

УДК 691.397

**ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ
НАЗЕМНОГО ЦИФРОВОГО ТЕЛЕВІЗІЙНОГО МОВЛЕННЯ ДРУГОГО
ПОКОЛІННЯ В УКРАЇНІ НА ЗАГАЛЬНОНАЦІОНАЛЬНОМУ,
РЕГІОНАЛЬНОМУ ТА ЛОКАЛЬНОМУ РІВНЯХ**

БАЛЯР В.Б., ГОФАЙЗЕН О.В.

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова
ДП "Український науково-дослідний інститут радіо та телебачення"

**TECHNICAL ASPECTS OF INTRODUCTION OF SECOND GENERATION
TERRESTRIAL DIGITAL TELEVISION BROADCASTING SYSTEMS IN UKRAINE
ON NATIONAL, REGIONAL AND LOCAL LEVELS**

BALYAR V.B., GOFAIZEN O.V.

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov
SE "Ukrainian scientific-research institute of radio and television"

***Анотація.** Висвітлено основні проблеми, які виникають під час переходу до цифрових технологій мовлення, запропоновано можливі технічні рішення для їх подолання, представлено результати обговорення запропонованих рішень на міжнародному рівні, проаналізовано особливості та можливості їх реалізації в Україні.*

***Annotation.** Basic problems, arising up at the time of transition to digital technologies of broadcasting, are lighted up, possible technical solutions are offered for their decision, the results of discussion of the offered solutions are presented on international level, features and possibilities of their realization in Ukraine are analysed.*

ВСТУП

Однією з значних проблем, які виникли під розгортання мереж цифрового телерадіомовлення, є проблема забезпечення передавання програм місцевих (регіональних) мовників та, відповідно, проблема регулювання використання розподіленого радіочастотного ресурсу. Досі ці проблеми в повному обсязі не вирішено, а це в подальшому в умовах переходу до цифрового мовлення буде певним чином обмежувати можливість загального доступу всіх верст населення до програм місцевого (регіонального) мовлення, що потребують отримання цих послуг. Тому важливим є знаходження шляхів щодо оптимального вирішення цієї технічної та соціальної проблеми.

Прогрес методів стиснення аудіовізуальної інформації призвів до того, що в одному частотному каналі 6, 7, 8 МГц можливо забезпечити передавання все більшої і більшої кількості програм. З одного боку, безумовно, це досить позитивна тенденція: це надає можливість виграшу обох сторін - як мовника, що ефективно використовує наданий йому частотний ресурс та розширює коло надаваних послуг практично без додаткових затрат, так і користувача - йому надають, в разі успішної реалізації, можливість отримання високоякісного контенту в будь-який момент, в будь-якому місцеположенні практично без обмежень. Однак є й інша сторона, на перший погляд не примітна - за такої кількості програм в одному частотному каналі в випадку, якщо один провайдер програмних послуг буде передавати програму, що є "занадто критичною" до стиснення й при цьому в намаганні забезпечити високу якість за формування мультимплексу виникне необхідність збільшення швидкості цифрового потоку - це призведе до того, що всім іншим програмам буде надано менше ємності в мультимплексі - та це може призвести до погіршення їх якості.

Це настановує до наступних висновків: передавання багатьох програм всередині одного мультимплексу створює проблему розподілення кожному з провайдерів програмної послуги певної частини ресурсу загального каналу, яку необхідно забезпечувати постійно. Інакше незаплановане зменшення ресурсу, призначеного для передавання програм одного провайдера, може призвести до зменшення якості чи іншим незручностей при спільному використанні багатьма провайдерами програмної послуги радіочастотного ресурсу.

Крім того, за переходу на цифрове мовлення виникають проблеми забезпечення доступу окре-

мих груп користувачів до програм локального мовлення. З цього приводу 24-25 квітня 2008 р. в Одесі на базі Одеської національної академії зв'язку ім. Попова відбулась Міжнародна науково-практична конференція "Проблеми впровадження цифрового мовлення на загальнонаціональному, регіональному та місцевому рівні", проведення якої ініційовано Незалежною Асоціацією телерадіомовників (НАМ). Специфіку переходу на цифрове мовлення невеликих телерадіоорганізацій (ТРО) та проблем, з якими вони зіштовхнуться у цей період розкрила Ольга Большакова, керівник Центру законодавчих ініціатив НАМ [1]. В результаті обговорення поточних проблем за переходу до цифрового мовлення створено Резолюцію Міжнародної науково-практичної конференції [2], в якій зазначено, що для місцевого мовлення вибір технології для забезпечення мовлення повинен здійснюватися з урахуванням специфічних умов конкретного регіону, технічних можливостей, доступного частотно-територіального ресурсу і інформаційних потреб населення та можливі наступні варіанти реалізації місцевого мовлення:

- застосування багатопрограмного мовлення в синхронних мережах з кодуванням сигналу, що дозволяє здійснювати доступ до програм мовлення на обмежених територіях;
- застосування багаточастотних мінімереж із застосуванням малопотужних передавачів для організації мовлення на локальному рівні;
- застосування НВЧ технологій для реалізації багатопрограмного мовлення;
- застосування кабельних коаксіальних і оптоволоконних мереж розподілу програм мовлення;
- застосування технологій ІР-мовлення.

Розгортання НВЧ-мереж в Україні відбувається дуже повільно та в основному в великих містах, що викликано рядом технічних, економічних та регуляторних факторів. Використання кабельних коаксіальних і оптоволоконних мереж розподілу програм мовлення та застосування технологій ІР-мовлення також не є універсальним виходом з ситуації, що склалась – в певних випадках, коли домогосподарства знаходяться на такій відстані одна від одної та відсутня достатньо розвинута кабельна мережа (а таких міст не мало в Україні), є економічно недоцільним використанням проводочних мереж розподілу. Користувач має затратити, в разі відсутності існуючої мережі, значні кошти – на розведення кабельного середовища, на придбання приймача, навіть, можливо, платити певну абонентську плату до такого розвитку мережі, коли тарифи на користування мережею знизяться.

Тому в більшості випадків найбільш прийнятним є розгортання в таких віддалених районах все ж таки мовленнєвих міні-мереж з малопотужними передавачами, що можливо будувати за закритою конфігурацією застосування спеціальних діаграм направленості передавальних антен. При цьому за застосування нових систем, що є більш гнучкими, можливо мінімізувати заваду сусіднім мережам та розширити коло послуг, надаваних ТРО.

Таким технічним рішенням, що може дозволити вирішити вищезгадані проблеми, є інтеграція всіх послуг (телевізійне, звукове мовлення, передавання даних, тощо) в межах однієї технології – на базі стандарту DVB-T2, світову стандартизацію вже розпочато за ініціативою авторів від імені Адміністрації зв'язку України.

Цей стандарт визначає технічні вимоги до системи, що є другим поколінням систем цифрового наземного телевізійного мовлення. Система за рахунок введення нових для систем цифрового телевізійного мовлення технологій організації каналного шару, каналного кодування та модуляції та інших нововведень забезпечує підвищення ефективності використання радіочастотного ресурсу на приблизно 50 % в порівнянні з системами цифрового наземного телевізійного мовлення першого покоління. Особливості тракту адаптації системи DVB-T2 до характеристик наземного каналу розглянуто в [3].

Ще однією важливою характеристикою, яка є досить важливою для можливого вирішення проблем локального та регіонального мовлення та регулювання якості зображення за умов передавання великої кількості програм в одному частотному каналі, є те, що в системі DVB-T2 забезпечено використання як стандартних значень ширини смуги частот каналу 6, 7 та 8 МГц, так і значення зменшеної ширини смуги частот каналу 1,7 МГц. Ця смуга є більш прийнятною для передавання контенту локальними мовниками та/чи деякої кількості програм, що є меншою в порівнянні з типовою конфігурацією.

За розробки системи DVB-T2 враховано всі особливості, які виникли за впровадження систем цифрового телевізійного мовлення першого покоління, та передбачено деякі додаткові можливості, яким не приділяли багато уваги раніш. Зокрема, це стосується проблем організації локального та ре-

гіонального мовлення за розгортання одночастотних мереж. В базовому стандарті визначено використання технологій, які дозволяють за визначеної організації мережі та певної побудови каналу підвищити ефективність та за масового її впровадження зменшити вартість надання послуг мовниками.

Що надає мовнику використання зменшеної смуги частот? Перш за все, це, можливо, створить технічну базу для вирішення проблеми забезпечення обмежених територій програмами локального мовлення. У разі використання системи DVB-T2 для такої мети завдяки гнучкості, яку забезпечено на етапі її розробляння, в сформованому мультиплексі певна частина радіочастотного спектру на протязі певного часу може бути використана для передавання необхідного контенту на необхідній території без значного порушення умов організації одночастотних мереж. До того ж, додатково може бути побудовано міні-мережу з використанням принципу багаточастотної мережі, яка буде містити один-два передавача, які будуть забезпечувати розподіл програм за принципом, що розглянуто вище. По-друге, в зв'язку з розвитком технологій доцільним є врахування цього за оцінювання вартості ліцензій. Адже при цьому може з'явитись ще один аспект, який необхідно враховувати за оцінювання вартості ліцензії – використовувана ширина смуги частот. При цьому за ширини частот одного мультиплекса 1,7 МГц собівартість використання однієї частки ресурсу буде значно меншою, ніж в випадку більших смуг частот – 6, 7 чи 8 МГц. Також необхідно враховувати, що мовником може використовуватись не частина смуги, а певний зріз лише на протязі певного відрізка часу. Це може викликати збільшення складності проведення розрахунку вартості ліцензії на мовлення, але така міра ускладнення є оправданим, бо це створює економічну та технічну базу для існування малих станцій.

Однак, впровадження будь-якої нової радіотехнології може бути здійснено лише за умов дотримання електромагнітної сумісності з іншими радіотехнологіями як в межах країни, так і поза нею. Це можливо забезпечити виключно дотриманням угод, які укладено на міжнародному рівні. Однією з таких угод є Угода GE-06, що регламентує технічні та регуляторні аспекти, яких мають дотримуватись країни, що здійснюють перехід до цифрових технологій мовлення. Угода GE-06 передбачає впровадження системи цифрового наземного телевізійного мовлення DVB-T в Діапазоні III з шириною смуги частот 7 МГц разом зі службами цифрового наземного звукового мовлення T-DAB.

В СЕРТ проведено дослідження щодо можливостей та результатів перетворення розподілень/присвоєнь системи DVB-T в Діапазоні III в розподілення/присвоєння T-DAB з оцінюванням величини завади за сусіднім каналом для обох систем. В результаті цих досліджень розроблено Звіт [4]. Висновки експертів СЕРТ з проведених досліджень є наступними: *“З урахуванням технічної гнучкості, розподілення DVB-T можуть бути перетворені з урахуванням рішень Угоди GE-06 в розподілення/присвоєння T-DAB без додаткових обмежень на величину завади та захист відповідних систем. Від введення в план системи DVB-T може виникнути завада сусідньому частотному блоку каналів в межах зон перекривання зон покриття сигналом служб T-DAB. Однак, це питання відносять виключено до питань, які розглядають на внутрішньонаціональному рівні та які можуть бути вирішені технічними рішеннями за розгляду конкретних випадків”*.

У відповідності до Угоди GE-06 будь-яка нова радіотехнологія може бути введена до Цифрового Плану за умови, що вона не створює значної завади технологіям, що вже використовують в межах Плану, та що вона не буде вимагати більшого захисту, ніж використовувані технології. Крім того, в залежності від використовуюваного діапазону частот характеристики спектру випромінювання нової технології має відповідати характеристикам спектру випромінювання технологій DVB-T чи T-DAB.

Додатково з цього приводу в [5] зазначено, що *“стаття 5.1.3 Угоди надає гнучкість в використанні Планів T-DAB чи DVB-T для альтернативних мовленнєвих застосовань. Технічні характеристики альтернативного застосовання має бути надано до ІТУ та визначено спектральну маску, що відповідає тим, що вже внесено до Плану, присвоєння має бути введено до головного міжнародного реєстру частот (MIFR) з повними правами, які надано до служб T-DAB чи DVB-T. Це може дозволити, наприклад, реалізувати використання присвоєння T-DAB для передавання сигналів телевізійного мовлення (T-DMB), присвоєння DVB-T використовувати для систем T-DAB, DVB-H, передавання сигналів ТБВЧ чи другого використання для систем мовлення, які можливо з'являться в майбутньому”*.

Безумовно, по відношенню до Угоди GE-06 систему DVB-T2 можливо розглядати як таке *“альтернативне мовленнєве застосовання”*. Крім того, враховуючи те, що в термінах частотного планування система DVB-T2 є сумісною з системою DVB-T, систему цифрового наземного телевізійного мовлення другого покоління може бути впроваджено без будь-яких обмежень з боку Угоди GE-06.

З вищезазначеного можливо зробити наступні висновки:

- на теперішній час європейська та міжнародна стандартизація системи DVB-T2 знаходиться

ся в активній фазі;

- деякі країни Європи та світу розглядають цю систему як основну для впровадження наземного телевізійного мовлення та, більш того, в певних країнах вже виділено певний частотний ресурс для її впровадження;

- система DVB-T2 є сумісною при проведенні частотного планування з впроваджуваною системою DVB-T;

- за впровадження в частотний план система DVB-T2 не буде потребувати в більшому захисті, ніж існуючі та впроваджені цифрові системи за рахунок використання більш потужних методів канального кодування та технологій, які дозволяють зменшити вплив завади від інших радіопристроїв.

Одним з важливіших аспектів, який не враховано до теперішнього часу, є те, що досі не визначено використання для систем цифрового наземного телевізійного мовлення значень ширини смуги частот каналу, що є відмінними від традиційно використовуваних значень для такого типу систем. На міжнародному рівні значення ширини частот та відповідні характеристики спектру (граничні частоти, величини згасання поза основною смугою частот, тощо), що їх можливо використовувати для систем цифрового наземного телевізійного мовлення визначає Рекомендація ITU-R BT.1206.

Для подолання розриву між нормативною базою та поточним розвитком технологій в жовтні 2008 року авторами від імені Адміністрації зв'язку України запропоновано розпочати дослідження щодо використання системи цифрового наземного телевізійного мовлення з шириною смуги частот 1,7 МГц та можливого включення граничних частот спектральних масок цієї системи в Рекомендацію ITU-R BT.1206 [6].

Для забезпечення сумісності цієї системи з існуючим частотним планом в випадку її впровадження в діапазоні III чи L-діапазоні, в цьому вкладі авторами від імені Адміністрації зв'язку України запропоновано використовувати спектральну маску для системи DVB-T2 з шириною смуги частот каналу 1,7 МГц, що відповідає спектральній масці для некритичного випадку, що її використовують в системі T-DAB [7].

Пізніше в 2011 році цю можливість підтверджено в звіті EBU TECH 3348 щодо аспектів частотного та мережного планування системи DVB-T2 [8]. Згідно цього звіту технічні характеристики системи DVB-T2 мають бути такими, щоб вони відповідали Угоді GE-06 в частині стандарту DVB-T. Це накладає певні обмеження на застосування певних конфігурацій системи DVB-T2. Так Рекомендація ITU-R BT.1877 визначає використання смуг частот 7 МГц та 8 МГц як сумісних з планом GE-06 та 1,7 МГц, як смугу частот, сумісну з частотним плануванням T-DAB. Проте конфігурація системи DVB-T2 при смузі частот 7 МГц з режимом розширеної кількості носійних коливань не сумісна з характеристиками, що їх передбачено для системи DVB-T при цій смузі частот. Такі ж самі висновки можливо зробити й для цілої низки конфігурацій системи DVB-T2. Варіанти конфігурацій, що можуть бути застосовані в рамках Угоди GE-06 при смузі частот каналу 1,7 МГц, відповідають тим, що їх надано в таблиці 1 [9].

Таблиця 1 – Варіанти конфігурації системи DVB-T2 з шириною смуги частот 1,7 МГц, сумісні з Угодою GE-06

Метод модуляції	Обсяг FFT	Швидкість коду	Захисний інтервал
ФМ-4	1k	1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6	1/16, 1/8, 1/4
КАМ-16	2k		1/32, 1/16, 1/8, 1/4
КАМ-64	4k		1/32, 1/16, 1/8, 1/4
КАМ-256	8k		1/128, 1/32, 1/16, 19/256, 1/8, 19/128, 1/4

Запропоновану спектральну маску для системи DVB-T2 в разі її впровадження в діапазоні III надано на рисунку 2.

Після представлення вкладу на засідання в травні 2009 року цю пропозицію України підтримано та включено до Звіту голови Робочої групи 6А [10]. В подальшому Робоча Група 6А представила проект перегляду Рекомендації (DRR) ITU-R BT.1206 для прийняття Дослідною Комісією 6 з метою подальшого надання статусу остаточного перегляду Рекомендації. Під час розглядання цієї Рекомендації було зазначено, що шаблони спектру, представлені в Рекомендації ITU-R SM.1541, та наданому проекті перегляду Рекомендації, не співпадають. Дослідна Комісія вирішила повернути проект перегляду

ляду Рекомендації до Робочої Групи 6А з зазначенням, що маски шаблони спектру має бути узгоджено з масками шаблонами спектру, що надано в Рекомендації ITU-R SM.1541 [11].

Авторами в рамках діяльності Робочої групи 6А в цьому напрямі проведено дослідження з шаблонів спектру, що надано в різних Рекомендаціях ITU-R. Під час досліджень виявлено, що існує певна різниця в полях допуску на спектр випромінювання, наведених в Рекомендаціях ITU-R щодо передавання сигналів цифрового наземного мовлення за різних значень ширини смуги частот каналу (6 МГц, 7 МГц та 8 МГц) та нормативних документах з існуючих систем цифрового наземного телевізійного мовлення.

Зокрема, як було вже зазначено раніш, Рекомендація ITU-R SM.1541 [14] з небажаних випромінювань поза основною смугою частот та Рекомендація ITU-R BT.1206 з полів допуску на спектр випромінювання для систем цифрового наземного телевізійного мовлення містять інформацію щодо шаблонів спектру, що не відповідають один одному. Крім того, шаблони спектру Рекомендації ITU-R BT.1206 не відповідають шаблонам спектру, наданим в базових стандартах на системи цифрового наземного телевізійного мовлення (ETSI EN 300 744/ ETSI EN 302 296). Результати порівняльного аналізу шаблонів спектру для систем цифрового наземного телевізійного мовлення, проведеного під час цих досліджень, надано на рисунку 3 [12].

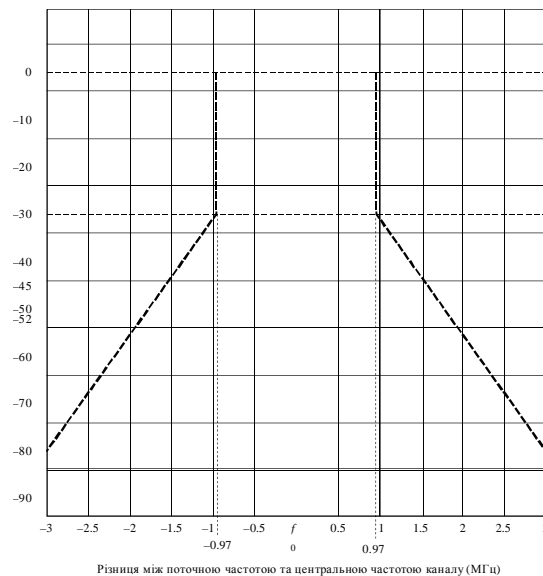


Рисунок 2 - Спектральна маска для передавачів ДВЧ, працюючих в некритичних випадках чи в діапазоні 1,5 ГГц

В результаті цього аналізу авторами від імені Адміністрації зв'язку України розроблено проект звернення Робочої групи 6А до Робочої групи 1А, що проводить дослідження в напрямку Рекомендації ITU-R SM.1541, та ETSI щодо пояснення стосовно цієї невідповідності чи пропозиції щодо гармонізації шаблонів спектру для систем наземного цифрового телевізійного мовлення. Діяльність в цьому напрямі продовжується.

ВИСНОВКИ

Цифровий прогрес став основною рисою сьогодення. Це стосується буквально всього, що нас оточує – відтворювальні пристрої, пристрої запису, вимірювальне обладнання, тощо. Стає цифровим і телевізійне мовлення. В процесі такого переходу має бути враховано інтереси всіх учасників мовленнєвого середовища, зокрема інтереси користувачів та мовників. Інакше це призведе до неприпустимих наслідків. Шляхи запобігання цього можуть бути досить різними. Один з них – технічний, побудований на основі використання результатів поточного прогресу технологій. Безумовно, без врахування регуляторних аспектів в цьому випадку також не обійтись, але в сукупності обидва ці фактори за наявності певної гнучкості можуть створити ту базу, що дозволить вирішити проблеми, які виникатимуть в процесі цього переходу.

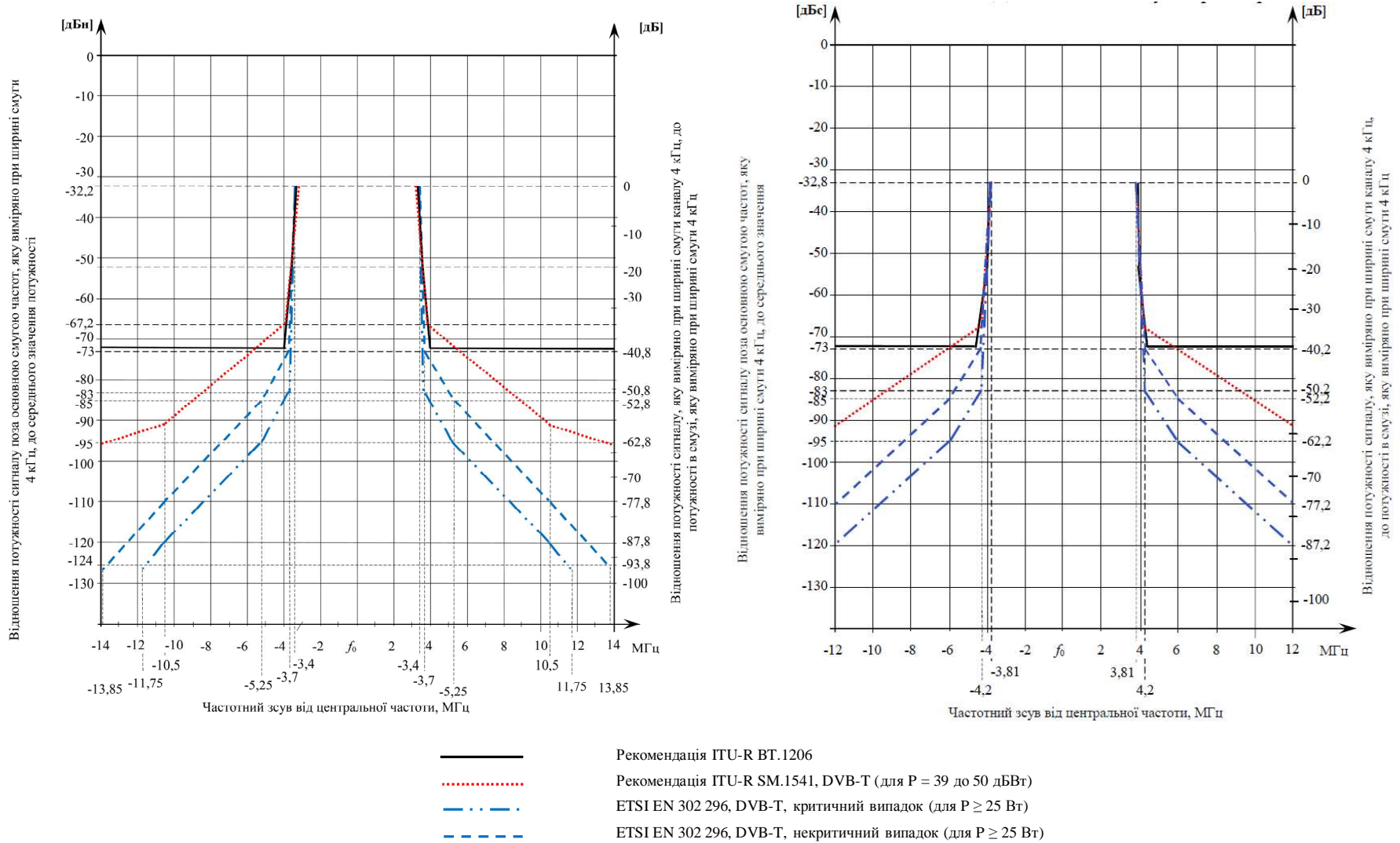


Рисунок 3 – Обмеження на позасмугове випромінювання для систем з шириною смуги частот каналу 7 МГц (а) та 8 МГц (б)

В процесі діяльності в напрямку досліджень, спрямованих на забезпечення ефективності використання радіочастотного ресурсу України при впровадженні перспективних радіотехнологій телевізійного, звукового та мультимедійного мовлення, в 2008 році авторами від імені Адміністрації зв'язку України ініційовано міжнародну стандартизацію в МСЕ системи цифрового наземного телевізійного мовлення другого покоління [13]. Результати поточного етапу діяльності в цьому напрямі надано в [14]. Але при цьому використання такого важливого технічного рішення, як ширина смуги частот 1,7 МГц в системах цифрового телевізійного мовлення, за існуючої в світі нормативної бази не може бути забезпечено в повній мірі. В зв'язку з цим розпочато відповідну діяльність, що є частиною досліджень, які проводять автори в напрямку систем цифрового телевізійного мовлення наступних поколінь, поточні результати якої надано в статті.

Отримані результати дозволять в певній мірі підвищити гнучкість систем цифрового наземного телевізійного мовлення в термінах забезпечуваної якості зображення, використовуваного частотного ресурсу, забезпечення ефективного використання якого є досить важливою проблемою на теперішній час в Україні, та може служити тією самою технічною базою, що, можливо, дозволить вирішити певні проблеми мовлення на різних рівнях в процесі переходу до цифрових технологій мовлення.

Перелік посилань

- 1 Большакова О.Ю. Проблеми впровадження цифрового мовлення на регіональному та місцевому рівні // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми впровадження цифрового мовлення на загальнонаціональному, регіональному та місцевому рівні”. – ОНАЗ ім. О.С. Попова, 24-25 липня 2008. – С. 13–16.
- 2 Проект Резолюції, виробленої учасниками одеської конференції з проблем впровадження цифрового мовлення: (Матеріали міжнародної науково-технічної конференції “Проблеми впровадження цифрового мовлення на загальнонаціональному, регіональному та місцевому рівні”) [Електронний ресурс] / Прес-центр Незалежної Асоціації телерадіомовників. – 2008. – Режим доступу до Резолюції: <http://www.nam.org.ua/>
- 3 Гофайзен О.В. Міжнародна стандартизація в МСЕ-Р системи наземного цифрового телевізійного мовлення другого покоління / О.В. Гофайзен, В.Б. Баляр // Технології цифрового мовлення: стратегія впровадження: міжнар. наук.-техн. конф. (DBT-2007), 25 – 26 червня 2009 р. : матеріали. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2009. – С. 15–34.
- 4 The possibilities and consequences of converting GE06 DVB-T allotments/Assignments in Band III into T-DAB ALLOTMENTS/assignments including adjacent channel issues: ECC REPORT 116: 2008. – Athens: Electronic Communications Committee (ECC) within the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT), 2008. – 15 p.
- 5 Flexibility and the Transition Period at RRC-06 (CEPT European Common Proposals). – 2006. - Режим доступу до документу: <http://www.anacom.pt/>.
- 6 Ukraine. Proposed modification of Recommendation ITU-R BT.1206 Spectrum shaping limits for digital terrestrial television broadcasting: Document 6A/120, Annex 5 to Working Party 6A Chairman's Report: 2008. – 23 p.
- 7 Systems for terrestrial digital sound broadcasting to vehicular, portable and fixed receivers in the frequency range 30-3 000 MHz: Recommendation ITU-R BS.1114-5: 2004. – Switzerland, Geneva: ITU, 2004. – 74 p.
- 8 Report EBU TECH 3348 Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2. Geneva. - 2011
- 9 Preliminary draft revision to Recommendation ITU-R BT.1206 – Spectrum shaping limits for digital terrestrial television broadcasting: Document 6A/120, Annex 7 to Working Party 6A Chairman's Report. - Switzerland, Geneva: ITU, 2008. – 8 p.
- 10 Документ 6A/297-E, 20 січень 2010 Попередній проект перегляду Рекомендації ITU-R BT.1206
- 11 Recommendation ITU-R SM.1541 Unwanted emissions in the out-of-band domain. – 2011.
- 12 Додаток 10 до Звіту Голови Робочої групи 6A (документ 6A/375-E) - Поля допуску на спектр випромінювання для систем цифрового наземного телевізійного мовлення
- 13 Working document towards Preliminary draft new Recommendation ITU-R BT.[DTTB2ND] Error-correction, data framing, modulation and emission methods for second generation of digital terrestrial television broadcasting systems: Document 6A/TEMP/100. - Switzerland, Geneva: ITU, 2009. – 12 p.
- 14 Recommendation ITU-R BT.1877:2010 Error-correction, data framing, modulation and emission methods for second generation of digital terrestrial television broadcasting systems.