

## УДК 654.16

*О. В. Загора, к.т.н., доцент, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0001-9042-6838)*

*А. Б. Фещенко, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-4869-6428)*

*Л. В. Борисова, к.ю.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0001-6554-1949)*

*Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

## ДАЛЬНІСТЬ МОБІЛЬНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ СИСТЕМИ IP SITE CONNECT В УМОВАХ МІСТА

Розроблено математичну модель розповсюдження радіосигналів діапазону мобільних радіостанцій системи IP Site Connect з урахуванням факторів їх активного поглинання на шляху розповсюдження в умовах міста, а саме проблеми врахування впливу напівпрозорих радіоперепон будівельних споруд. Запропоновано аналітичну, а також графічну методику, які дозволяють здійснювати потрібні розрахунки дальності для різних властивостей радіоперепон і різної їх кількості на шляху розповсюдження радіохвиль (РРХ). Обґрунтовані вимоги до показників якості радіоприйому при наявності перепон. У якості критерію для визначення порогової дальності пропонується величина остаточного загасання сигналу, розрахована з урахуванням втрат потужності у будівельних конструкціях. Задачу розв'язано у частково ідеалізованій постановці з деякими обмеженнями, прийнятими у роботі: розглянуто випадок співвісного компланарного розташування прийомної і передавальної антен, не враховуються втрати потужності сигналу в атмосфері на малих відстанях. В якості параметра, що обмежує дальність радіозв'язку, розглядається потужність сигналу на вході приймача ретранслятора з урахуванням втрат потужності на шляху РРХ. Розглядаються можливі варіанти побудови розрахункового алгоритму, при цьому перевага віддається графічній методиці визначення порогової дальності. Наведені результати розрахунків дальності для різних умов радіоприйому в умовах щільної міської забудови. На підставі проведених розрахунків розроблено рекомендації щодо попередження або подолання проблеми втрати радіозв'язку службою швидкого реагування. Наводяться аналітичні та графічні матеріали для різних варіантів практичної реалізації розрахункової методики. Приведені розрахунки та довідкові матеріали враховують параметри налаштування радіостанцій класу IP Site Connect, які можуть використовуватися у міських умовах. Врахування процесу поглинання радіохвиль у напівпрозорих радіоперепонах при прогнозуванні дальності радіозв'язку у районі надзвичайної ситуації дозволяє оптимізувати роботу ліквідаторів по евакуації населення та матеріальних цінностей та забезпечити безпечні умови роботи рятувальників.

**Ключові слова:** гранична дальність радіозв'язку, розповсюдження радіохвиль, IP Site Connect, напівпрозора радіоперепона, загасання радіосигналу

### 1. Вступ

Забезпечення оперативним радіозв'язком сил швидкого реагування Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) в умовах міста вимагає впровадження новіших методів і найсучасніших технологій. Телекомунікаційна система IP Site Connect є оригінальною розробкою компанії Motorola, що базується на стандарті DMR (Digital Mobile Radio – цифровий мобільний радіозв'язок), до переваг якого відносяться забезпечення високої якості передачі мови, збільшена пропускна здатність у займаному частотному ресурсі, зниження витрат на базове устаткування та ін. Система розвиває класичний метод транкінгової ретрансляції радіосигналів, особливістю якого є забезпечення радіостанцій району надійним зв'язком за допомогою потужного ретранслятора. Перевагою IP Site Connect є передача мовних пакетів IP-протоколом, що дозволяє використовувати для зв'язку на великих відстанях стандартні IP-канали і навіть Інтернет. Система дозволяє забезпечити сталим радіозв'язком об'єкти зі складною інфраструктурою і топологією, об'єднання в єдину мережу кількох груп користувачів і віддалених радіостанцій з

диспетчерським автоматизованим робочим місцем, організувати радіозв'язок між абонентами, що знаходяться у різних приміщеннях одного будинку, між якими нема прямого радіозв'язку, або абонентів, що знаходяться в різних будівлях, в екранованому приміщенні (шахті, металевому ангарі) і поза ним.

Ядром системи є сайт-ретранслятор, який забезпечує перетворення радіосигналів для передачі по IP-каналі, віддалене (через комп'ютерну мережу) керування будь-якою радіостанцією, прослуховування, передачу в ефір голосових повідомлень та ін. Сайт будується з урахуванням останніх тенденцій по створенню комплексних систем радіозв'язку на основі IP-мереж для управління і інформаційного забезпечення різних служб громадської безпеки під час проведення спільних операцій і для інших організацій, що використовують радіозв'язок у своїй повсякденній діяльності.

Для передачі мовних повідомлень на великі відстані система використовує звичайні проводові канали, що відрізняються високою надійністю, але, як і в багатьох системах проводового зв'язку, у роботі IP Site Connect велике значення має вирішення проблеми "останньої милі" – забезпечення надійним радіозв'язком пересувної радіостанції з найближчим ретранслятором. Особливістю задач ДСНС є користування зв'язком під час НС у житлових будинках, технологічних приміщеннях і складних спорудах підприємств. Відомо, що у міських умовах якість радіозв'язку на ультракоротких хвилях суттєво залежить від впливу перепон, що виникають на шляху РРХ. Для врахування цього впливу потрібно обчислити максимальну відстань зв'язку для найбільш "уразливого" напрямку двобічної радіосистеми "мобільна станція – ретранслятор", оскільки характеристики мобільного терміналу як правило обмежені вимогами щодо його мобільності. Умови і якість радіозв'язку в цьому ланцюгу оперативного управління можуть суттєво залежати від особливостей міської забудови.

Тому актуальною проблемою є прогнозування граничної дальності радіозв'язку радіостанцій системи IP Site Connect з ретранслятором з урахування впливу напівпрозорих радіоперепон.

## **2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми**

В роботі [1] обґрунтовано доцільність використання IP-протоколу для збільшення дальності та об'єднання в єдину мережу мобільних засобів радіозв'язку, аналізується можливий вплив поляризації сигналу та земної поверхні на якість радіообміну, але у роботі не враховується вплив будівельних перепон шляху розповсюдження на дальність радіозв'язку.

В роботі [2] запропонована експертно-статистична методика оцінки оперативних можливостей аварійно-рятувальних підрозділів, визначення чисельності підрозділів територіального підпорядкування з урахуванням регіональних особливостей територіального виникнення небезпеки природного та техногенного характеру. Однак вплив якості радіозв'язку на оперативні можливості рятувальників в умовах сучасного міста не розглянуто.

В роботі [3] запропоновано використовувати методику розрахунку дальності радіозв'язку з урахуванням втрат енергії сигналів в атмосфері, але при зв'язках на короткі відстані такі втрати є несуттєвими, додаткового дослідження вимагає вплив напівпрозорих радіоперепон на дальність радіозв'язку.

В роботі [4] обґрунтовано доцільність використання системи радіозв'язку стандарту DMR IP Site Connect для організації мережі пересувних радіостанцій

служб швидкого реагування при умові забезпечення стійкої ретрансляції сигналів. Для підвищення ефективності використання системи пропонуються такі методи, як з'єднання двох або більше розрізнених локацій у єдину мережу, створення більш ефективних зон радіочастотного покриття, розсилка оголошень на всі сайти у разі надзвичайної ситуації або особливих подій. Для подолання міських проблем РРХ пропонується використання різних частотних діапазонів, додаткових ретрансляторів. При цьому не аналізується питання вибору найбільш важких для радіозв'язку ситуацій.

В роботі [5] показано перевагу цифрових систем радіозв'язку стандарту DMR IP Site Connect з точки зору збільшення дальності надійного радіозв'язку порівняно при роботі в однакових умовах по низці параметрів (рівень потужності передачі, висота антени, шум приймача, смуга пропускання фільтра, відсутність обробки звуку, антенно-комбіноване обладнання і т.д.), велику увагу приділено забезпеченню зони безперервного покриття радіозв'язку в умовах міста, але розрахунок робочої зони системи запропоновано без урахування напівпрозорих перепон.

В роботі [6] пропонується методика розрахунку дальності радіозв'язку на ультракоротких хвилях з урахуванням кривизни земної поверхні. Такий підхід є більш ефективним для радіозв'язку на великих відстанях при відсутності суттєвих земних або будівельних перепон, проте стає дуже спрощеним при роботі радіозасобів в умовах щільної забудови. Тим не менш можливе урахування геометричного фактору у комплексі з енергетичним для більш досконалого дослідження умов роботи рухомої радіостанції.

В роботі [7] для розрахунку дальності радіозв'язку пропонується використання рівняння передачі Х.Фріса з урахуванням факторів, що впливають на потужність сигналу на великих дистанціях радіозв'язку, наведено методику розрахунку дальності радіозв'язку у діапазоні ультракоротких хвиль на основі енергетичного фактору. При цьому не враховано нерегулярні втрати, які виникають при організації радіозв'язку в міських умовах на відносно коротких відстанях.

Ряд робіт присвячено дослідження властивостей будівельних та інших матеріалів з точки зору пропускання електромагнітних хвиль. У роботі [8] обговорюються низка поглиначів електромагнітних хвиль, що діють у вільному просторі і порожнинах. Описуються класичні конфігурації, та сучасні розробки. Досліджуються властивості матеріалів при впливі сигналів у вузькій або широкій смузі частот. В роботі [9] досліджено характеристики поглинання електромагнітних хвиль матеріалами на основі фериту для проектування внутрішніх порошкових магнітних поглиначів електромагнітної хвилі заданої частоти. У роботі [10] подано методику розрахунку втрат енергії радіосигналів у напівпрозорих перепонах на частотах вище за 100 МГц. Отримані результати безумовно цікаві для урахування умов забезпечення стійкого радіозв'язку, але в роботах не досліджується вплив втрат напівпрозорих матеріалів на зменшення дальності радіозв'язку, не містять рекомендацій, щодо розрахунку дальності радіозв'язку при наявності перепон на шляху поширення.

При моделюванні роботи засобів радіозв'язку широко застосовуються методи математичного моделювання системи прикладного схемотехнічного моделювання Micro-Cap [11], однак в зазначеній системі безпосередньо не представлені елементи, що дозволяють моделювати втрати потужності сигналів під час розповсюдження та відповідний вплив на дальність радіообміну.

В роботі [12] наводяться технічні характеристики радіостанцій системи IP

Site Connect, що можуть бути використані при проведенні розрахунків дальності радіозв'язку, обґрунтовуються переваги системи з точки зору безпечного використання в умовах надзвичайної ситуації. Але в роботі не аналізуються характеристики дальності ретрансляції сигналів.

У зв'язку із цим, невирішеною частиною проблеми є розробка ефективних розрахункових методик для визначення граничного віддалення рухомої станції IP Site Connect у залежності від кількості і властивостей перепон на шляху РРХ з метою забезпечення роботи розподіленої телекомунікаційної системи оперативного управління ДСНС в умовах щільної міської забудови.

### 3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка методики визначення дальності ретрансляції сигналів пересувної радіостанції системи IP Site Connect при наявності таких напівпрозорих радіоперепон, як будівельні конструкції сучасного міста. Оскільки у двобічному радіообміні радіостанції і ретранслятора більш уразливим виявляється канал передачі даних "в гору", тобто від радіостанції до ретранслятора, гранична дальність ретрансляції має визначатися по характеристикам роботи цього напрямку.

Для досягнення мети роботи були поставлені завдання:

- розробити критерій та загальну методику розрахунку дальності прийому сигналів ретранслятором IP Site Connect з урахування впливу напівпрозорих радіоперепон;
- дослідити вплив типових напівпрозорих перепон сучасного міста на дальність прийому сигналів ретранслятором системи IP Site Connect.

### 4. Розробка методики розрахунку дальності радіозв'язку при наявності напівпрозорих радіоперепон

Розв'язання поставленої задачі здійснювалося за допомогою методів математичного моделювання, геометричного проектування, оптимізації обчислювального процесу. Розрахункові графіки та обчислювальні експериментальні дані отримувалися за допомогою математичного апарату системи прикладного схемотехнічного моделювання "Micro-Cap" [11].

Проведемо оцінку дальності радіозв'язку між радіостанцією, що працює у будівлі, і ретранслятором, який забезпечує обмін IP-пакетів мобільної радіостанції у районі НС з урахуванням втрат у перепонах будівель. Кожна пара "передавач-приймач" характеризується енергетичним запасом (потенціалом), необхідним для компенсації послаблень радіосигналу. Вважаємо, що належний зв'язок буде забезпечено у випадку, коли потужність сигналу на вході приймача перевищує значення чутливості. У досить загальному випадку [7] потужність сигналу на вході приймача, дБм, розраховується у відповідності до виразу (1):

$$P_{\text{Вх}} = P_{\text{T}} + K_{\text{ВП}} + K_{\text{П}} + K_{\text{ТР}} + G_{\text{T}} + G_{\text{R}}, \quad (1)$$

де  $P_{\text{T}}$  – потужність передавача радіостанції, дБм;  $K_{\text{ВП}}$  – коефіцієнт втрат потужності сигналу у вільному просторі, дБ;  $K_{\text{П}}$  – коефіцієнт втрат потужності сигналу у перепоні, дБ;  $K_{\text{ТР}}$  – коефіцієнт втрат потужності сигналу на трасі РРХ, дБ;  $G_{\text{T}}, G_{\text{R}}$  – коефіцієнти підсилення антен передавача й приймача по потужності,

дБ; В наш час на ринку систем IP Site Connect найбільш поширені радіостанції, що працюють у діапазонах частот VHF: 136-174 МГц і UHF: 400-470 МГц (155 і 435 МГц) [12]. В цих діапазонах поглинання радіохвиль в атмосфері є несуттєвим, а спрямовуючі властивості антен майже не використовуються, щоб забезпечити всебічний прийом. Тому дальність радіозв'язку визначається, переважно, чотирма параметрами: потужність передавача, чутливість приймача, ослаблення сигналу у вільному просторі, ослаблення сигналу у перепоні (стінах будівель).

Ослаблення потужності сигналу, разів, у вільному просторі [7] визначається робочою частотою системи у відповідності до виразу (2):

$$K_{\text{ВП}} = \frac{\lambda^2}{(4\pi D)^2}, \quad (2)$$

де  $D$  – відстань від передавача до приймача, м;  $\lambda$  – довжина хвилі, м.

Типове значення потужності передавачів у діапазонах 155 і 435 МГц дорівнює 1 Вт або 30 дБм.

Для радіопристроїв, працюючих на частотах 155 і 437 МГц, які відповідають довжині хвилі 1,94 м і 0,69 м відповідно, використовуються трансивери, максимальна чутливість яких у аналоговому і цифровому режимі дорівнює 0,3μV або –117 дБм. Для забезпечення стійкої роботи радіостанції в умовах міської інтерференції має бути передбачений енергетичний запас у 30-35 дБ. Таким чином з урахуванням чутливості типового приймача, потужності випромінювання передавачів у діапазонах 155 і 435 МГц та запасу на завмирання сигналу в умовах міста у 33 дБ, отримуємо значення максимального загасання сигналу на шляху РРХ  $K_{\text{МАХ}} = 114$  дБ.

Розповсюдження сигналу через напівпрозорі перепони призводить до додаткових втрат потужності, при цьому різні матеріали перепон вносять різні ослаблення сигналу [10]. У табл. 1 наведено значення ослаблення сигналу у дБ при проходженні через будівельні перепони для більш імовірних умов радіообміну у щільній міській забудові.

**Табл. 1. Ослаблення радіосигналу при проходженні скрізь перепони, дБ**

| Матеріал перепони        | Кількість перепон |    |    |    |     |
|--------------------------|-------------------|----|----|----|-----|
|                          | нема              | 1  | 2  | 3  | 4   |
| Пінобетон                | 0                 | 4  | 8  | 12 | 16  |
| Цегла                    |                   | 6  | 12 | 18 | 24  |
| Бетон                    |                   | 10 | 20 | 30 | 40  |
| Залізобетон (ЗБ)         |                   | 20 | 40 | 60 | 80  |
| ЗБ з об'ємним армуванням |                   | 30 | 60 | 90 | 120 |

З урахуванням цих втрат з виразу (3) можна розрахувати залишок припустимого загасання сигналу у вільному просторі, яке визначає максимальну відстань радіостанції від ретранслятора з урахуванням втрат у напівпрозорих перепонах, дБ:

$$K_{\text{ВП}} = P_{\text{Вх}} - P_{\text{Т}} - K_{\text{ТР}} - K_{\text{П}} = K_{\text{МАХ}} - K_{\text{П}}. \quad (3)$$

Визначені таким чином дані наведено у табл. 2.

**Табл. 2. Граничне ослаблення радіосигналу у вільному просторі з урахуванням втрат при проходженні скрізь перепони  $K_{ВП}$ , дБ**

| Матеріал перепони        | Кількість перепон |     |     |     |    |
|--------------------------|-------------------|-----|-----|-----|----|
|                          | нема              | 1   | 2   | 3   | 4  |
| Пінобетон                | 114               | 110 | 106 | 102 | 98 |
| Цегла                    |                   | 108 | 102 | 96  | 90 |
| Бетон                    |                   | 104 | 94  | 84  | 74 |
| Залізобетон (ЗБ)         |                   | 94  | 74  | 54  | 34 |
| ЗБ з об'ємним армуванням |                   | 84  | 54  | 24  | -  |

Ця величина може використовуватися в якості критерію для визначення максимального віддалення радіостанції системи IP Site Connect від ретранслятора.

Визначення граничної дальності може проводитись шляхом розрахунку по (2)–(3), за допомогою графіків втрат у вільному просторі (рис. 1), розрахованих для різних масштабів максимальних відстаней, або табличним шляхом для значень параметрів, розрахованих заздалегідь для найбільш актуальних на практиці ситуацій, або з виразу (4), м:

$$D_{\text{MAX}} = \frac{\lambda \cdot 10^{\frac{K_{ВП}}{20}}}{4\pi}, \quad (4)$$

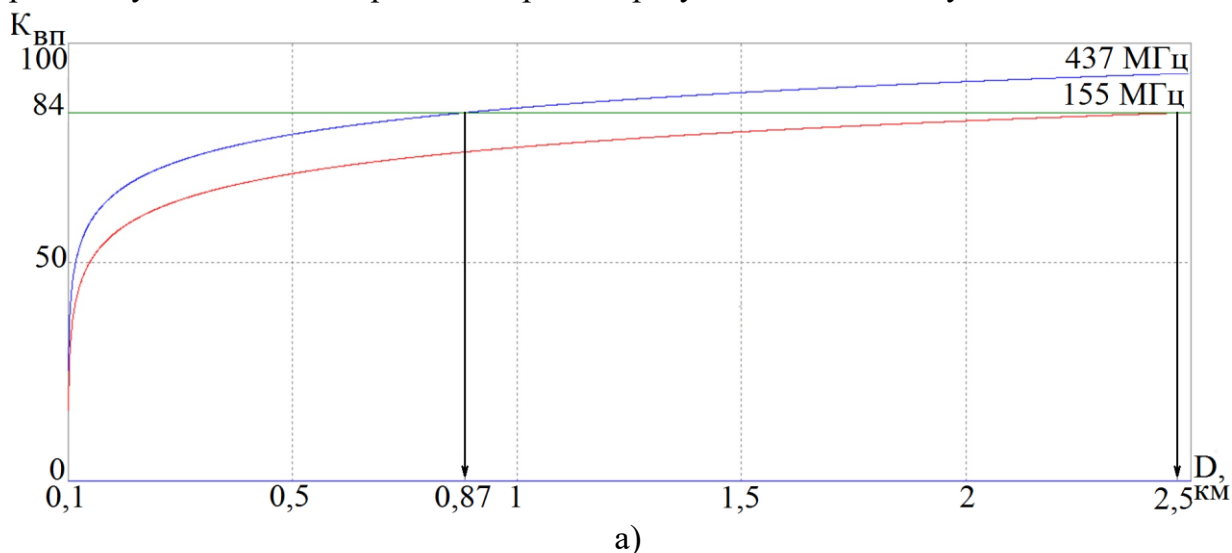
що впливає з (2)–(3).

Розрахунок графіків здійснювався за допомогою системи прикладного схемотехнічного моделювання "Micro-Cap" для діапазонів дальностей до 2,5, 14 та 80 км і представлено на рис. 1, а), б), в) відповідно.

Користуючись граничними значеннями припустимого загасання у вільному просторі можна визначити порогові віддалення радіостанції від ретранслятора, за якими забезпечується задовільна якість функціонування радіоканалу. Як приклад на графіках показано визначення граничної дальності зв'язку для радіостанцій діапазонів 155 і 437 МГц для випадків граничного ослаблення сигналу у 84, 98 і 114 дБ.

## 5. Дослідження впливу напівпрозорих перепон на дальність прийому сигналів ретранслятором

З метою дослідження впливу напівпрозорих перепон на дальність прийому сигналів ретранслятором системи IP Site Connect проведено розрахунки граничної дальності у діапазоні 155 МГц за відсутності та при наявності від 1 до 4 перепон з різних будівельних матеріалів. Отримані результати наведено у табл. 3.



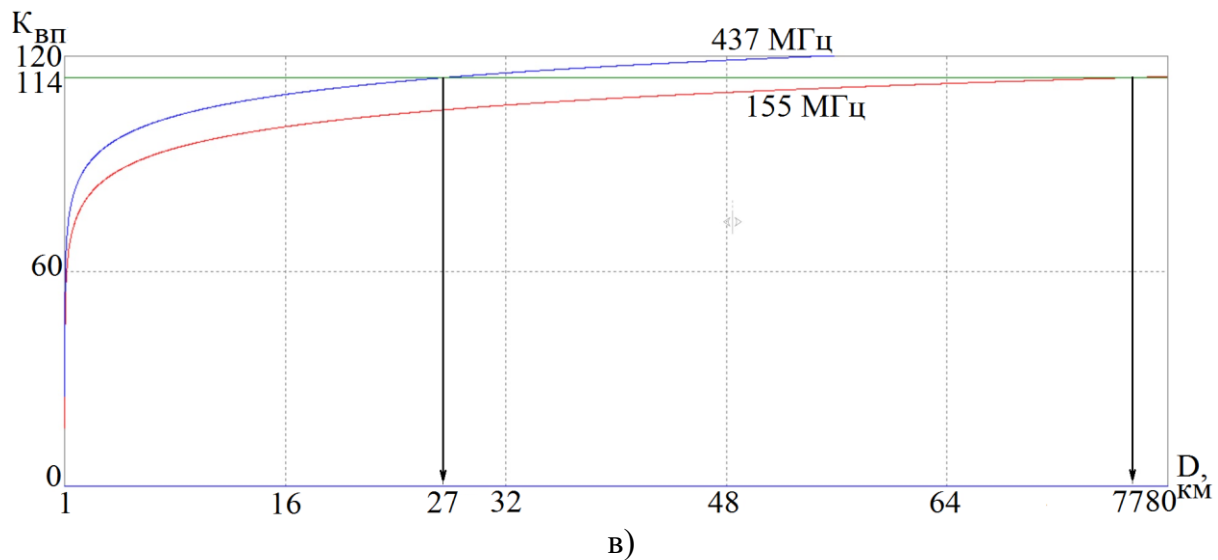
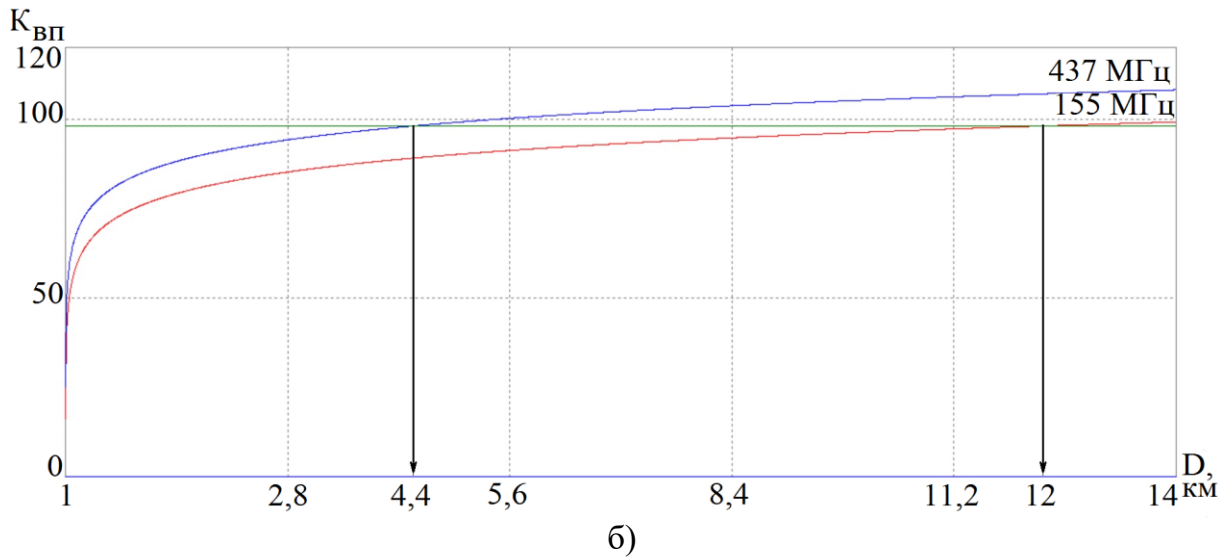


Рис. 1. Графіки залежності ослаблення сигналу, дБ, у вільному просторі від відстані на відстанях до 2,5, 14 та 80 км

Табл. 3. Граничні віддалення радіостанції від ретранслятора з урахуванням перепон у діапазоні 155 МГц, км

| Матеріал перепони        | Кількість перепон |     |       |       |       |
|--------------------------|-------------------|-----|-------|-------|-------|
|                          | нема              | 1   | 2     | 3     | 4     |
| Пінобетон                | 77                | 49  | 31    | 19    | 12    |
| Цегла                    |                   | 39  | 19    | 9,7   | 4,9   |
| Бетон                    |                   | 24  | 7,7   | 2,4   | 0,77  |
| Залізобетон (ЗБ)         |                   | 7,7 | 0,77  | 0,077 | 0,008 |
| ЗБ з об'ємним армуванням |                   | 2,4 | 0,077 | 0,002 | -     |

У табл. 4 наведені результати розрахунку граничної дальності у діапазоні 435 МГц за відсутності та при наявності від 1 до 4 перепон з різних будівельних матеріалів.

**Табл. 4. Граничні віддалення радіостанції від ретранслятора з урахуванням перепонов у діапазоні 435 МГц, км**

| Матеріал перепонов       | Кількість перепонов |      |       |       |       |
|--------------------------|---------------------|------|-------|-------|-------|
|                          | нема                | 1    | 2     | 3     | 4     |
| Пінобетон                | 27                  | 17   | 11    | 6,9   | 4,4   |
| Цегла                    |                     | 13   | 6,9   | 3,5   | 1,7   |
| Бетон                    |                     | 8,7  | 2,8   | 0,87  | 0,28  |
| Залізобетон (ЗБ)         |                     | 2,8  | 0,28  | 0,028 | 0,003 |
| ЗБ з об'ємним армуванням |                     | 0,87 | 0,028 | 0,001 | -     |

В ряді випадків при проведенні розрахунків виникає потреба враховувати кілька перепонов, що складаються з різних матеріалів. У цьому випадку необхідно підрахувати сумарне загасання  $K_{\text{ПСУМ}}$ , як суму наведених у табл. 1 для відповідних матеріалів втрат, визначити  $K_{\text{ВП}}$  згідно (3) і визначити  $D_{\text{МАХ}}$  з таблиці 3 чи 4 (для відповідного діапазону), яке відповідає найближчому значенню  $K_{\text{ВП}}$ , або скористатися виразом (4).

## 6. Обговорення результатів дослідження дальності радіозв'язку IP Site Connect

Дальність радіозв'язку IP Site Connect в умовах міста визначається низкою факторів, головними з яких є кількість перепонов, матеріал будівлі; суттєвий вплив накладає також вибір діапазону, у якому здійснюється радіозв'язок. Як видно з результатів розрахунку, наведених у табл. 3, на якість радіозв'язку суттєво впливає матеріал перепонов. Найбільш важкими умовами радіообміну є забезпечення радіозв'язку через залізобетонні споруди, але у будь-якому випадку при наявності більше двох перепонов дальність радіозв'язку суттєво скорочується. Як видно з табл. 4, порівняно з діапазоном метрових хвиль в UHF діапазоні зростає вплив просторових втрат, що пов'язано зі зменшенням довжини радіохвилі. Тому навіть наявність другої перепонов може призводити до різкого погіршення або втрат сигналу радіостанції через зменшення розміру робочої зони. У табл. 3-4 затемненим фоном виділені значення, що відповідають сполученням параметрів радіозв'язку, при яких телекомунікаційний канал не забезпечує дальність радіоприйому у 10 км чи більше. Бачимо, що такі ситуації можуть виникати досить часто, якщо кількість перепонов перевищує дві, або коли рятувальні роботи ведуться у залізобетонних або екранованих приміщеннях. У випадку, якщо через умови радіотраси дальність зв'язку є незадовільною, мають бути передбачені інші технічні або організаційні методи забезпечення радіообміну. З технічного боку такими методами можуть бути, наприклад, використання супутникового, короткохвильового радіозв'язку, використання більш потужних радіостанцій або чутніших радіоприймачів, застосування додаткових ретрансляторів на найбільш важливих напрямках радіообміну. Простим методом організаційного характеру є використання поляризаційних властивостей антен радіозасобів, ретельніший вибір позиції пересувної радіостанції, урахування екрануючих та інших впливів місцевості на якість радіообміну.

## 7. Висновки

1. Розроблено критерій та методику визначення дальності ретрансляції сигналів радіостанції системи IP Site Connect при наявності напівпрозорих радіоперепонов характерних для будівельних конструкцій міста. Для визначення граничної відстані радіостанції пропонується використовувати припустиме загасання сигналу у



вільному просторі, розраховане з урахуванням втрат у напівпрозорих перепонах. Така методика не забезпечує врахування втрат потужності сигналів на великих відстанях і тому має застосовуватися в умовах міста. Для отримання оцінок граничної відстані може використовуватися аналітична або графічна залежність загасання сигналу у вільному просторі, значення якого порівнюється з розрахованим для відповідних умов граничним значенням.

2. Проведені розрахунки дальності ретрансляції сигналів системи IP Site Connect дозволяють виявити умови, при яких якість радіозв'язку суттєво зменшується, або він стає неможливим. Зменшення розміру робочої зони при наявності однієї перепони, порівняно з умовами відкритої радіотраси, може скласти від 1,6 до 32 разів у діапазонах VHF і UHF. Для забезпечення якості радіозв'язку в умовах наявності суттєвих радіоперепон мають застосовуватися технічні або організаційні методи забезпечення радіообміну. Практичне застосування наведених результатів дозволяє підвищити надійність та якість застосування пересувних радіостанцій системи оперативного управління при виконанні завдань рятувальними підрозділами ДСНС України.

### Література

1. Sinisa Subotic. Radio over IP voice and Signalling characterization through system-of-systems radio over IP solution deployment. A thesis for the degree of master of applied science in engineering. Carleton University. Ottawa. 2014. URL: [https://curve.carleton.ca/system/files/etd/5c860d3e-3e3b-48ea-97bb-431387f44010/etd\\_pdf/5fd6dec864f4c1572ba0501c29a7fd8b/subotic-radiooveripvoiceandsignallingcharacterization.pdf](https://curve.carleton.ca/system/files/etd/5c860d3e-3e3b-48ea-97bb-431387f44010/etd_pdf/5fd6dec864f4c1572ba0501c29a7fd8b/subotic-radiooveripvoiceandsignallingcharacterization.pdf)

2. Андронов В. А., Бурменко О. А., Сошинський О. І., Шевченко Р. І. Формування експертно-статистичної методики оцінки оперативних можливостей територіальних підрозділів ДСНС // Проблеми надзвичайних ситуацій. 2020. № 1(31). С.4–13.

3. Загора А. В., Фещенко А. Б., Селеенко Е. Е. Учёт затухания радиоволн в задачах прогнозирования дальности радиосвязи пожарно-спасательной службы. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2012. № 2. С.357–360.

4. Professional Digital Two-Way Radio System IP Site Connect. System Integration Guide. 2012. URL: <http://www.psv.rs/wp-content/uploads/2012/03/IP-Site-Connect.pdf>

5. Professional digital two-way radio-system. MOTOTRBO™ System Planner. 2011. URL: [https://www.lightspeedcommunication.net/wp-content/uploads/2015/12/MOTO-TRBO-System\\_Planner-111715.pdf](https://www.lightspeedcommunication.net/wp-content/uploads/2015/12/MOTO-TRBO-System_Planner-111715.pdf)

6. Two Way Radio Range. 2018. URL: <http://blog.radiotronics.co.uk/2018/01/two-way-radio-range>

7. Range Calculation for 300 MHz to 1000 MHz Communication Systems. Atmel Corporation. 2015. URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-9144-Range-Calculation\\_Application-Note.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-9144-Range-Calculation_Application-Note.pdf)

8. Costa F., Monorchio A., Manara G. Theory, design and perspectives of electromagnetic wave absorbers. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. 2016. № 2. V. 5. P. 67–74.

9. Hideo O., Minekazu T., Hiroshi O., Noboru S., Yasuji N., Hideki O., Francis P. D. Electromagnetic Wave Absorption Characteristics Adjustment Method of Recycled Powder-Type Magnetic Wood for Use as a Building Material. IEEE Transactions on Magnetism. 2012. № 11. P. 3498–3500.

10. Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz. Recommendation ITU-R P.2040-1. International Telecommunication Union. 2015. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-I!!PDF-E.pdf)

11. Micro-Cap 11. Electronic Circuit Analysis Program User's Guide. 2016. URL: <https://www.spectrum-soft.com/download/ug11.pdf>

12. Motorola DP4000 Ex Series digital ATEX radios. 2015. URL: <https://www.brentwoodradios.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/Technical-Manual.pdf>

*A. Zakora, PhD, Associate Professor, Senior Lecturer of the Department*  
*A. Feshchenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*  
*L. Borysova, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department*  
*National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

## RANGE OF MOBILE RADIO COMMUNICATIONS OF IP SITE CONNECT SYSTEM IN CITY CONDITIONS

A mathematical model of the propagation of radio signals in the range of the IP Site Connect system mobile radio stations has been developed, taking into account the factors of their active absorption on the path of propagation in the city, namely, the problem of accounting for the influence of translucent radio obstacles of building structures. An analytical as well as a graphical methodology has been proposed, which makes it possible to carry out the necessary calculations of the range for various properties of radio obstacles and their different number in the path of radio wave propagation (RWR). Reasonable requirements for the quality indicators of radio reception in the presence of obstacles. As a criterion for determining the threshold range, the value of the residual signal attenuation, calculated taking into account the power losses in building structures, is proposed. The problem is solved in a partially idealized formulation with some restrictions adopted in the work: the case of coaxial coplanar arrangement of the receiving and transmitting antennas is considered, the loss of signal power in the atmosphere at short distances is not taken into account. As a parameter limiting the range of radio communication, the signal power at the input of the repeater receiver is considered, taking into account the power losses along the RRV path. Possible options for constructing a computational algorithm are considered, with preference given to a graphical method for determining the threshold range. The given results of calculating the range for various conditions of radio reception in conditions of dense urban development. On the basis of the calculations carried out, recommendations were developed to prevent or solve the problem of loss of radio communication by the rapid response service. Analytical and graphic materials are given for various options for the practical implementation of the calculation method. The calculations and reference materials shown take into account the settings of the IP Site Connect class radios that can be used in urban environments. Taking into account the absorption of radio waves in semitransparent radio obstacles when predicting the range of radio communication in the emergency area allows to optimize the work of liquidators to evacuate the population and material values and to ensure safe working conditions for rescuers.

**Keywords:** maximum range of radio communication, propagation of radio waves, IP Site Connect, semi-transparent radio obstacle, signal fading

### References

1. Sinisa Subotic. Radio over IP voice and Signalling characterization through system-of-systems radio over IP solution deployment. A thesis for the degree of master of applied science in engineering. Carleton University. Ottawa. 2014. URL: [https://curve.carleton.ca/system/files/etd/5c860d3e-3e3b-48ea-97bb-431387f44010/etd\\_pdf/5fd6dec864f4c1572ba0501c29a7fd8b/subotic-radiooveripvoiceandsignallingcharacterization.pdf](https://curve.carleton.ca/system/files/etd/5c860d3e-3e3b-48ea-97bb-431387f44010/etd_pdf/5fd6dec864f4c1572ba0501c29a7fd8b/subotic-radiooveripvoiceandsignallingcharacterization.pdf)

2. Andronov V. A., Burmenko O. A., Soshy`ns`ky`j O. I., Shevchenko R. I. Formuvannya ekspertno-staty`stychnoyi metody`ky` ocinky` operaty`vny`x mozh-  
 .....  
 Civil Security. DOI:

ly`vostej tery`torial`ny`x pidrozdiliv DSNS. Problemy` nadzvy`chajny`x sy`tuacij. 2020. № 1(31). P. 4–13. URL: <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/31/1.pdf>

3. Zakora A.V., Feschenko A.B., Seleenko E.E. UchYot zatushaniya radiovoln v zadachah prognozirovaniya dalnosti radiosvyazi pozharno-spasatelnoy sluzhbyi. Pozharnaya bezopasnost: problemy i perspektivy. 2012. № 2. P. 357–360.

4. Professional Digital Two-Way Radio System IP Site Connect. System Integration Guide. 2012. URL: <http://www.psv.rs/wp-content/uploads/2012/03/IP-Site-Connect.pdf>

5. Professional digital two-way radio-system. MOTOTRBO™ System Planner. 2011. URL: [https://www.lightspeedcommunication.net/wp-content/uploads/2015/12/MOTO-TRBO-System\\_Planner-111715.pdf](https://www.lightspeedcommunication.net/wp-content/uploads/2015/12/MOTO-TRBO-System_Planner-111715.pdf)

6. Two Way Radio Range. 2018. URL: <http://blog.radiotronics.co.uk/2018/01/two-way-radio-range>

7. Range Calculation for 300 MHz to 1000 MHz Communication Systems. Atmel Corporation. 2015. URL: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-9144-Range-Calculation\\_Application-Note.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/Atmel-9144-Range-Calculation_Application-Note.pdf)

8. Costa F., Monorchio A., Manara G. Theory, design and perspectives of electromagnetic wave absorbers. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. 2016. № 2. V. 5. P. 67–74.

9. Hideo O., Minekazu T., Hiroshi O., Noboru S., Yasuji N., Hideki O., Francis P. D. Electromagnetic Wave Absorption Characteristics Adjustment Method of Recycled Powder-Type Magnetic Wood for Use as a Building Material. IEEE Transactions on Magnetics. 2012. №11. P. 3498–3500.

10. Effects of building materials and structures on radiowave propagation above about 100 MHz. Recommendation ITU-R P.2040-1. International Telecommunication Union. 2015. URL: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-I!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.2040-1-201507-I!!PDF-E.pdf)

11. Micro-Cap 11. Electronic Circuit Analysis Program User's Guide. 2016. URL: <https://www.spectrum-soft.com/download/ug11.pdf>

12. Motorola DP4000 Ex Series digital ATEX radios. 2015. URL: <https://www.brentwoodradios.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/Technical-Manual.pdf>

Надійшла до редколегії: 03.04.2020

Прийнята до друку: 27.04.2020