

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ ОДНОЧАСТОТНИХ СИНХРОННИХ МЕРЕЖ ЦИФРОВОГО РАДІОМОВЛЕННЯ ДЛЯ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Маковеєнко Д.О., Виходець О.А, Кольцова О.С.

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.*

*Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення»,
65026, Україна, м. Одеса, вул. Буніна, 31*

dikatama.dm@gmail.com, tango@i.ua

ОСОБЕННОСТИ ПЛАНИРОВАНИЯ ОДНОЧАСТОТНЫХ СИНХРОННЫХ СЕТЕЙ ЦИФРОВОГО РАДИОВЕЩАНИЯ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Маковеенко Д.А., Выходец А.А, Кольцова А.С.

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.*

*Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения»,
65026, Украина, г. Одесса, ул. Бунина, 31*

dikatama.dm@gmail.com, tango@i.ua

FEATURES OF PLANNING SINGLE-FREQUENCY NETWORKS OF DIGITAL RADIO BROADCASTING TO COVER ROADS

Makoveyenko D.O., Vykhodets O.A., Koltsova O.S.

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,
1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine*

*State enterprise «Ukrainian scientific research institute of radio and television»,
31 Bunina St., Odessa 65026, Ukraine*

dikatama.dm@gmail.com, tango@i.ua

Анотація. Аналіз світового досвіду використання мереж радіомовлення показав, що на даний час в Європі найпоширенішою технологією цифрового наземного радіомовлення є саме DAB/DAB+. В роботі розглянуто результати досліджень щодо побудови одночастотної синхронної мережі за технологією DAB+ для покриття радіомовленням автомобільних доріг на прикладі дороги Київ – Одеса. Розглянуто вплив ефекту мережевого підсилення та отримано кількісні оцінки загального виграшу при статистичному складанні сигналів від двох передавачів. Для практичної оцінки статистичного мережевого підсилення на ділянці траси обрано контрольні точки, де прогнозований рівень напруженості поля від одного передавача є нижчим за необхідне значення. За допомогою методу k -LNM визначено, що результуюче прогнозоване значення напруженості поля перевищує мінімально необхідне, а відповідна ймовірність приймання в усіх випадках є більшою за 99%. Проведено моделювання параметрів радіопокриття приймання за допомогою моделі Рекомендації моделі ITU-R P.1812. Порівняння радіопокриття аналогового та цифрового мовлення для траси Київ-Одеса показало, що в режимі цифрового мовлення для ймовірності 99% приймання є кращим ніж для аналогового мовлення без встановлення додаткових передавачів або збільшення потужності тих, що використані при плануванні аналогового радіомовлення.

Ключові слова: DAB+ – покриття – напруженість поля – модуляція – FM.

Аннотация. Анализ мирового опыта использования сетей радиовещания показал, что в настоящее время в Европе самой распространенной технологией цифрового наземного радиовещания является именно DAB / DAB+. В работе рассмотрены результаты исследований по построению одночастотной синхронной сети по технологии DAB+ для покрытия радиовещанием автомобильных дорог на примере трассы Киев – Одесса. Рассмотрено влияние эффекта сетевого усиления и получены количественные оценки общего выигрыша при статистическом сложении сигналов от двух передатчиков. Для практической оценки статистического сетевого усиления на участке трассы выбраны контрольные точки, где

прогнозируемый уровень полезной напряженности поля ниже необходимого значения. С помощью метода *k*-LNM определено, что результирующее прогнозируемое значение напряженности поля превышает минимально необходимое, а соответствующая вероятность приема во всех случаях оказывается больше 99%. Проведено моделирование параметров радиопокрытия приема с помощью модели Рекомендации модели ITU-R P.1812. Сравнение радиопокрытия аналогового и цифрового вещания для трассы Киев-Одесса показало, что в режиме цифрового вещания для вероятности 99% обеспечивается лучшее качество приема чем для аналогового вещания без установки дополнительных передатчиков или увеличения мощности тех, что использованы при планировании аналогового радиовещания.

Ключевые слова: DAB+ – покрытие – напряженность поля – модуляция – FM.

Abstract. *An analysis of the world experience in the using of broadcasting networks has shown, that currently the most common digital terrestrial broadcasting technology in Europe is DAB / DAB +. The paper considers the results of research on the construction of a single-frequency synchronous network using DAB+ technology for coverage of highways on the example of the Kyiv - Odessa road. The influence of the network amplification effect is considered and quantitative estimates of the total gain in the statistical addition of signals from two transmitters are obtained. For the practical evaluation of the statistical network gain, control points are selected on the section of the route, where the predicted level of field strength from one transmitter is lower than the required value. Using the *k*-LNM method, it is determined that the resulting predicted value of the field strength exceeds the minimum required, and the corresponding probability of reception in all cases is greater than 99%. The radio coverage parameters of the reception were modeled, according to Recommendation ITU-R P.1812. A comparison of analog and digital radio coverage for the Kyiv-Odessa route showed that coverage in digital broadcasting mode for a 99% probability of reception is better than for analog broadcasting without installing additional transmitters or increasing the power used in analog broadcasting planning.*

Key words: DAB+ – coverage – field strength – modulation – FM.

ВСТУП

В умовах стану розвитку сучасного інформаційного середовища у суспільстві існує потреба у забезпеченні безперервного доступу до інформаційних послуг, незважаючи на місце перебування користувача – або в домашніх умовах, або в умовах перебування поза приміщенням, або під час пересування у транспорті.

Тому вже тривалий час актуальним є питання забезпечення інформаційними послугами водіїв та пасажирів автотранспорту, що рухається дорогами різної категорії.

Одним із шляхів такого забезпечення є покриття сигналами програм радіомовлення автомобільних доріг, насамперед міжнародного та державного значення.

Нині у Європі побудовано декілька мереж FM мовлення, що передають програму, спеціально орієнтовану на водіїв та пасажирів автотранспорту. Усі ці мережі є синхронними – усіма передавачами випромінюється сигнал однієї програми з використанням однієї частоти. Пропонувався варіант побудови такої мережі передавачів FM мовлення і для траси Київ – Одеса [1].

Проте із все більшим поширенням у країнах Європи цифрової технології DAB+ мовлення, зростанням кількості автомобілів із вбудованим приймачем, що передбачає приймання сигналів цифрового радіомовлення, варто звернути увагу на розгортання мереж цифрового DAB+ мовлення для обслуговування автомобільних доріг. Так, у більшості країн Європи покриття цифровим DAB+ мовленням автодоріг першого класу складає понад 90% [2]. Тому, з огляду на зазначене вище, ця робота присвячена дослідженню особливостей побудови синхронних одночастотних мереж DAB+ мовлення для обслуговування автомобільних доріг.

ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖ У СИСТЕМІ DAB+

Питання планування мереж цифрового радіомовлення DAB/DAB+ докладно розглянуто у документах [3 – 5]. Визначення параметрів планування для розрахунку зон покриття досить докладно було розглянуто в роботі [6].

Радіус зони покриття окремого передавача DAB+ радіомовлення визначають за відомим співвідношенням:

$$E(R) \geq E_{minmed}, \quad (1)$$

де E_{minmed} – мінімальна медіанна напруженість поля; $E(R)$ – значення напруженості поля, що випромінюється передавачем, на відстані R .

Загальне покриття мережі декількох передавачів складатиметься із зон покриття, забезпечуваних окремими передавачами з відповідними значеннями ефективної випромінюваної потужності. Під час оцінювання такого загального покриття слід враховувати ефект мережевого підсилення, властивий одночастотним синхронним мережам цифрового мовлення. Цей ефект полягає у взаємному складанні під час приймання потужностей сигналів від декількох передавачів, що надійшли із затримками у часі, що знаходяться в певних допустимих межах [4]. У синхронних мережах аналогового мовлення про подібний ефект не іде мова, оскільки аналогове приймання дуже «критичне» до значень затримки між сигналами, що надходять від окремих передавачів. Як згадувалося у роботі [1], для підтримки якісного стереофонічного приймання значення часу затримки сигналів, що надходять від окремих передавачів, мають знаходитись у межах 2 мкс. Для приймання цифрових сигналів допустиме значення часу затримки визначається захисним інтервалом COFDM символів, з яких утворено сигнал передавання. Значення захисного інтервалу для системи цифрового мовлення DAB+ згідно стандарту [7] складає 246 мкс.

В роботі [6] показано, що необхідне значення мінімальної медіанної напруженості поля для системи DAB+ становить від 55,72 до 66,02 дБмкВ/м в залежності від рівня захисту від помилок в системі (1А, 2А, 3А та 4А відповідно). Ці рівні напруженості поля забезпечують ймовірність приймання не нижче 99%, що є необхідним у разі прийому сигналу в русі. Так для найбільш поширеного режиму 3А в системі цифрового мовлення DAB+ значення напруженості поля становить 60,52 дБмкВ/м.

ВРАХУВАННЯ МЕРЕЖЕВОГО ПІДСИЛЕННЯ В МЕРЕЖІ DAB+

Передавачі синхронної одночастотної мережі, що обслуговують автомобільну дорогу, розташовані «ланцюгом», повторюючи конфігурацію дороги, або максимально близько до неї. Доцільно для встановлення передавачів цифрового мовлення використовувати вже існуючі вежі або щогли, побудовані раніше для потреб аналогового мовлення. Питання використання об'єктів існуючої передавальної інфраструктури, розташованих найближче до автомобільної дороги, також розглядалася під час дослідження аналогової синхронної мережі FM мовлення для покриття дороги Київ – Одеса [1].

Як і у випадку аналогового мовлення, зони покриття окремих передавачів мережі будуть частково перекриватись. У разі потрапляння автомобільного приймача до таких ділянок, в межах яких рівні сигналів, випромінюваних сусідніми передавачами, близькі один до одного, або різниця між ними невелика [3], явище мережевого підсилення дозволить збільшити ймовірність покриття. Збільшення пояснюється тим, що напруженість поля одного передавача має статистичні відхилення (зазнає коливань) через наявність перешкод на трасі поширення (нерівномірність рельєфу, тощо), але якщо такий самий сигнал випромінюється ще одним або декількома передавачами, то у випадку загасання в місці прийому одного сигналу, сигнали інших передавачів можуть бути прийняті. Статистика цього типу змін, як правило, характеризується логарифмічно нормальним розподілом рівнів сигналів. Особливо це стосується портативного та рухомого приймання [3].

Якщо в мережі працює N синхронних передавачів, кожен із яких забезпечує ймовірність приймання P_i , значення ймовірності статистичного виграшу мережевого підсилення P_{NG} можна визначити наступним чином:

$$P_{NG} = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - P_i) - P_{i_{\max}}, \quad (2)$$

де $P_{i_{\max}} = \max\{P_i\}$

Так для двох передавачів, що забезпечують ймовірність приймання 60% та 55% статистичний виграш буде становити 22%. У роботах [4,8] показано, що в разі складання кількох корисних сигналів, що мають логарифмічно нормальний розподіл, слід використовувати метод k -LNM.

Метод LNM є методом статистичних обчислень розподілу сум декількох змінних, розподілених по логарифмічно нормальному закону. Даний метод заснований на припущенні, що розподіл результуючої суми корисних полів також є логарифмічно нормальним.

Для підвищення точності методу LNM в області великих ймовірностей (високих значень покриття) може бути введений поправочний коефіцієнт k [4]. Ця версія LNM отримала назву k -LNM. На рис. 1 наведено статистичний виграш мережевого підсилення для двох передавачів у синхронній одночастотній мережі для мінімальної медіанної напруженості поля в режимі 3А (60,52 дБмкВ/м). Виграш “підсилення” напруженості поля E_{NG} залежить від різниці прогнозованих значень напруженості поля, що випромінюються передавачами: $E_1 - E_2$.

Найбільший виграш становить 4,6 дБ, за умови рівності значень напруженості поля, а мінімальне значення становить 0,59 дБ (при $E_1 - E_2 > 30$ дБ).

Отже, можна стверджувати, що у синхронних одночастотних мережах за рахунок використання декількох передавачів відхилення напруженості поля може бути знижено у порівнянні з одним передавачем, а ймовірність покриття тієї самої території буде збільшуватись без збільшення потужності передавачів.

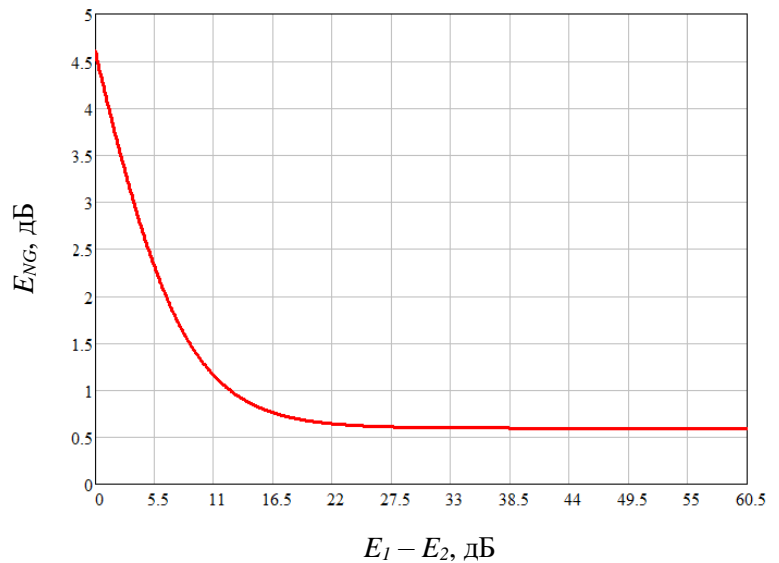


Рисунок 1 – Виграш в напруженості поля від різниці прогнозованих значень напруженості поля в синхронній мережі

Розглянемо ділянку дороги Київ – Одеса. На рис. 2 наведено прогнозоване радіопокриття цифровим мовленням на ділянці дороги Київ – Одеса, що створюється ретрансляторами Буки (висота підвісу антени 170 м, ефективна випромінювальна потужність становить 39,2 дБВт) та Біла Церква (85 м та 34,6 дБВт відповідно).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ DAB+ ДЛЯ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

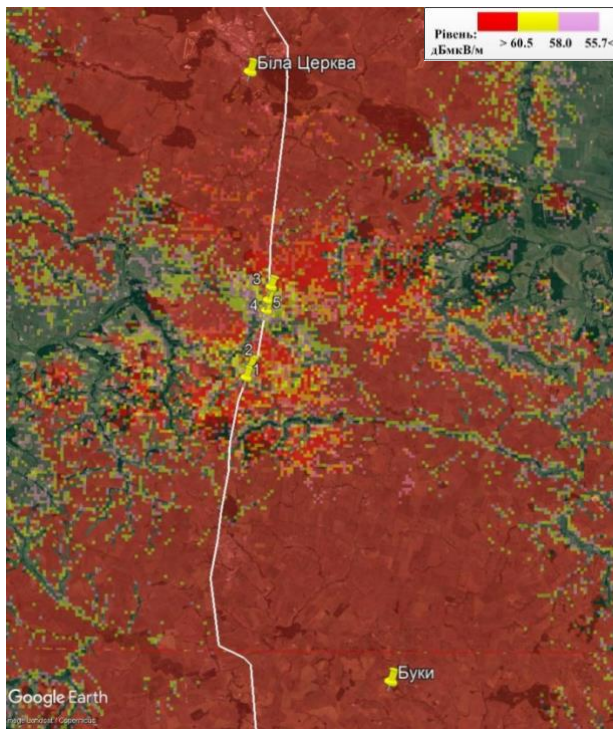


Рисунок 2 – Прогнозоване радіопокриття цифровим мовленням на ділянці дороги Київ – Одеса

Прогнозоване радіопокриття побудовано за допомогою моделі ITU-R P.1812 та враховує електронні цифрові карти місцевості з максимальною роздільною здатністю 90 метрів. Прогнозоване значення напруженості поля на рівні 60,52 дБмкВ/м (червоний колір) відповідає режиму 3А та є достатнім для забезпечення ймовірності приймання не нижче 99%, що є необхідним у разі прийому сигналу в русі. Для оцінки статистичного мережевого підсилення обрано п'ять точок, де прогнозований рівень напруженості поля є нижчим за необхідне значення. Для цих точок за допомогою методу k -LNM визначено результуюче значення напруженості поля та ймовірності приймання. Результати моделювання наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати моделювання статистичного мережевого підсилення для контрольних точок на ділянці дороги Київ – Одеса

Номер точки для моделювання	Сигнал, що створюється передавачем Буки		Сигнал, що створюється передавачем Біла Церква		Результуючий сигнал	
	E_1 , дБмкВ/м	P_1 , %	E_2 , дБмкВ/м	P_2 , %	E_{Σ} , дБмкВ/м	P_{Σ} , %
1	56	93,4	58,5	97,5	61,9	99,5
2	57,5	96,2	58,1	97,1	62,4	99,6
3	60	98,7	55,7	92,7	62,7	99,7
4	59	98,0	57,5	96,3	62,9	99,7
5	53,5	85	58,5	97,5	60,9	99,2

Виходячи із таблиці 1 можна зробити висновок, що для усіх контрольних точок, де було здійснено моделювання напруженості поля та ймовірності приймання результуюче прогнозоване значення напруженості поля перевищує мінімально необхідне, а відповідна ймовірність приймання в усіх випадках є більшою 99%. Відповідний вигравш в напруженості поля становить від 2,4 дБ до 4,3 дБ.

З урахуванням наявного мережевого підсилення на відповідних ділянках дороги між сусідніми передавачами визначено характеристики мережі вздовж дороги Київ – Одеса. Місця розташування передавачів, потужності та коефіцієнти підсилення (КП) передавальних антен зазначені в табл. 2.

Таблиця 2 – Розташування передавачів мережі цифрового мовлення в стандарті DAB+ та їх характеристики

Область	Населений пункт	Висота щогли, м	Висота підвісу антени, м	КП антени, дБд		Потужність передавача, Вт	
				FM	DAB+	FM	DAB+
Одеська	Одеса	195	160	8	8.4	2000	2000
Одеська	Петровівка	200	175	8	8.4	1000	1000
Миколаївська	Любашівка	62	55	2	5.4	500	500
Кіровоградська	Благовіщенське	135	115	5	5.4	1000	1000
Черкаська	Буки	220	170	8	8.4	2000	1500
Київська	Біла Церква	90	85	5	5.4	500	1000
Київська	Київ	382	270	8	8.4	4000	2500

Результати розрахунку зон покриття наведено на рис. 2. За наведених в табл. 2 параметрах планування сім передавачів забезпечують повне радіопокриття дороги Київ-Одеса з ймовірністю приймання більше 99%.

У побудованому в [1] радіопокритті в режимі аналогового радіомовлення з частотною модуляцією (FM-мовлення), існують зони спотворень приймання, що становлять відповідно до 14% для стереофонічного мовлення та до 5% для монофонічного мовлення від загальної довжини дороги.

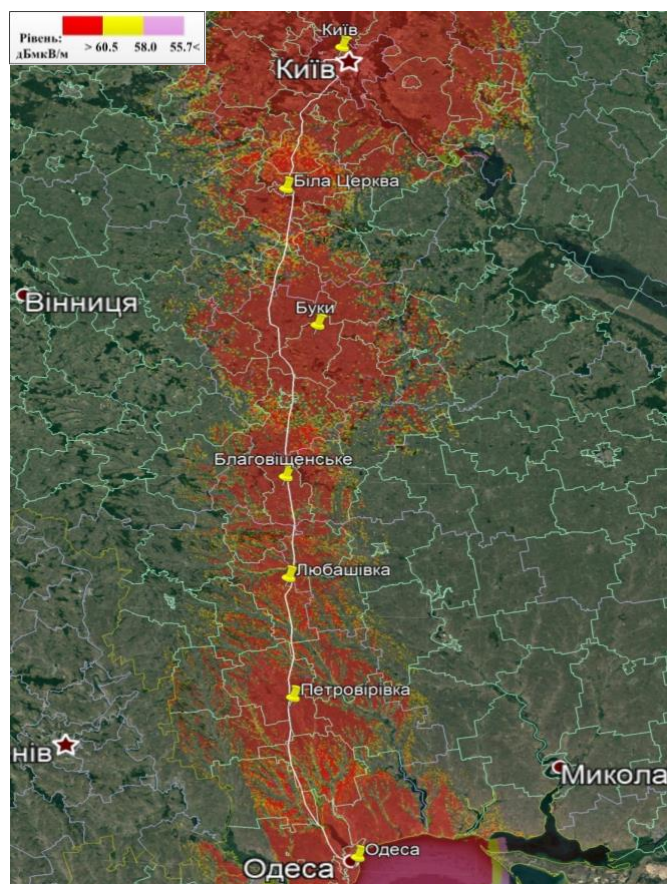


Рисунок 3 – Прогнозоване радіопокриття цифровим мовленням DAB+ дороги Київ-Одеса

В цифровому режимі відсутні зони спотворень і якість прийому буде значно кращою ніж в FM-мовлення.

При попередньому порівнянні параметрів планування мереж аналогового та цифрового мовлення [6] очікувалося, що для досягнення однакового покриття при розгортанні мережі в стандарті DAB+ може потребуватись встановлення додаткових передавачів. Водночас, врахування статистичного виграшу у мережі цифрового мовлення дозволяє забезпечити однакове покриття без встановлення додаткових передавачів або збільшення потужності тих, що використані при плануванні аналогового радіомовлення.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Питання побудови синхронних одночастотних мереж вздовж великих автошляхів є важливою та актуальною науково-практичною задачею.

В статті наведено параметри планування мережі цифрового мовлення в стандарті DAB+ на прикладі дороги Київ-Одеса. Показано, що загальний вигравш при статистичному складанні сигналів від двох передавачів становить 4,6 дБ, за умови рівності значень напруженості поля, а мінімальне значення становить 0,59 дБ (при $E_1 - E_2 > 30$ дБ). Для практичної оцінки статистичного мережевого підсилення обрано п'ять точок, де прогнозований рівень напруженості поля є нижчим за необхідне значення. За допомогою k -LNM визначено для усіх контрольних точок, результуюче прогнозоване значення напруженості поля перевищує мінімально необхідне, а відповідна ймовірність приймання в усіх випадках є більшою 99%. Відповідний вигравш в напруженості поля становить від 2,4 дБ до 4,3 дБ.

Порівняння радіопокриття аналогового та цифрового мовлення для траси Київ-Одеса показало, що радіопокриття в режимі цифрового мовлення для ймовірності 99% приймання є кращим ніж для аналогового мовлення без встановлення додаткових передавачів або збільшення потужності тих, що використані при плануванні аналогового радіомовлення. На даний час в Європі найпоширенішою технологією цифрового наземного радіомовлення є саме DAB/DAB+. Радіопокриття головних автошляхів (автомагістралі, автобани) на рівні 94% та вище є в таких країнах, як Швейцарія, Данія, Німеччина, Норвегія, Нідерланди, Бельгія, Італія.

З огляду на вищевказане, на думку авторів, актуальною є розробка техніко-економічного обґрунтування з визначенням доцільності побудови синхронних одночастотних мереж цифрового мовлення в стандарті DAB+ для покриття основних автомобільних доріг в Україні.

ЛІТЕРАТУРА

1. Виходець О.А. Використання синхронних мереж для покриття звуковим мовленням автомобільних доріг / Виходець О.А., Кольцова О.С., Маковецько Д.О., Юрченко В.В. // Цифрові технології. – 2019. – № 25. – С. 71–80.
2. DAB/DAB+ Digital Radio Europe and Asia Pacific [електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.worlddab.org/public_document/file/1350/WorldDAB_infographic_H1_2020_6_pager_FINAL.pdf?1601885679.
3. EBU TR 025 Report on frequency and network planning parameters related to DAB+. October 2013.
4. EBU TR 021 Technical bases for T-DAB services network planning and compatibility with existing broadcasting services. October 2013.
5. Recommendation ITU-R BS. 1660-8. Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band. – 2019. – 82 p.
6. Кольцова О.С., Маковецько Д.О. Визначення параметрів планування мережі при переході на цифрове наземне мовлення // Цифрові технології. – 2018. – № 22. – С. 71–79.
7. ETSI EN 300 401 (версія 2.1.1) Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers (Системи радіомовлення. Цифрове звукове мовлення (DAB) для мобільних, портативних і стаціонарних приймачів). 2017-01.
8. Safak A. Statistical Analysis of the Power Sum of Multiple Correlated log-normal Components / A. Safak // IEEE Transactions on Vehicular Technology/ – 1993. – № 1. – Vol.–42. – P. 431 – 438.

REFERENCES

1. Vykhodets O.A., Koltsova O.S., Makoveyenko D.O., Yurchenko V.V. “Characterization of single frequency synchronous network to cover motorways with sound broadcasting.” Digital technologies. no. 25, 2019, pp. 71 — 80.
2. DAB/DAB+. Digital Radio Europe and Asia Pacific [electronic resource]. Access mode: https://www.worlddab.org/public_document/file/1350/WorldDAB_infographic_H1_2020_6_pager_FINAL.pdf?1601885679.
3. EBU TR 025. “Report on frequency and network planning parameters related to DAB+”, 2019: 7 p.
4. EBU TR 021. “Technical bases for T-DAB services network planning and compatibility with existing broadcasting services”, 2013: 201 p.
5. Recommendation ITU-R BS. 1660-8. “Technical basis for planning of terrestrial digital sound broadcasting in the VHF band”, 2019: 82 p.
6. Koltsova O.S., Makoveyenko D.O. “Determination of parameters of planning networks in transition to digital terrestrial sound broadcasting.” Digital technologies. no. 22, 2018, pp. 71 — 79.
7. ETSI EN 300 401. “Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers”, 2017: 124 p.
8. Safak A. “Statistical Analysis of the Power Sum of Multiple Correlated log-normal Components”. IEEE Transactions on Vehicular Technology. vol. 42, no.25, 1993, pp. 431 — 438.