chroniona. W tabeli 1 podano zakres parametrów pozwalających na uniknięcie przypadkowego uszkodzenia odbiornika RAS¹ o średnicy anteny 100 m w odniesieniu do SAR-4, jak opisano w Zaleceniu ITU-R RS.2043.

¹ W kierunku pionowym występuje asymetria wynosząca 5,6% dla $\delta\theta_v$ oraz δv pomiędzy wewnętrznymi i zewnętrznymi kątami przesunięcia (off-set angles) oraz odległościami, która to asymetria została pominięta. Podano jedynie większą wartość zewnętrzną. Odwzorowania konturów marginesu, będących zniekształconymi elipsami, były aproksymowane prostokątami.

TABELA 1

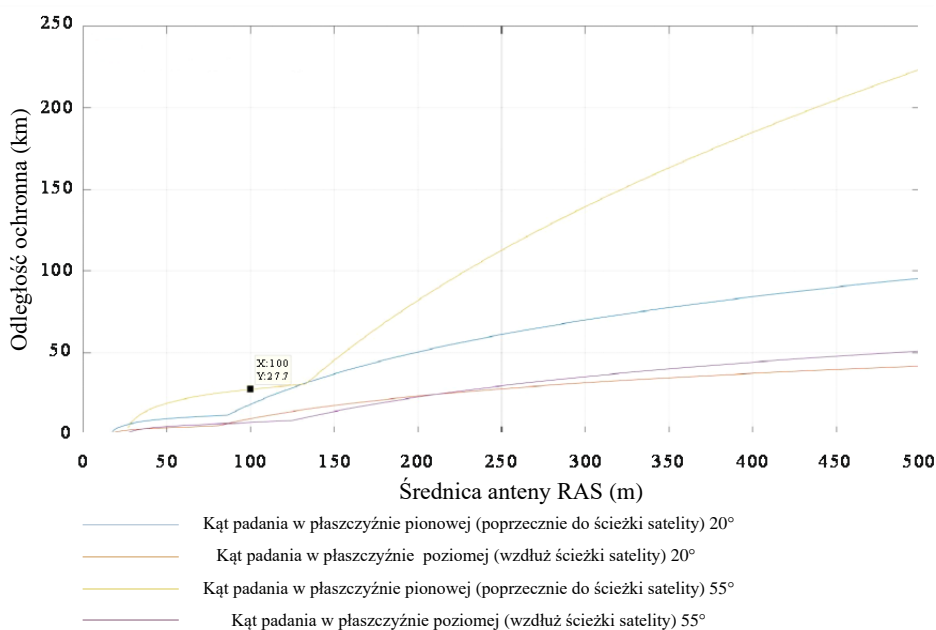
Parametry dla uniknięcia przypadkowego uszkodzenia odbiorników RAS

Kąt padania Φ	Kąt przesunięcia poziomego $\delta\theta_h$	Kąt przesunięcia pionowego $\delta\theta_v$	Separacja pozioma (km) δh	Separacja pionowa (km) δv
20°	1,02°	1,8°	9,6	18,2
55°	0,5°	1,1°	7,4	28,1

Rysunek 1 określa wielkość obszaru wokół stacji RAS, która ma być chroniona, w zależności od średnicy anteny RAS oraz kąta padania. Można zauważyć, że nie ma ograniczeń dla stacji RAS o średnicy anteny mniejszej niż 17 m, a maksymalna odległość separacji od stacji RAS wynosi 28 km dla większości stacji RAS.

RYSUNEK 1

Wielkość obszaru wokół stacji RAS, które mają być chronione, przy założeniu charakterystyk EESS SAR-4



RS.2066-0

Uogólniając, dla danego kąta padania i , odległość pomiędzy SAR satelity a obszarem akwizycji jest określona zależnością:

$$d = \sqrt{(r + h)^2 - r^2 * \sin^2(i)} - r * \cos(i)$$

gdzie:

- r : promień Ziemi (km)
- i : kąt padania (°)
- h : wysokość SAR (km).

Odpowiedni kąt pomiędzy nadirem a obszarem akwizycji w płaszczyźnie pionowej jest określony przez:

$$\theta_v = \text{asin}\left(\frac{r * \sin(i)}{r + h}\right)$$

gdzie:

- r : promień Ziemi (km)
- i : kąt padania (°)

h : wysokość SAR (km).

Maksymalny zysk anteny RAS można wyprowadzić, znając średnicę anteny oraz częstotliwość, przy wykorzystaniu następującego wzoru:

$$G_r = 8,9 + 20 \lg(\pi D f)$$

gdzie:

D : średnica anteny RAS (m)
 f : częstotliwość (GHz).

Na bazie tych wartości, wartość graniczna zysku anteny SAR, która pozwala zapewnić moc odebraną nieprzekraczającą wartości granicznej -18 dBW, jest określona przez:

$$G_e = Pr_{limit} + L_p - G_r - P_e$$

gdzie:

Pr_{limit} : moc odebrana, która nie może zostać przekroczona (-18 dBW poniżej 20 GHz)
 L_p : tłumienie w wolnej przestrzeni (dB)
 G_r : maksymalny zysk anteny RAS (dBi)
 P_e : moc szczytowa SAR (dBW).

Wykorzystując poziomą i pionową charakterystykę promieniowania anteny SAR, możliwe jest określenie odpowiednich kątów przesunięcia $\delta\theta_h$ oraz $\delta\theta_v$. W oparciu o te kąty można wyznaczyć poziomą i pionową odległość separacji δh oraz δv .

$$\delta h = r * \arcsin\left(\frac{d \operatorname{tg}(\delta\theta_h)}{r}\right)$$

gdzie:

r : promień Ziemi (km)
 d : zakres odchylenia (slant range) (km)
 $\delta\theta_h$: kąt przesunięcia poziomego ($^\circ$).

Zakres odchylenia pomiędzy satelitą a stacją RAS pozwalający na nieprzekroczenie wartości granicznej mocy odebranej jest określony przez:

$$d + \delta d = (r + h) \cos(\theta_v + \delta\theta_v) - \sqrt{r^2 - (r + h)^2 \sin^2(\theta_v + \delta\theta_v)}$$

gdzie:

r : promień Ziemi (km)
 d : zakres odchylenia pomiędzy satelitą a obszarem akwizycji (km)
 h : wysokość SAR satelity (km)
 θ_v : kąt pomiędzy nadirem a obszarem akwizycji w płaszczyźnie pionowej ($^\circ$)
 $\delta\theta_v$: kąt przesunięcia pionowego ($^\circ$).

Można również wyznaczyć pionową odległość separacji δv :

$$\delta v = r \left(\arcsin\left(\frac{(d + \delta d)}{r} \sin(\theta_v + \delta\theta_v)\right) - \arcsin\left(\frac{d}{r} \sin(\theta_v)\right) \right)$$

gdzie:

r : promień Ziemi (km)
 d : zakres odchylenia pomiędzy satelitą a obszarem akwizycji (km)
 $d + \delta d$: zakres odchylenia pomiędzy satelitą a stacją RAS (km)
 θ_v : kąt pomiędzy nadirem a obszarem akwizycji w płaszczyźnie pionowej ($^\circ$)
 $\delta\theta_v$: kąt przesunięcia pionowego ($^\circ$).

Dodatek 2**Wykaz stacji radioastronomicznych pracujących w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz
Region 1**

Kraj	Nazwa	Szerokość geograficzna północna (N)	Długość geograficzna wschodnia (E)	Rozmiar anteny (m)
Belgia	Humain	50° 11' 30"	05° 15' 27"	4
Finlandia	Metsähovi	60° 13' 04"	24° 23' 37"	13,7
Niemcy	Effelsberg	50° 31' 29"	06° 53' 03"	100
	Stockert	50° 34' 10"	06° 43' 19 "	10
	Wettzell	49° 08' 41"	12° 52' 40"	20; 13,2
Włochy	Medicina	44° 31' 14"	11° 38' 49"	32
	Noto	36° 52' 33"	14° 59' 20"	32
	Sardinia	39° 29' 34"	09° 14' 42"	64
Łotwa	Ventspils	57° 33' 12"	21° 51' 17"	32
Norwegia	Ny Ålesund	78° 55' 45"	11° 52' 15"	20
Portugalia	Flores	38° 31' 12"	-31° 07' 48"	13
	Santa Maria	36° 58' 12"	-25° 10' 12"	13
Rosja	Badari	51° 45' 27"	102° 13' 16"	32
	Kaliazyn	57° 13' 29"	37° 54' 01"	64
	Pushchino	54° 49' 20"	37° 37' 53"	22
	Svetloe	61° 05' 00"	29° 46' 54"	32
	Zelenchukskaya	43° 49' 34"	41° 35' 12"	32
Południowa Afryka	Hartebeesthoek	-25° 52' 48"	-27° 40' 48"	64
	MeerKAT	-30° 43' 16"	21° 24' 40"	64 anteny po 13,5
Hiszpania	Robledo	40° 25' 38"	-04° 14' 57"	70,34
	Tenerife	28° 30' 00"	-16° 30' 00"	12
	Yebes	40° 31' 27"	-03° 05' 22"	40
Szwecja	Onsala	57° 23' 45"	11° 55' 35"	20
	Onsala	57° 23' 35"	11° 55' 04"	2 anteny po 12
Szwajcaria	Bleien	47° 20' 26"	08° 06' 44"	5
Turcja	Kayseri	38° 59' 45"	36° 17' 58"	5
Wielka Brytania	Merlin Cambridge (mean)	52° 10' 01"	00° 03' 08"	32
	Merlin Knockin	52° 47' 25"	-02° 59' 50"	25
	Merlin Darnhall	53° 09' 23"	-02° 32' 09"	25
	Merlin Jodrell Bank (mean)	53° 14' 07"	-02° 18' 23"	64
	Merlin Pickmere	53° 17' 19"	-02° 26' 44"	25

Wykaz stacji radioastronomicznych pracujących w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz
Region 2

Kraj	Nazwa	Szerokość geograficzna północna (N)	Długość geograficzna wschodnia (E)	Rozmiar anteny (m)
Brazylia	Itapetinga	-23° 11' 05"	-46° 33' 28"	14
Kanada	Algonquin Radio Obsy	45° 57' 19"	-78° 04' 23"	3,7 i 9,1
USA	Arecibo	18° 20' 39"	-66° 45' 10"	305
	GGAO Greenbelt	39° 06' 00"	-76° 29' 24"	12
	Green Bank Telescope	38° 25' 59"	-79° 50' 23"	100
	Haystack	42° 36' 36"	-71° 28' 12"	18
	Kokee Park	22° 07' 34"	-159° 39' 54"	20
	Jansky VLA	33° 58' 22" do 34° 14' 56"	-107° 24' 40" do -107° 48' 22"	27 anten po 25
	VLBA Brewster, WA	48° 07' 52"	-119° 41' 00"	25
	VLBA Fort Davis, TX	30° 38' 06"	-103° 56' 41"	25
	VLBA Hancock, NH	42° 56' 01"	-71° 59' 12"	25
	VLBA Kitt Peak, AZ	31° 57' 23"	-111° 36' 45"	25
	VLBA Los Alamos, NM	35° 46' 30"	-106° 14' 44"	25
	VLBA Mauna Kea, HI	19° 48' 05"	-155° 27' 20"	25
	VLBA North Liberty, IA	41° 46' 17"	-91° 34' 27"	25
	VLBA Owens Valley, CA	37° 13' 54"	-118° 16' 37"	40
	VLBA Pie Town, NM	34° 18' 04"	-108° 07' 09"	25
	VLBA St. Croix, VI	17° 45' 24"	-64° 35' 01"	25
Allen Telescope Array	40° 10' 44"	-119° 31' 53"	42 anteny po 6	
Goldstone	35° 25' 33"	-116° 53' 22"	70,3	

**Wykaz stacji radioastronomicznych pracujących w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz
Region 3**

Kraj	Nazwa	Szerokość geograficzna północna (N)	Długość geograficzna wschodnia (E)	Rozmiar anteny (m)
Australia	Parkes	-33° 00' 00"	148° 15' 44"	64
	Katherine	-14° 22' 32"	132° 09' 09"	12
	Mopra	-31° 16' 04"	149° 05' 58"	22
	ATCA (Narrabri)	-30° 59' 52"	149° 32' 56"	6 x 22
	Tidbinbilla	-35° 24' 18"	148° 58' 59"	70; 34
	Hobart (Mt. Pleasant)	-42° 48' 18"	147° 26' 21"	26
	Ceduna	-31° 52' 05"	133° 48' 37"	30
	Yarragadee	-29° 02' 47"	115° 20' 48"	12
Chiny	Miyun	40° 33' 29"	116° 58' 37"	50
	Sheshan	31° 05' 58"	121° 11' 59"	25
	Nanshan	43° 28' 16"	87° 10' 40"	25
	Tianma	31° 05' 13"	121° 09' 48"	65
	CSRH	42° 12' 31"	115° 14' 45"	60 x 2
	QTT	43° 36' 04"	89° 40' 57"	110
Japonia	Nobeyama	35° 56' 40"	138° 28' 21"	45
	VERA-Mizusawa	39° 08' 01"	141° 07' 57"	20; 10
	VERA-Iriki	31° 44' 52"	130° 26' 24"	20
	VERA-Ogasawara	27° 05' 31"	142° 13' 00"	20
	VERA-Ishigakijima	24° 24' 44"	124° 10' 16"	20
	Ishioka	36° 12' 31"	140° 13' 36"	13,2
	Kashima	35° 57' 21"	140° 39' 36"	34
	Usuda	36° 07' 57"	138° 21' 46"	64
	Nishi-Waseda	35° 42' 25"	139° 43' 20"	2,4 x 64
	Tomakomai	42° 40' 25"	141° 35' 48"	11
	Gifu	35° 28' 03"	136° 44' 14"	11
	Yamaguchi	34° 12' 58"	131° 33' 26"	32
	Tsukuba	36° 06' 11"	140° 05' 19"	32
Korea	KSWC (Jeju)	33° 42' 36"	126° 29' 26"	3
	SGOC (Sejong)	36° 31' 12"	127° 18' 00"	22
	K-SRBL	36° 24' 00"	127° 22' 12"	2 x 2
	KVN-Yonsei	37° 33' 55"	126° 56' 27"	21
	KVN-Ulsan	35° 32' 33"	129° 15' 04"	21
	KVN-Tamna	33° 17' 21"	126° 27' 37"	21
Nowa Zelandia	Warkworth	-36° 25' 59"	174° 39' 52"	30, 12

Wykaz odsyłaczy do postanowień normatywnych, w tym uwag i uchwał, do których zalecenia ITU-R są dodane przez odniesienie

Zalecenie ITU-R	Tytuł zalecenia	Postanowienia Regulaminu Radiokomunikacyjnego oraz uwagi zawierające odniesienia do zaleceń znajdujących się w tomie 4 Regulaminu Radiokomunikacyjnego
TF.460-6	Emisje wzorcowych sygnałów częstotliwości i czasu	Ust. 1.14 (za pośrednictwem Uchwały 655 (WRC-15))
M.476-5	Urządzenia do telegrafii dalekopisowej w służbie ruchomej morskiej	Ust. 19.83, 19.96A, 51.41
M.489-2	Parametry techniczne urządzeń do radiotelefonii VHF działających w służbie ruchomej morskiej w kanałach przy separacji międzykanałowej 25 kHz	Ust. 51.77, 52.231 , Załącznik 18 (<i>Uwagi ogólne e</i>)
M.492-6	Procedury operacyjne w zakresie użytkowania urządzeń do telegrafii dalekopisowej w służbie ruchomej morskiej	Ust. 56.2
P.525-2	Obliczanie tłumienia w wolnej przestrzeni	Uwaga 5.444B (za pośrednictwem Uchwały 748 (Rev.WRC-15))
P.526-13	Propagacja fal przez dyfrakcję	Uwaga 5.444B (za pośrednictwem Uchwały 748 (Rev.WRC-15))
M.541-10	Procedury operacyjne w zakresie użytkowania systemu cyfrowego selektywnego wywołania w służbie ruchomej morskiej	Ust. 51.35, 52.112, 52.149, 52.153, 54.2
M.585-7 (Dodatek 1)	Przydział i używanie numerów identyfikacyjnych w służbie ruchomej morskiej	Ust. 19.99, 19.102, 19.111
M.625-4	Urządzenia do telegrafii dalekopisowej wykorzystujące automatyczną identyfikację w służbie ruchomej morskiej	Ust. 19.83, 51.41
M.633-4	Parametry transmisji systemu satelitarnych ratunkowych radiolatarni lokalizacyjnych (satelitarnych EPIRB) działających poprzez system satelitarny w paśmie 406 MHz	Ust. 34.1
S.672-4	Charakterystyka promieniowania anteny satelitarnej stosowana jako cel projektowy w służbie stałej satelitarnej wykorzystującej satelity geostacjonarne	TABELA 22-2 (i ust. 22.5D.3), TABELA 22-3 (i ust. 22.5F.3)
M.690-3	Parametry techniczne ratunkowych radiolatarni lokalizacyjnych (EPIRB) działających na częstotliwościach nośnych 121.5 MHz i 243 MHz	Załącznik 15 (Tabela 15-2)
P.838-3	Specyficzny model tłumienia w deszczu stosowany w metodach prognozowania	Załącznik 30A (dodatek 3 § 2.2 etap 6)
M.1084-5	Tymczasowe rozwiązania mające na celu zwiększenie efektywności użytkowania zakresu częstotliwości 156–174 MHz przez stacje w służbie ruchomej morskiej	Załącznik 18 (UWAGA B) (przed tabelą)
SM.1138-2	Ustalanie niezbędnych szerokości pasma, w tym przykłady ich obliczania oraz powiązane przykłady dotyczące oznaczania emisji	Załącznik 1 (§ 1 i § 2)

Zalecenie ITU-R	Tytuł zalecenia	Postanowienia Regulaminu Radiokomunikacyjnego oraz uwagi zawierające odniesienia do zaleceń znajdujących się w tomie 4 Regulaminu Radiokomunikacyjnego
SA.1154-0	Postanowienia mające na celu ochronę służby badań kosmosu, służby operacji kosmicznych i służby satelitarnych badań Ziemi oraz ułatwienie współużytkowania ze służbą ruchomą w zakresach 2 025–2 110 MHz i 2 200–2 290 MHz	Uwaga 5.391
M.1171-0	Procedury dla radiotelefonii w służbie ruchomej morskiej	Ust. 52.192, 52.195, 52.213, 52.224, 52.234, 52.240, 57.1
M.1172-0	Różne skróty i sygnały stosowane w radiokomunikacji w służbie ruchomej morskiej	Ust. 19.48
M.1173-1	Parametry techniczne nadajników jednowstęgowych używanych w służbie ruchomej morskiej do celów radiotelefonii w zakresach pomiędzy 1 606,5 kHz (1 605 kHz Region 2) a 4 000 kHz i od 4 000 kHz do 27 500 kHz	Ust. 52.181, 52.229, Załącznik 17 (dodatek 1, część B, sekcja I § 2 i § 6)
M.1174-3	Parametry techniczne urządzeń wykorzystywanych do łączności pokładowej statków w zakresach częstotliwości pomiędzy 450 a 470 MHz	Uwagi 5.287, 5.288
M.1187-1	Metoda obliczania potencjalnie narażonego regionu dla sieci służby ruchomej satelitarnej w zakresie częstotliwości 1-3 GHz za pomocą orbit kołowych	Załącznik 4 (dodatek 2 pozycja C.11.b)
S.1256-0	Metoda określania maksymalnej zagregowanej gęstości strumienia mocy na orbicie geostacjonarnej w zakresie częstotliwości 6 700–7 075 MHz pochodzącej z łączy dosyłowych niegeostacjonarnych systemów satelitarnych w służbie ruchomej satelitarnej w kierunku kosmos-Ziemia	Ust. 22.5A
RS.1260-1	Możliwość współużytkowania między aktywnymi sensorami pokładowymi a innymi służbami w zakresie częstotliwości 420–470 MHz	Uwaga 5.279A
BO.1293-2	Maski ochronne i powiązane metody obliczania zakłócenia systemów radiodyfuzyjnych satelitarnych stosujących emisję cyfrową	Załącznik 30A (dodatek 3 § 3.3), Załącznik 30 (dodatek 5 § 3.4)
S.1340-0	Współużytkowanie łączy dosyłowych przez służbę ruchomą satelitarną i służbę radionawigacyjną lotniczą w kierunku Ziemia-kosmos w zakresie częstotliwości 15,4–15,7 GHz	Uwaga 5.511C
S.1428-1	Charakterystyki odniesienia promieniowania stacji ziemskiej w służbie stałej satelitarnej stosowane do oceny zakłóceń spowodowanych satelitami NGSO w zakresach częstotliwości pomiędzy 10,7 GHz a 30 GHz	TABELA 22-1A, TABELA 22-1B, TABELA 22-1C (i ust. 22.5C.6)
BO.1443-3	Charakterystyki odniesienia promieniowania anteny stacji ziemskiej w służbie radiodyfuzyjnej satelitarnej stosowane do oceny zakłóceń spowodowanych satelitami NGSO w zakresach częstotliwości objętych postanowieniami załącznika 30 do Regulaminu Radiokomunikacyjnego	TABELA 22-1D (i ust. 22.5C.11)

Zalecenie ITU-R	Tytuł zalecenia	Postanowienia Regulaminu Radiokomunikacyjnego oraz uwagi zawierające odniesienia do zaleceń znajdujących się w tomie 4 Regulaminu Radiokomunikacyjnego
M.1583-1	Obliczanie zakłóceń między niegeostacjonarnymi systemami służby ruchomej satelitarnej lub służby radionawigacyjnej satelitarnej a obserwatoriami radioastronomicznymi	Uwaga 5.443B (za pośrednictwem Uchwały 741 (Rev.WRC-15)), załącznik 4 dodatek 2 (pozycja A.17.b.3) (za pośrednictwem Uchwały 741 (Rev.WRC-15))
S.1586-1	Obliczanie poziomów emisji niepożądanych generowanych przez niegeostacjonarny system w służbie stałej satelitarnej w miejscach prowadzenia działań z zakresu radioastronomii stałej satelitarnej	Uwaga 5.551H
F.1613-0	Wymogi operacyjne i wymogi w zakresie uruchamiania stałych bezprzewodowych systemów dostępowych w służbie stałej w Regionie 3 w celu zapewnienia ochrony systemów w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i badań kosmosu (aktywnych) w zakresie częstotliwości 5 250–5 350 MHz	Uwaga 5.447E
RA.1631-0	Referencyjna charakterystyka promieniowania anteny radioastronomicznej stosowana podczas analiz kompatybilności systemów NGSO i stacji w służbie radioastronomicznej opartych na koncepcji epfd	Uwaga 5.208B (za pośrednictwem Uchwały 739 (Rev. WRC-15)), uwaga 5.443B (za pośrednictwem Uchwały 741 (Rev.WRC-15)), uwaga 5.551H , Uałącznik 4 dodatek 2 (pozycja A.17.b.3) (za pośrednictwem Uchwały 741 (Rev.WRC-15))
RS.1632-0	Współużytkowanie w zakresie częstotliwości 5 250–5 350 MHz przez służbę satelitarnych badań Ziemi (aktywnych) i bezprzewodowe systemy dostępowe (w tym lokalne sieci radiowe) w służbie ruchomej	Uwaga 5.447F
M.1638-0	Parametry i kryteria ochrony dla badań współużytkowania w odniesieniu do radarów radiolokalizacyjnych, radarów radionawigacji lotniczej i radarów meteorologicznych działających w zakresach częstotliwości pomiędzy 5 250 a 5 850 MHz	Uwaga 5.447F , 5.450A
M.1642-2	Metoda oceny maksymalnej zagregowanej zastępczej gęstości strumienia mocy na stacji w służbie radionawigacyjnej lotniczej pochodzącej ze wszystkich systemów służby radionawigacyjnej satelitarnej działających w zakresie częstotliwości 1 164–1 215 MHz	Uwaga 5.328A (za pośrednictwem Uchwały 609 (Rev. WRC-07))
M.1643-0	Wymogi techniczno-operacyjne dla ziemskich stacji statków powietrznych w służbie ruchomej lotniczej satelitarnej, obejmujące stacje, które wykorzystują transpondery działające w sieci służby stałej satelitarnej w zakresie częstotliwości 14–14,5 GHz (Ziemia-kosmos)	Uwaga 5.504B (w odniesieniu do dodatku 1, część C Zalecenia ITU-R M.1643), uwagi 5.504C , 5.508A i 5.509A (w odniesieniu do dodatku 1, część B Zalecenia ITU-R M.1643)

Zalecenie ITU-R	Tytuł zalecenia	Postanowienia Regulaminu Radiokomunikacyjnego oraz uwagi zawierające odniesienia do zaleceń znajdujących się w tomie 4 Regulaminu Radiokomunikacyjnego
M.1652-1 (dodatek 1)	Dynamiczny wybór częstotliwości w bezprzewodowych systemach dostępowych obejmujących lokalne sieci radiowe w celu ochrony służby radiolokacyjnej w zakresie częstotliwości 5 GHz	Uwaga 5.446A (za pośrednictwem Uchwały 229 (Rev.WRC-12))
M.1827-1	Wymogi techniczno-operacyjne dotyczące stacji w służbie ruchomej lotniczej (R) (AM(R)S) z ograniczeniem do zastosowań naziemnych na terenach portów lotniczych w zakresie częstotliwości 5 091–5 150 MHz	Uwaga 5.444B (za pośrednictwem Uchwały 748 (Rev.WRC-12))
M.2013-0	Parametry techniczne i kryteria ochrony systemów służby radionawigacyjnej lotniczej niepodlegających ICAO, które działają w paśmie częstotliwości ok. 1 GHz	Uwaga 5.327A (za pośrednictwem Uchwały 417 (Rev.WRC-15))
RS.2065-0	Ochrona łączy kosmos-Ziemia służby badań kosmosu w zakresach częstotliwości 8 400-8 450 MHz i 8 450-8 500 MHz przed niepożądaną emisją radarów z syntetyczną aperturą (SAR) pracujących w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnej) wokół częstotliwości 9 600 MHz	Uwaga 5.474C
RS.2066-0	Ochrona służby radioastronomicznej w zakresie częstotliwości 10,6-10,7 GHz przed niepożądanymi emisjami pochodzącymi od radarów z syntetyczną aperturą pracujących w służbie satelitarnych badań Ziemi (aktywnej) wokół częstotliwości 9 600 MHz	Uwaga 5.474B