УДК 621.396.2

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЧАСТОТНОЇ СИНХРОННОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ПОКРИТТЯ ЗВУКОВИМ МОВЛЕННЯМ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

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

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут радіо і телебачення» (ДП «УНДІРТ»),
65026, Україна, м. Одеса, вул. Буніна, 31.
Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова,
65029, Україна, м. Одеса, вул. Ковальська, 1.
otdel.13r@gmail.com, dikatama.dm@gmail.com

Юрченко В.В.

радник члена Національної ради з питань телебачення і радіомовлення України,
01601, Україна, м. Київ, вул. Прорізна, 2
valeriy.yurchenko@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОДНОЧАСТОТНОЙ СИНХРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ПОКРЫТИЯ ЗВУКОВЫМ ВЕЩАНИЕМ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

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

Государственное предприятие «Украинский научно-исследовательский институт радио и телевидения» (ГП «УНИИРТ»),
65026, Украина, г. Одесса, ул. Бунина, 31.
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова,
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.
otdel.13r@gmail.com, dikatama.dm@gmail.com

Юрченко В.В.

советник члена Национального совета по вопросам телевидения и радиовещания Украины,
01601, Украина, г. Киев, ул. Прорезная, 2
valeriy.yurchenko@gmail.com

CHARACTERIZATION OF SINGLE FREQUENCY SYNCHRONOUS NETWORK TO COVER MOTORWAYS WITH SOUND BROADCASTING

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

State enterprise "Ukrainian scientific research institute of radio and television"
31 Bunin st., Odessa 65026, Ukraine
Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov
1 Kovalska st., Odessa 65029, Ukraine
otdel.13r@gmail.com, dikatama.dm@gmail.com

YurchenkoV.V.

advisor to a member of the National Council on Television and Broadcasting of Ukraine
2 Prorizna st., Kyiv 01601, Ukraine
valeriy.yurchenko@gmail.com

Анотація. *Запропоновано варіант побудови передавальної інфраструктури для покриття звуковим мовленням магістральних автомобільних доріг на основі мережі синхронного ДВЧ-ЧМ (FM)*

мовлення. Проведено огляд переваг та недоліків впровадження подібних мереж. Виконано аналіз можливих спотворень приймання у мережі синхронного мовлення у разі застосування радіотехнології аналогового мовлення з частотною модуляцією. Наведено рекомендації щодо значень параметрів планування мережі у режимах монофонічного та стереофонічного мовлення, насамперед, значень захисних відношень за радіочастотою в умовах мобільного приймання.

На прикладі автомагістралі Київ-Одеса визначено характеристики передавальних станцій, розраховано покриття та довжину зон спотворень монофонічного та стереофонічного приймання. Розташування передавальних станцій мережі запропоновано відповідно до існуючої інфраструктури радіотелевізійних передавальних станцій Концерну РРТ – державного оператора телерадіомовлення України.

Також розглянуто перспективи застосування радіотехнології цифрового мовлення DAB+ для розбудови подібних мереж.

Ключові слова: *синхронна мережа радіомовлення, захисне відношення за радіочастотою, зона спотворень, передавач FM мовлення, мінімальна медіанна напруженість поля.*

Аннотация. *Предложен вариант построения передающей инфраструктуры для покрытия звуковым вещанием магистральных автомобильных дорог на основе сети синхронного ОВЧ-ЧМ (FM) вещания. Проведен обзор преимуществ и недостатков внедрения подобных сетей. Выполнен анализ возможных искажений приема в сети синхронного вещания в случае применения радиотехнологии аналогового вещания с частотной модуляцией. Приведены рекомендации относительно значений параметров планирования сети в режимах монофонического и стереофонического вещания, прежде всего, значений защитных отношений по радиочастоте в условиях мобильного приема.*

На примере автомагистрали Киев-Одесса определены характеристики передающих станций, выполнен расчет покрытия и протяженности зон искажений монофонического и стереофонического приема. Расположение передающих станций сети предложено в соответствии с существующей инфраструктурой радиотелевизионных передающих станций Концерна РРТ – государственного оператора телерадиовещания Украины.

Также рассмотрены перспективы применения радиотехнологии цифрового вещания DAB+ для построения подобных сетей.

Ключевые слова: *синхронная сеть радиовещания, защитное отношение по радиочастоте, зона искажений, передатчик FM вещания, минимальная медианная напряженность поля.*

Abstract. *The option of construction of the transmitting infrastructure for coverage of motorways with the sound broadcasting on the basis of the synchronous FM broadcasting network in VHF band is offered. An overview of the advantages and disadvantages of such networks deployment is conducted. The analysis of possible distortions of signals reception in the synchronous transmitters network in the case of analog sound broadcasting with frequency modulation is executed. The recommendations concerning the values of network planning parameters in monophonic and stereophonic broadcasting modes, and in particular, the values of radio frequency protection ratios in the conditions of mobile reception, are given.*

On the example of the Kyiv-Odessa motorway, the characteristics of transmission stations were determined, the coverage and the extention of the distortion areas of the monophonic and stereophonic reception were calculated. The location of network's transmission stations is proposed in accordance with the existing infrastructure of radio-and-television transmission stations of the BRT Concern – the national operator of broadcasting and television in Ukraine.

Also the prospects of DAB+ digital broadcasting technology applying for the development of such networks are considered.

Key words*: synchronous broadcasting network, radiofrequency protection ratio , distortion area, FM broadcasting transmitter, minimum median field strength.*

Актуальність питання побудови синхронних одночастотних мереж для покриття мовленням магістральних автошляхів існує вже досить давно через можливість забезпечення зручного доступу до інформації водіям і пасажирам автотранспорту [1, 2]. Окрім інформування щодо стану руху на дорозі, наявності певних об'єктів інфраструктури,

погодних умов тощо, це є також досить зручним способом оповіщення водіїв і мешканців прилеглих до траси населених пунктів щодо можливих надзвичайних ситуацій.

Враховуючи значну популярність приймання і прослуховування програм радіомовлення в автомобілі (що підтверджується опитуваннями слухачів, виконаними Європейським союзом радіомовників EBU, та обсягом продажів автомобільних приймачів у Європі), покриття мовленням автошляхів також знаходиться у сфері інтересів радіомовників.

Застосування синхронних одночастотних мереж дозволяє реалізувати покриття мовленням автомобільної траси або її визначеної ділянки за суттєвої економії частотного ресурсу і без необхідності для слухача змінювати налаштування приймача під час руху. Зокрема, подібні мережі побудовано у деяких країнах Європи із застосуванням передавачів моно- і стереофонічного радіомовлення з частотною модуляцією (FM-мовлення), що працюють у смузі частот 87,5 – 108 МГц діапазону ДВЧ [1 – 3].

Із стрімким поширенням технології цифрового мовлення DAB+, що спостерігається нині у європейських країнах [4], також набуло актуальності питання розбудови мереж для покриття мовленням автомобільних доріг за застосування цифрових технологій мовлення.

Враховуючи актуальність та важливість означеного питання, доцільно виконувати дослідження, що можуть стати основою для подальшого проектування та розбудови синхронних мереж для покриття звуковим мовленням транспортних магістралей України, таких, наприклад, як Київ-Одеса, Київ-Ковель тощо.

Очевидно, що найближчим часом найбільш затребуваною технологією звукового мовлення залишатиметься FM-мовлення через наявність широкого вибору передавального і приймального обладнання меншої вартості у порівнянні з обладнанням цифрового мовлення. Тому у цій статті авторами розглянуто можливість побудови синхронної мережі передавачів FM-мовлення вздовж автомагістралі Київ-Одеса. Ця траса характеризується одним з найбільших обсягів автомобільних перевезень в Україні, а отже, її покриття дозволить залучити значну потенційну аудиторію радіомовного контенту.

Хоча практика застосування синхронних мереж FM-мовлення в країнах Європи існує, проте їх планування та подальше розгортання є досить трудомістким завданням через можливу появу специфічних спотворень приймання сигналів, що випромінюються передавачами такої мережі [2, 5, 6].

Розглянемо суть проблеми докладніше.

Можливі спотворення приймання сигналів у мережах синхронного FM мовлення

Причиною спотворень приймання є різний час проходження сигналів від передавальних станцій до приймача. Це є особливо критичним для тих випадків, коли рівні сигналів у місці приймання стають приблизно однаковими. За такої ситуації можливим є утворення зон спотворень на території між двома передавачами. Так, два синхронні передавачі, що працюють на однаковій частоті $f_н = f_1 = f_2$, випромінюють радіосигнали:

$$u_1(t) = U_1 e^{i[\omega t + S(t)]},$$
$$u_2(t) = U_2 e^{i[\omega(t - \tau) + S(t - T)]}, \quad (1)$$

де:

U_1, U_2 – амплітуди сигналів на вході приймача,

$\omega = 2\pi f_н$,

$T = \tau + \tau_0$, $\tau = (r_1 - r_2)/c$, r_1 та r_2 – відстані від точки приймання до кожного з передавачів відповідно, c – швидкість світла, τ_0 – часова затримка під час подання модулювальних сигналів від джерела до передавачів.

$$S(t) = \Delta\omega_{макс} \int_0^t \xi(t)dt \,, \tag{2}$$

$\Delta\omega_{макс}$ – максимальна девіація частоти,

$\xi(t)$ – модулювальний мовний сигнал.

За складання на вході приймача двох зазначених сигналів сумарний сигнал можна визначити наступним чином [2, 7]:

$$u_{вх}(t) = u_1(t) + u_2(t) = U_\Sigma e^{i\Phi(t)}, \tag{3}$$

де

$$U_\Sigma = U_1\sqrt{1 + D^2 + 2D\cos[\mu(t) + \omega\tau]}, \tag{4}$$

$D = U_2/U_1$,

$\mu(t) = S(t) - S(t - T)$,

$$\Phi(t) = \omega t + S(t) - \text{arctg}\frac{[D\sin(\mu(t) + \omega\tau)]}{[1 + D\cos(\mu(t) + \omega\tau)]}. \tag{5}$$

Після диференціювання за t формули (5) та врахування формули (2), отримаємо закон змінення частоти результівного сигналу:

$$\omega_\Sigma = \frac{d\,\Phi(t)}{dt} = \omega + \Delta\omega(t) =$$

$$= \omega + \Delta\omega_{макс}\xi(t) + \Delta\omega_{макс}[\xi(t) - \xi(t - T)]D\,\frac{D + \cos[\mu(t) + \omega\tau]}{1 + D^2 + 2D\cos[\mu(t) + \omega\tau]} \tag{6}$$

Співвідношення (4) і (6) дозволяють виконати аналіз спотворень приймання сигналу, що виникають у результаті інтерференції. Як бачимо, результівне коливання відрізняється від обох коливань, випромінюваних передавачами, як за законом зміни амплітуди, так і за законом зміни частоти. Якщо з двох коливань $u_1(t)$ і $u_2(t)$ перше розглядати як основне, а друге - як заваду, то ступінь впливу коливання завади на основне буде оцінюватися ступенем відхилення амплітуди U_Σ від U_1 або U_2 і частоти ω_Σ від $\omega + \Delta\omega_{макс}\xi(t)$.

Аналіз формули (6) дозволяє визначити, що приймання сигналу звукового мовлення буде супроводжуватися лінійними і нелінійними спотвореннями, залежно від значень параметрів D, T, τ, які будуть одночасно змінюватися із переміщенням приймача між передавальними станціями.

Лінійні спотворення є досить критичними для стереофонічного приймання, оскільки призводять до появи перехідних завад між стереоканалами [2].

Із переміщенням приймача до однієї чи іншої передавальної станції, як випливає з формул (4) і (6), зміни значення амплітуди U_Σ стають все менш глибокими внаслідок зменшення параметра D, і ступінь відхилення частоти ω_Σ від $\omega + \Delta\omega_{макс}\xi(t)$ також стає все меншим. З цієї причини найбільш цікавим для аналізу випадком є такий, за якого амплітуди променів, що інтерферують, близькі за значенням: $U_1 \approx U_2$.

Рекомендації щодо захисних відношень за радіочастотою

Проведення теоретичних досліджень, а також польових випробувань синхронної роботи передавачів FM мовлення показало, що для уникнення спотворень на тих ділянках між передавальними станціями, де $U_1 \approx U_2$, час затримки звукових сигналів до місця

приймання має бути вирівняно. Щоб мінімізувати вплив спотворень при $T \neq 0$, потрібно дотримати необхідні значення захисних відношень за радіочастотою. Ці значення, зазвичай, подають у децибелах, і їх можна визначити як:

$$A = 20 \lg(1/D), \quad (7)$$

де параметр D має таке значення, за якого спотворення прийнятого сигналу, що визначаються формулою (6), перебувають у допустимих межах.

Так, для $T = 2$ мкс необхідне захисне відношення A складає 6 дБ, із зростанням T до 10 мкс необхідним буде значення А = 16 дБ [6]. У Рекомендації ITU-R BS.412-9 зазначено, що можливим є планування синхронної монофонічної мережі з захисними відношеннями, що дорівнюють тільки 2 дБ, за умови, що відносну затримку між модулювальними сигналами дотримано в межах 5 мкс у всьому районі, що обслуговується [1].

Також фахівцями ДП «УНДІРТ» було виконано значний обсяг польових випробувань синхронної мережі передавачів FM-мовлення з метою оцінки якості приймання стереофонічних та монофонічних сигналів у мобільних умовах. Результати випробувань докладно наведено у [2].

Аналіз результатів випробування надає підстави для припущення, що для якісного приймання в автомобілі під час руху (з оцінкою не нижче ніж «4» за п’ятибальною шкалою), захисне відношення за радіочастотою для стереосигналів має складати не менш ніж 12 дБ, а під час приймання моносигналів – не менше ніж 6 дБ. Під час подальших розрахунків будемо орієнтуватися саме на ці значення.

Оцінка протяжності зон спотворень у мережі синхронних передавачів FM мовлення

Розглянемо мережу FM передавачів, що встановлено уздовж траси Київ-Одеса і які працюють у синхронному режимі. Розташування передавачів, випромінювані потужності та висоти підвісу передавальних антен зазначено в таблиці 1. Розташування передавачів обрано відповідно до існуючої інфраструктури мережі радіотелевізійних передавальних станцій Концерну РРТ.

Таблиця 1 – Розташування радіомовних FM-передавачів синхронної мережі та їх характеристики

Розташування передавача		Ефективна висота підвісу передавальної антени, м	Потужність передавача на вході фідера, Вт	Довжина фідера, м	Втрати у фідері, дБ	Коефіцієнт підсилення антени, дБд	Ефективна випромінювана потужність передавача, дБВт
Область	Населений пункт						
Одеська	Одеса	160	2000	75	-0,75	8	40,26
Одеська	Петровірівка (Жовтень)	175	1000	100	-1	8	37
Одеська	Любашівка	55	500	55	-0,55	2	28,44
Кіровоградська	Благовіщенське (Ульянівка)	115	1000	70	-0,7	5	34,3
Черкаська	Буки	170	2000	100	-1	8	40,01
Київська	Біла Церква	85	500	85	-0,85	5	31,14
Київська	Київ	270	4000	120	-1,2	8	42,82

Розрахуємо зони покриття кожного з синхронних передавачів та оцінимо протяжність можливих зон спотворень на ділянках між двома сусідніми передавачами.

Під час розрахунків прийматимемо до уваги, що значення напруженості поля, створюваного FM передавачем, на межі зони покриття має бути у стереорежимі 67,97 дБмкВ/м під час приймання у автомобілі [8], у монорежимі це значення має бути 46,73 дБмкВ/м.

Границі зон покриття визначено на основі Рекомендації ITU-R P.1546-5 [9] за формулою (8):

$$E_{minmed} = P_{\Sigma} + E_{med} + F(\theta), \quad (8)$$

де E_{minmed} – мінімальна медіанна напруженість поля, дБмкВ/м;

P_{Σ} – ефективна випромінювана потужність передавача, дБВт;

E_{med} – медіанне значення напруженості поля при P_{Σ} = 0 дБ, дБмкВ/м (визначають за кривими поширення радіохвиль у відповідному діапазоні);

$F(\theta)$ – поправка за кутом просвіту місцевості, яка враховує перешкоди на місцевості у напрямку передавальної станції, дБ.

Результати розрахунку зон покриття надано на рис. 1. Як бачимо, за визначених у табл. 1 характеристик передавальних станцій удається майже повністю забезпечити покриття радіомовленням траси Київ-Одеса. Навіть якщо значення напруженості поля на вході приймальної антени буде недостатнім для стереоприймання, то моноприймання можна забезпечити практично на усій протяжності траси (за винятком невеликої ділянки між передавачами, установленими у Білій Церкві та Буках, і ділянки між передавачами, встановленими у Буках і Благовіщенському).

Для визначення зон спотворень будемо виходити з умов їх появи у синхронній мережі з подібним розташуванням передавачів («ланцюжком»):

$$\begin{cases} \Delta E < A, \\ T > \tau_{äîï} \ , \end{cases}$$

де ΔE – відношення напруженостей полів, що утворюються двома сусідніми передавачами,

A – необхідне значення захисного відношення за радіочастотою, яке відповідає певному значенню часу затримки надходження на вхід приймача сигналів від першого і другого передавачів,

T – значення часу затримки при поширенні сигналів від сусідніх передавачів до приймального пристрою,

$\tau_{доп}$ – значення часу затримки, для якого одержано нормативне значення захисного відношення за радіочастотою.

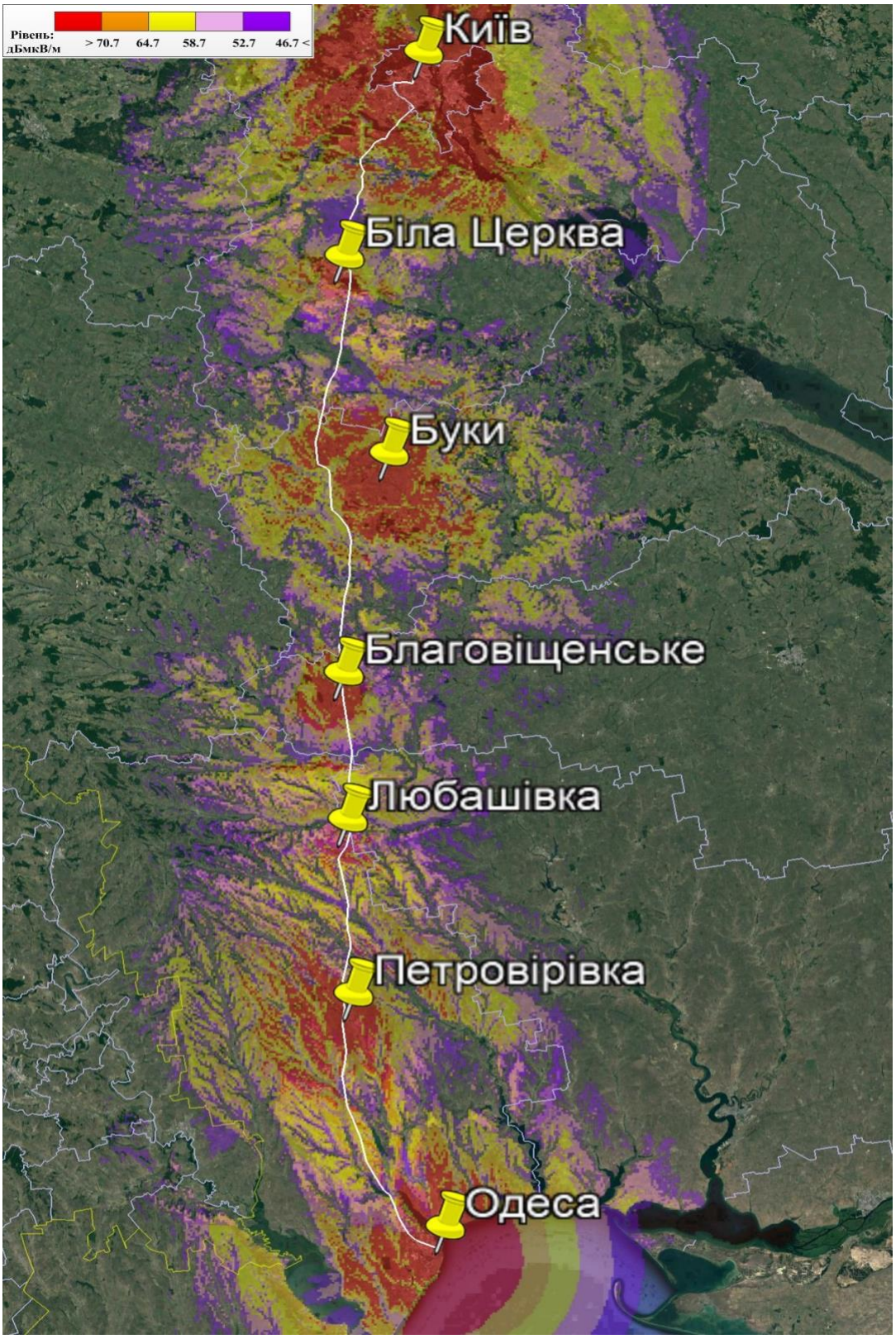

Рисунок 1 – Зони покриття передавачів одночастотної синхронної мережі FM мовлення, установлених вздовж траси Київ – Одеса

Визначимо протяжність зон спотворень як для стереофонічного, так і для монофонічного приймання.

Так, у разі стереофонічного приймання в автомобілі під час польових випробувань встановлено, що необхідне значення захисного відношення за радіочастотою складає не менше ніж 12 дБ, навіть якщо сигнали від сусідніх передавачів надходять на вхід приймача майже одночасно. Для приймання в автомобілі під час руху на відміну від фіксованого приймання визначати допустиме значення часу затримки надходження сигналів навряд чи є доцільним, оскільки під час переміщення по трасі з досить високою швидкістю це значення доволі швидко змінюється. Можна підрахувати, що із швидкістю автомобіля, наприклад, 100 км/год, за дві хвилини руху автомобіля затримка у часі надходження сигналів на вхід приймача зміниться на 11 мкс.

Для визначення протяжності зони спотворень монофонічного приймання будемо використовувати значення захисного відношення за радіочастотою A = 6 дБ, так само отримане в результаті проведення польових випробувань.

У табл. 2 надано результати розрахунків довжини зони спотворень для кожної з ділянок між двома сусідніми передавачами, установленими вздовж траси Київ – Одеса. У межах цих ділянок $\Delta E < A$.

Таблиця 2 – Результати розрахунків протяжності зон спотворень

Ділянка	Довжина ділянки, км	Зона спотворень для стерео, км	Зона спотворень для моно, км
Одеса – Петровірівка (Жовтень)	99,3	17,2	4,5
Петровірівка (Жовтень) – Любашівка	67,1	10,2	3,5
Любашівка – Благовіщенське (Ульянівка)	56,4	8,5	4,5
Благовіщенське (Ульянівка) – Буки	87,8	10,5	3,5
Буки – Біла Церква	77,3	8,5	4,0
Біла Церква – Київ	98,4	13,5	5,5

За підсумками розрахунків, можна відзначити наступне:

1) зони спотворень приймання в автомобілі, що прямує трасою Київ – Одеса, за вибраних значень характеристик передавальних станцій будуть існувати на кожній з ділянок між сусідніми передавачами. Як бачимо, це стосується як приймання стереосигналів, так і приймання моносигналів;

2) з урахуванням результатів польових випробувань за синхронної роботи FM передавачів передбачалося, що в межах зони спотворень моноприймання основним видом спотворень прийнятого сигналу, що визначає остаточну якість звучання, є нелінійні спотворення. В межах зони спотворень стереоприймання враховувалася дія нелінійних та перехідних спотворень;

3) найбільша за довжиною зона спотворень стереоприймання складатиме не більше ніж 17,3 % від загальної довжини ділянки (ділянка Одеса – Петровірівка);

4) найбільш критичними спотвореннями за суб’єктивними оцінками слухачів є нелінійні спотворення, тому результат розрахунку довжини зон спотворень моноприймання є більш інформативним – він показує довжину тих ділянок, у межах яких приймання буде здійснюватися з найгіршою якістю. Найбільша відносна довжина зони нелінійних спотворень складатиме 5,6 % (ділянка Біла Церква – Київ). Відповідну цьому відсотку відстань 5,5 км (табл. 2) автомобілем зі швидкістю 100 км/год буде пройдено за 3,3 хв, що можна вважати прийнятним.

Висновки

На сьогоднішній день побудова синхронних одночастотних мереж для покриття автошляхів є завданням актуальним, оскільки дозволить вирішити ряд питань:

- надання різноманітних інформаційних послуг як водіям і пасажирам автотранспорту, так і мешканцям розташованих поруч з автомагістраллю населених пунктів;
- здійснювати оповіщення про можливі надзвичайні ситуації, що є важливим під час здійснення автоперевезень;
- ефективно використовувати радіочастотний ресурс.

Реалізувати розбудову синхронної мережі можна як із застосуванням аналогової технології FM мовлення, так і цифрової DAB+, що набуває все більшого поширення у країнах Європи.

За використання аналогової технології розбудова таких мереж буде вагомим внеском у реалізацію Плану розвитку потужного ДВЧ-ЧМ мовлення в Україні.

Розгортання мережі можливо технічно реалізувати із застосуванням існуючої інфраструктури радіотелевізійних передавальних станцій Концерну РРТ за наявності відносно недорогих радіомовних передавальних пристроїв діапазону ДВЧ. Внаслідок припинення аналогового телебачення у 2018 році смугу частот 84 – 100 МГц можна повністю використовувати для розгортання нових мереж FM мовлення. За певного перерозподілу частотного ресурсу та використання частотних каналів, що було вивільнено із відключенням аналогового телебачення, розбудова синхронних одночастотних мереж уздовж автомобільних доріг стає можливою.

Окрім FM передавачів також є доступним обладнання, що може бути застосовано у складі інфраструктури мережі для мінімізації можливих спотворень. Насамперед це системи синхронізації, що передбачають подачу сигналів звукового мовлення до передавачів із заданою затримкою, як наприклад, комплекс SynchroCast [2]. Також регулювати протяжності зон спотворень можна із застосуванням передавальних антен із певними характеристиками спрямованості, як наприклад, це виконано французькою радіомовною компанією SANEF, що здійснює мовлення саме для покриття автошляхів [3].

Також варто звернути увагу на планування одночастотних синхронних мереж для обслуговування автошляхів із застосуванням технології цифрового мовлення DAB+. Відзначимо, що у грудні 2018 р. Європейським парламентом та Радою Європи було прийнято новий Європейський Кодекс Електронних Комунікацій, що буде сприяти подальшому поширенню цієї технології. До нового Кодексу внесено вимогу щодо реалізації в усіх нових автомобільних радіоприймачах, що продаються у Європейському союзі, функції приймання сигналів цифрового наземного радіомовлення на додачу до функції приймання сигналів FM- або AM-мовлення [10], а в Європі найпоширенішою технологією цифрового наземного радіомовлення на сьогодні є саме DAB/DAB+. Отже, збільшення кількості автомобільних приймачів цифрового мовлення вимагатиме і доступу до відповідного контенту.

З огляду на вищевказане, на думку авторів, дослідження щодо планування і побудови синхронних одночастотних мереж цифрового мовлення для покриття автомобільних доріг в Україні також є актуальними, і доцільно продовжувати роботу за цим науково-практичним напрямом.

Перелік посилань:

1. Recommendation ITU-R BS.412-9 (12/98) Planning standards for terrestrial FM sound broadcasting at VHF.

2. Аналоговое и цифровое радиовещание / [А.В. Выходец, С.Н. Ганжа, А.С. Кузнецова, А.А. Выходец]; под ред. А.В. Выходца. – Одесса: СПД Бровкін О.В., 2012. – 312 с.

3. Kienzle C. Sanef Takes Intelligent Networking on the Road / Claudia Kienzle // Radioworld, January 2018 [електронний ресурс]. Режим доступа: https://www.radioworld.com/news-and-business/sanef-takes-intelligent-networking-on-the-road

4. www.worlddab.org

5. Ганжа С.Н. Построение синхронной сети передатчиков ОВЧ-ЧМ вещания / С.Н. Ганжа // Цифрові технології. – 2008. – № 3. – С. 78.

6. Выходец А.В. Особенности проектирования синхронных сетей звукового ОВЧ-ЧМ вещания / А.В. Выходец, С.Н. Ганжа, А.С. Кузнецова // Зв'язок. – 2007. – № 1. – С. 12 – 16, № 2. – С. 60 – 64.

7. Смирнов В.А. Основы радиосвязи на ультракоротких волнах / В.А. Смирнов. – М.: Связьиздат, 1957. – 820 с.

8. Кольцова О.С. Визначення параметрів планування мережі при переході на цифрове наземне звукове мовлення / О.С. Кольцова, Д.О. Маковеєнко // Цифрові технології. – 2017. – № 22. – С. 71 – 79.

9. Recommendation ITU-R P.1546-5:2013. Method for point-to-area prediction for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz.

10. Hannon P. EU Directive Reveals European Vision for Radio Digitization / Patrick Hannon, president of WorldDAB // Radioworld, December 2018 [електронний ресурс]. Режим доступа: https://www.radioworld.com/columns-and-views/eu-directive-reveals-european-vision-for-radio-digitization.