

УДК 654.16

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

А. Б. Феценко, к.т.н., доцент, ст. викл. каф. (ORCID 0000-0002-4869-6428)

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

В. О. Михайлик, курсант (ORCID 0000-0001-9544-7937)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ ЛОКАЛЬНОЇ RTLS-СИСТЕМИ РАЙОНУ НАДЗВИЧАЙНОЇ СИТУАЦІЇ

Розроблено математичну модель різниче-далекомірної системи локального позиціонування, яка у режимі реального часу дозволяє здійснювати прогнозування робочої зони системи з урахуванням будівельних перепон зони надзвичайної ситуації. Враховано умови розповсюдження високочастотних сигналів, що визначають якість позиціонування та точнісні характеристики системи. Для спрощення моделювання прийнято ряд припущень стосовно параметрів перепон і умов розповсюдження радіохвиль, які дозволяють спростити процес прогнозування. На основі геометричного критерію та критерію максимального віддалення отримано модифікований коефіцієнт геометрії (коефіцієнт зони), що пропонується використовувати як основу математичної моделі прогнозування. З використанням даного критерію розроблено розрахунковий алгоритм та програму оперативного прогнозування робочої зони локального позиціонування, що дозволяє врахувати вплив кількості маяків, геометрії їх позиціонування та розташування будівельних перепон на шляху розповсюдження радіосигналів на форму робочої зони. У процесі моделювання враховано як геометричні, так і загально-фізичні закономірності формування поля радіонавігаційного забезпечення. Проведено дослідження роботи системи моделювання в умовах наявності кількох радіомаяків, за відсутності та при наявності у межах робочої зони кількох будівельних перепон. Розроблена математична модель дозволяє проводити розрахунок розмірів зон позиціонування з визначенням граничних умов надійності та точності навігаційного забезпечення рятівників. Врахування процесу прогнозування впливу перепон зони надзвичайної ситуації на вид та розмір робочої зони системи позиціонування дозволяє керівнику роботами прийняти правильне управлінське рішення, забезпечити безпечні умови роботі рятувальників та оптимізувати організацію робіт щодо ліквідації надзвичайної ситуації.

Ключові слова: RTLS-система, локальне позиціонування, точність позиціонування, розповсюдження радіохвиль

1. Вступ

Відстеження у реальному часі розташування пожежних і людей, що потрапили в пастку всередині приміщень, є важливою інформацією для пожежної команди. Особливо це стосується висотних або складних будівель (промислові об'єкти великої протяжності, кар'єри, шахти, місцевість зі складним рельєфом і т.д.) [1]. Завдяки RTLS-системі (від англ. Real-time Locating Systems – система позиціонування у режимі реального часу) командир пожежної охорони може визначити, чи є пожежні, які опинилися в пастці або загубилися у вогні, відстежуючи їх позиції на плані будови. Сучасні RTLS-системи вирішують ключові проблеми для пожежної команди, включаючи відстеження та візуалізацію внутрішнього і зовнішнього розташування пожежних і людей у приміщеннях, а також обмін інформацією та синхронізацію між різними системами, такими як портативні термінали пожежних, системи управління центру керування і мобільні командні платформи, можуть забезпечувати управління всередині і поза приміщеннями у реальному часі, надавати картографічні послуги для аварійно-рятувальної команди під час пожежі.

У наш час значна кількість мобільних технічних систем має в своєму складі системи позиціонування [2], які зазвичай приймають сигналів глобальної супутникової навігаційної системи GPS. Однак в умовах, коли прийом сигналів цієї системи ускладнено, або в разі їх повної відсутності система не може виконувати свої функ-

ції. У таких умовах для визначення координат мобільних об'єктів необхідні альтернативні методи позиціонування, такі як розгортання локальної RTLS-системи, що складається зі стаціонарно розташованих маяків з відомими координатами і мобільних об'єктів, координати яких визначаються. Але в умовах щільної міської забудови значно погіршується якість прийому GPS-трекерами сигналів, що використовуються задля позиціонування.

Виходячи з цього актуальною проблемою, що вимагає вирішення, є недосконалість прогнозування та забезпечення (оперативне корегування) робочої зони локальної RTLS-системи в умовах надзвичайної ситуації.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

В останні п'ять років системи GPS-моніторингу набули суттєвого поширення в європейських країнах. Наприклад, існуюча у Республіці Польща система проти-пожежної служби "СМОК" [1] використовувала відповідне обладнання на більш ніж 3 тисячах пожежних автомобілів, а спеціалізоване програмне забезпечення встановлено у 16 штаб-квартирах воєводських управлінь та районів, але у роботі не аналізується досвід застосування цих систем в умовах наявності на шляху РРХ системи будівельних перепон. У роботі [2] відзначено поширення саме різнице-далекомірною методу для вирішення навігаційного завдання для локальних RTLS, але моделювання робочих зон саме цих систем у роботі не проводилося.

Визначення позицій рятівників може забезпечуватися застосуванням GPS-модулів цифрової мобільної радіостанції системи IP Site Connect DP4401-Ex, що є на озброєнні підрозділів ОРС ДСНС [3] і, проте відомі параметри радіостанції не дозволяють враховувати реальний вплив втрат потужності сигналу на робочу зону позиціонування. Для математичного моделювання робочої зони позиційної системи навігації також можна використати загальну методику розрахунку [4], але при така методика не враховує вплив перепон шляху РРХ на вид робочої зони.

Методологічні засади моделювання робочої зони НС при впливі факторів хімічного ураження з урахуванням впливу природних факторів на розміри робочої зони створено у [5]. Але при цьому вплив таких факторів, як міські будівлі, під час досліджень не розглянуто.

Систему локального позиціонування на базі технології iBeacon для пожежної команди з метою відстеження та візуалізацію розташування пожежних і людей, що потрапили в пастку, а також обміну інформацією портативними терміналами пожежних і мобільних командних платформ і запропоновано у [6]. При цьому особливості робочої зони системи при роботі у приміщеннях не досліджувалися. В роботі [7] для випадку пошуково-рятувальних операцій запропоновано використання поряд з сигналами GPS, Wi-Fi та Bluetooth оптичного відеокомпасу, що використовує дані інерційної системи навігації та допомагає першим реагуючим людям потрапити у невідоме середовище і при цьому відстежувати орієнтацію та положення постраждалих, у роботі [8] здійснено огляд бездротових технологій внутрішнього позиціонування, що можуть бути використані для навігації під час пожежі, проте питання забезпечення роботи радіонавігаційних пристроїв при наявності будівельних перепон в роботі не розглядалися.

Ряд робіт присвячено дослідження властивостей будівельних та інших матеріалів з точки зору перепускання електромагнітних хвиль. Так у роботі [9] обговорюються низка поглиначів електромагнітних хвиль, що діють у вільному просторі і порожнинах, досліджуються властивості матеріалів при впливі сигналів у вузькій або широкій смузі частот. Отримані результати цікаві для урахування

умов стійкого радіонавігаційного забезпечення, але робота не містить рекомендацій, щодо розрахунку робочої зони системи навігації при з'явленні подібних перепон на шляху поширення сигналів.

При моделюванні роботи системи радіонавігації застосовано програмне середовище Borland C++Builder [10], однак у зазначеному середовищі безпосередньо не представлені елементи, що дозволяють моделювати втрати потужності радіонавігаційних сигналів під час розповсюдження та відповідний вплив на робочу зону радіонавігаційної системи (РНС).

У зв'язку із цим, невирішеною частиною проблеми є відсутність моделей розповсюдження радіохвиль та алгоритмів прогнозування робочої зони RTLS-системи у залежності від кількості маяків і властивостей перепон на шляху їх розповсюдження в умовах надзвичайної ситуації.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є розробка математичної моделі розрахунку робочої зони різнице-далекомірної RTLS-системи при довільному розташування будівельних перепон та радіонавігаційних маяків.

Для досягнення мети роботи були поставлені завдання:

1. Розробити критерій та загальну методику оперативного розрахунку робочої зони RTLS-системи при довільному розташуванні радіонавігаційних маяків та наявності у зоні надзвичайної ситуації перепон міської забудови.

2. Побудувати алгоритм і програмне забезпечення моделі оперативного прогнозування робочої зони RTLS-системи.

3. Експериментально дослідити роботу моделі оперативного прогнозування робочої зони RTLS-системи за відсутності та при наявності у зоні НС перепон міської забудови.

Під час дослідження вважалося, що рухомі об'єкти і радіонавігаційні маяки знаходяться у межах робочої зони та є радіодоступними за відсутності будівельних перепон, якість роботи системи визначається впливом перепон на розповсюдження радіохвиль, а також точністю функціонування системи, яка переважно визначається її геометрією (відносним розташуванням окремих елементів).

4. Розробка критерію та загальної методики оперативного розрахунку робочої зони RTLS-системи

У досить загальному випадку робоча зона РНС визначається кривими рівної точності, у межах яких похибка визначення координат рухомих об'єктів (РО) не перевищує порогового рівня. При визначенні місцеположення (ВМП) різнице-далекомірної RTLS-системи (РДС) за двома лініями положення (ЛП), які визначаються з однаковою точністю, ця похибка визначається виразом [4]:

$$\sigma_r = c \cdot \sigma_\tau \cdot \frac{\sqrt{\sin(\psi_1)^{-2} + \sin(\psi_2)^{-2}}}{2 \cdot \sin \alpha} = c \cdot \sigma_\tau \cdot K_{\bar{A}}, \quad (1)$$

де c – швидкість світла, м/с; σ_τ – середньоквадратична похибка виміру часу затримки сигналу, с; σ_r – середньоквадратична похибка визначення місцеположення, м; ψ_1, ψ_2 – кути, під якими видно обидві бази РНС з місці перетину ЛП, рад; α – кут

перетину ЛП, рад; $K_{\bar{A}} = \frac{\sqrt{\sin(\psi_1)^{-2} + \sin(\psi_2)^{-2}}}{2 \cdot \sin \alpha}$ – коефіцієнт геометрії системи, разів.

За відсутності у зоні НС міських перепонов робоча зона визначається заданим (граничним) значенням похибки ВМП σ_{rMAX} :

$$K_{\hat{A}} \leq \frac{\sigma_{rMAX}}{c \cdot \sigma_r} \quad (2)$$

Наявність у зоні НС будівельних конструкцій призводить до з'явлення в цій зоні додаткових провалів (ділянок незабезпечення) у місцях, де умови прийому радіонавігаційних сигналів внаслідок впливу таких конструкцій стають незадовільними, або точність ВМП стає нижчою за поріг σ_{rMAX} . Основними ефектами, які можуть визивати будівельні перепонов, є неможливість прийому (втрата) сигналу радіонавігаційного маяка (РМ) або суттєве скорочення робочої зони РМ (граничної відстані РО від РМ, за якої якість прийому сигналів залишається задовільною).

Під час побудови робочої зони RTLS-системи такі ділянки можуть бути визначені за геометричним критерієм відсутності на шляху поширення сигналу РМ непрозорих перепонов, та критерієм максимального віддалення від відповідного РМ:

$$D \leq D_{MAX} \quad (3)$$

При цьому необхідно враховувати особливості геометричної форми перепонов, яка в загальному випадку може бути різною для різних перепонов. Оперативний розрахунок коефіцієнту геометрії вимагає також врахування можливості довільного розташування РМ у просторі, оскільки для умов НС не завжди можливо прорахувати таке розміщення заздалегідь.

Таким чином загальна методика оперативного розрахунку робочої зони RTLS-системи вимагає розрахунку модифікованого коефіцієнту геометрії (коефіцієнту зони):

$$K_C = K_{\hat{A}} \cdot K_{\hat{A}} \cdot K_D, \quad (4)$$

де K_B , K_D – коефіцієнти, що відображають області задовільного прийому сигналів РМ за критеріями неперекриття видимості та максимального віддалення при наявності у зоні НС будівельних перепонов.

Межі зон K_B , K_D , можуть бути задані аналітично, але оперативний розрахунок цих зон і можливість прийняття оперативних рішень щодо перешкод вимагають моделювання загального коефіцієнту зони K_3 на ЕОМ. При довільному розташуванні РМ та наявності у зоні НС перепонов міської забудови розрахунок робочої зони вимагає перевірки для кожного фрагменту зони НС відповідності трьом критеріям умов навігації:

– виконання при заданій кількості та розташуванні у просторі РМ умови (2) хоча б для двох ЛП, що створюються двома довільними парами РМ з усіх наявних; різнице-далекомірний метод ВМП передбачає необхідність прийому в точці навігації сигналів як найменш трьох – чотирьох РМ;

– виконання умови прямої видимості, тобто відсутності будівельних перепонов на шляху розповсюдження сигналів для фрагменту зони і кожного з РМ, що забезпечують вимір параметрів обраної пари ЛП;

– виконання умови (3) при наявності будівельних перепонов на шляху РРХ, для кожного з РМ, що забезпечують вимір параметрів обраної пари ЛП.

5. Розробка алгоритму та програмного забезпечення оперативного прогнозування робочої зони RTLS-системи

Алгоритм прогнозування робочої зони RTLS-системи подано на рис. 1.

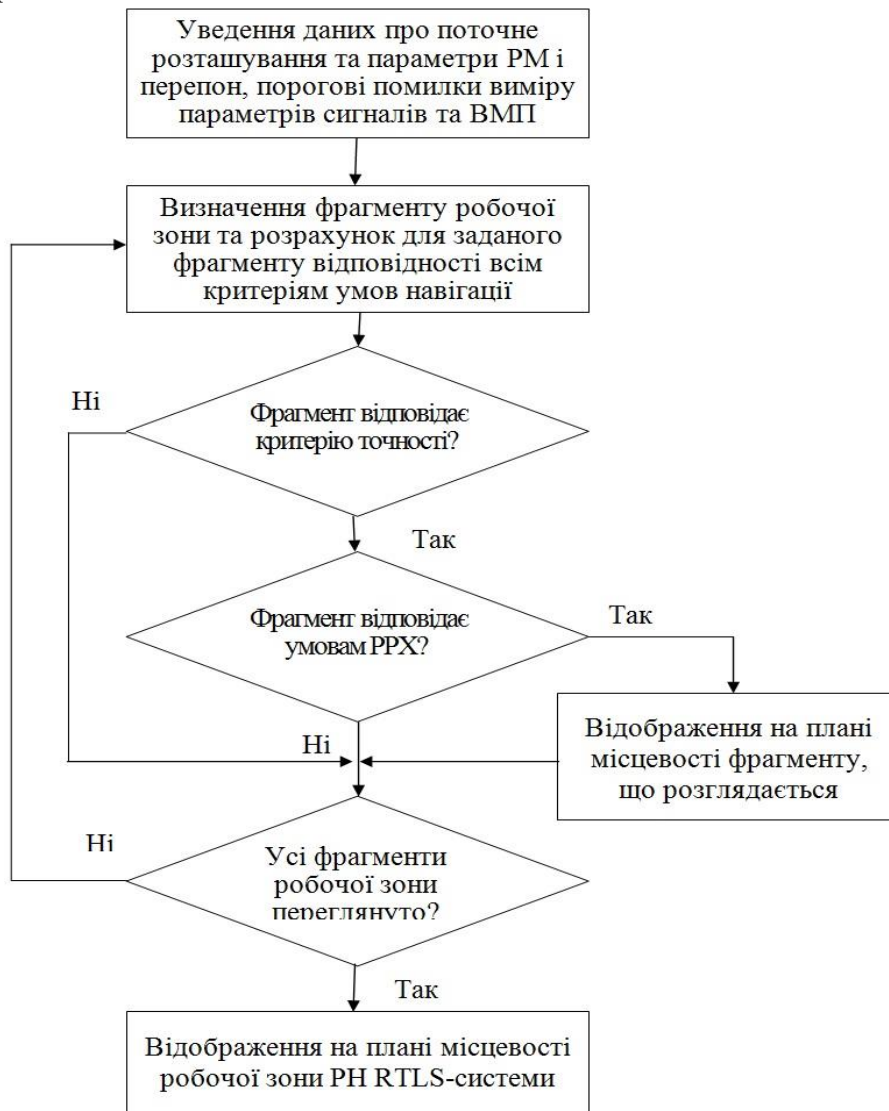


Рис. 1. Загальний алгоритм прогнозування робочої зони RTLS-системи

Перевірка практичної реалізації даного алгоритму у роботі здійснювалася за допомогою методів математичного моделювання, геометричного проектування та оптимізації обчислювального процесу. Практичну модель системи прогнозування робочої зони RTLS-системи отримано за допомогою математичного апарату програмного середовища Borland C++Builder [10].

Реалізація алгоритму вимагає вирішення низки додаткових питань, як то:

1. Кут ψ (1), під якими з позиції РО (фрагменту площини, що аналізується) видно базу РНС, може бути визначено, як різницю пеленгів (азимутів) з цієї позиції на РМ відповідної пари за відомими координатами РМ та РО. Але при цьому треба враховувати періодичний характер функції $\sin(\psi)$.

2. Кут перетину ЛП α може бути знайдений як кут між дотичними до ЛП у точці їх перетину. В свою чергу, для визначення нахилу дотичних може бути використано дзеркальну властивість гіперболи, що є ЛП РДС. При розрахунках кута перетину враховувалися періодичні властивості геометричних функцій.

3. Для перевірки впливу будівельних перепон до складу моделі було уведено колову непрозору «перепону» радіусу R . Факт перекриття шляху РРХ перепону

(неможливість прийому з РО сигналу відповідного РМ) визнавався у випадку, якщо відстань від центру кола до прямої "РО-РМ" не перевищувала R , а центр кола належав смузі, межі якої (прямі) проходять через позиції РО і РМ у напрямі, перпендикулярному лінії «РО-РМ».

Практична реалізація робочої моделі вимагає забезпечення довільного розташування у межах робочої зони позицій будь-якої кількості РМ, непрозорих та напівпрозорих перепон, що зручно робити маніпулятором "миша", забезпечення оперативної зміни параметрів $K_{ГМАХ}$ та $D_{МАХ}$.

6. Експериментальне дослідження відповідності моделі оперативного прогнозування робочої зони RTLS-системи

Робота РДС передбачає використання сигналів, як найменш, 3 - 4 РМ, сигнали яких дозволяють розрахувати дві ЛП, що відповідають позиції РО. Відповідні перевірки трійок та четвірок РМ було покладено у експериментальний алгоритм. Під час досліджень програми "Зона РН RTLS-системи" загальна кількість маяків змінювалась від 3 до 5, при цьому перевірялась відповідність розрахованої форми робочої зони зміні вихідних умов щодо взаємного розташування та кількості РМ угруповання, інших параметрів моделі (рис. 2, а)–в)). Отримані на цьому етапі розрахункові зони використовувалися для порівняння при дослідженні реакції моделі на зміну досліджуваних параметрів.

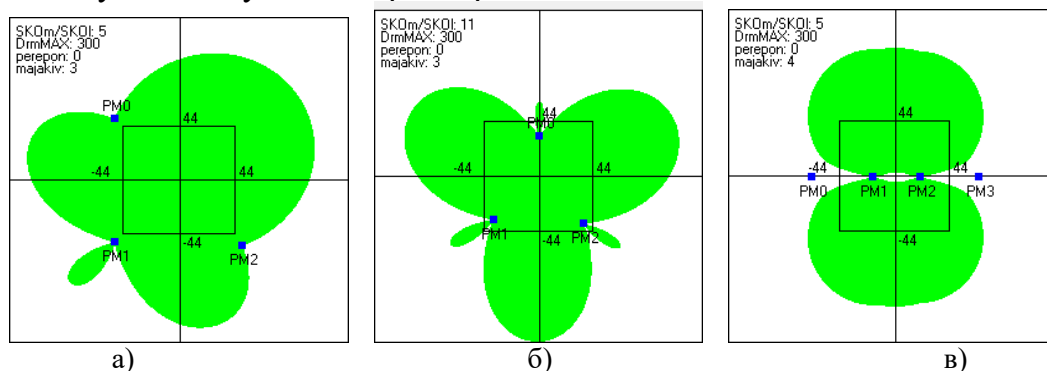


Рис. 2. Робочі зони RTLS-системи, розраховані при відсутності перешкод міської забудови

Дослідження реакції моделі на зниження дальності роботи РМ здійснювалося зниженням цього параметру для всіх РМ оперативного угруповання. На рис. 3 а) подано результати, отримані при цьому для умов рис. 2 а).

Для дослідження можливостей прогнозування моделлю впливу будівельних перепон у розрахункову зону вводилося додатково від однієї до трьох перепон колового перетину. Як приклад на рис. 3 б)–в) показано реакцію моделі на введення перепони, описаної вище у п.3, для умов рис. 2 б)–в).

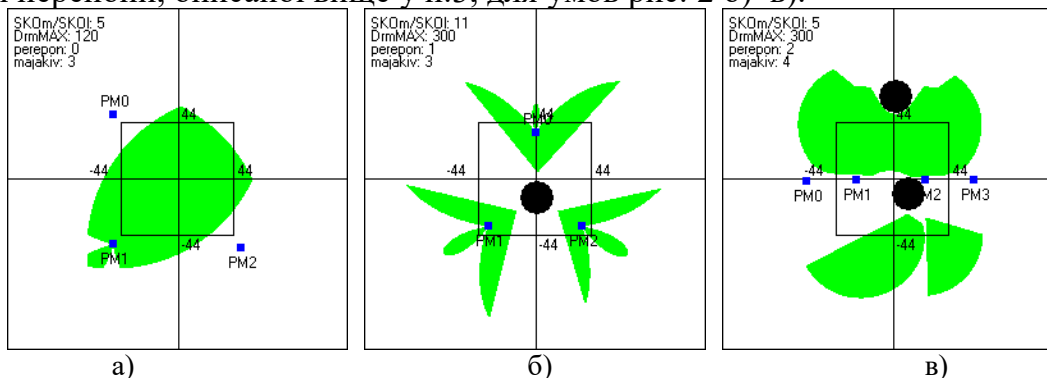


Рис. 3. Робочі зони навігації, розраховані для випадків: а) зменшення дальності дії РМ та б), в) – при наявності у зоні НС непрозорих перепон

Під час випробування моделі «Зона RTLS-системи» загальна кількість маяків змінювалась від 3 до 5, при цьому перевірялась відповідність форми робочої зони відомим для випадку відсутності перепон розрахунковим зонам [4], інваріантність робочої зони зміні орієнтації системи РМ, відповідність форми зони для різних розташувань 3–5 РМ.

7. Обговорення результатів моделювання робочої зони RTLS-системи

Локалізація НС вимагає від оперативно-рятувальних підрозділів визначення таких параметри навігаційного забезпечення, як кількість, координати взаємного розташування РМ, параметри сигналів, що випромінюються. На підставі цих даних можуть бути задані умови розрахунку критеріїв (1)-(3) і відповідно модифікованого коефіцієнту геометрії (4).

Після розрахунку розмірів зони навігаційного забезпечення та нанесення границь роботи RTLS-системи на карту керівник ліквідації НС приймає управлінське рішення про необхідність залучення додаткових сил або засобів.

Як показують результати моделювання, якість радіонавігаційного забезпечення району НС в умовах міста суттєво залежить від кількості і якостей (форми) перепон у межах робочої зони, кількості РМ, що застосовуються для забезпечення району НС, та їх взаємного розташування. Отримання одного суцільного рівняння при описі сукупних процесів з різною фізичною природою є недоцільним. В той же час поетапний опис загального процесу розповсюдження сигналів при впливі будівельних конструкцій дозволяє суттєво спростити процес моделювання без прийняття грубих припущень, що не тільки не знижує точність розрахунку, але і дозволяє врахувати більшу кількість вхідних параметрів.

Отримані під час дослідження результати доводять, що вплив будівельних перепон на вигляд робочої зони в цих умовах може бути важко передбачуваним. Використання розробленої моделі розрахунку робочої зони RTLS-системи для оперативного прогнозування і корегування відповідної зони в умовах міста дозволяє оперативно вирішувати дану проблему.

Перевагою етапної моделі розповсюдження є можливість довільного комбінування кількості та місця розташування як РМ, так і перепон РРХ. Тобто запропонована модель може бути використана при моделюванні процесу роботи системи в досить широкому спектрі тактичних ситуацій.

Алгоритм розрахунку складається з 7 блоків, розміщених на трьох ієрархічних рівнях, зв'язаних прямими зв'язками. На першому етапі (ієрархічному рівні) знаходиться 4 блоки, що забезпечують отримання та систематизацію інформації про особливості фрагмента робочої зони, що аналізується. Для проведення якісного прогнозування робочої зони RTLS-системи необхідно отримати точну інформацію про основні фізичні параметри середовища РРХ та перепон. Також керівник ліквідації надзвичайної ситуації повинен володіти даними про технічне оснащення, що є у розпорядженні сил та засобів цивільного захисту.

На другому етапі відбувається розрахунок досяжності фрагменту, що розглядається для засобів радіонавігаційного забезпечення. За результатами розрахунку наведених критеріїв визначається можливість забезпечення відповідної ділянки місцевості.

У зв'язку з переважно малою площею районів ліквідації НС, що виникають на практиці, модель було обмежено припущенням про розташування РО та РМ в одній площині, не враховуючи сферичний характер земної поверхні. Подальше вдосконалення дозволяє усунути це обмеження. Іншими недоліками отриманої моделі є припущення, що будівельні перепони, які є в районі ліквідації НС, є не-

прозорими для радіохвиль діапазону, що використовується. Насправді властивості багатьох перепон обмежують дальність РРХ лише частково, тобто мають напівпрозорий характер, тому в плані подальших досліджень вимагається більш досконале врахування перепон, що мають властивості часткового перепускання ЕМХ, а на випадок, якщо через умови траси РРХ робоча зона РНС є незадовільною, можуть бути передбачені інші технічні або організаційні методи навігаційного забезпечення, такі, як установка додаткових РМ, або зміна позицій тих, що використовуються. Розробка відповідних рекомендацій вимагає додаткових досліджень і може бути проведена з використанням створеної моделі.

8. Висновки

1. В роботі розроблено математичну модель різнице-далекомірної системи локального позиціонування, що у режимі реального часу дозволяє здійснювати прогнозування робочої зони системи з урахуванням будівельних та інших непрозорих перепон зони надзвичайної ситуації. Враховано умови розповсюдження височастотних сигналів, що визначають якість позиціонування та точнісні характеристики системи. Розроблено критерій та загальну методику оперативного розрахунку робочої зони різнице-далекомірної RTLS-системи при довільному розташуванні РМ та наявності у зоні НС перепон міської забудови. В якості такого критерію запропоновано коефіцієнт зони (4), що розраховується з урахуванням точнісних характеристик системи навігації та можливості отримання необхідного для ВМП радіонавігаційного забезпечення.

2. Розроблено триетапний алгоритм прогнозування робочої зони RTLS-системи, що реалізує запропоновану методику. Поетапний підхід дозволив створити програмну модель «Зона RTLS-системи» оперативного прогнозування робочої зони навігації в умовах НС. На першому етапі забезпечується отримання та систематизація інформації про особливості фрагмента робочої зони, що аналізується. На другому етапі відбувається розрахунок досяжності фрагменту, що розглядається для засобів радіонавігаційного забезпечення. На третьому етапі визначається досяжність ділянки місцевості для роботи RTLS-системи.

3. Експериментальне дослідження підтвердило відповідність роботи моделі системи оперативного прогнозування робочої зони «Зона RTLS-системи» за відсутності та при наявності у зоні НС перепон міської забудови. Загальний вплив непрозорих перепон на форму робочої зони RTLS-системи має складнопередбачуваний характер. Реальне зменшення робочої зони під впливом кількох непрозорих перепон може досягати 90 %, якщо вплив подібних факторів не враховано. На випадок, якщо через умови траси РРХ робоча зона РНС є незадовільною, можуть бути передбачені інші технічні або організаційні методи навігаційного забезпечення.

Література

1. GPS monitoring system. System «SMOK» in the fire service. 2018. URL: <https://www.eltegps.com/pdf/Systems-implementations-for-Polish-State-Fire-Service.pdf>
2. Махонин В., Чудников В., Рудаков И. Метод определения координат мобильных абонентов в RTLS. Беспроводные технологии. № 1. 2018. С. 42–44. URL: <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/5042.pdf>
3. Professional digital two-way radio MotoTRBO™DP4401 EX non-display portable user guide. 2015. 62 p. URL: https://krikam.net/upload/iblock/81f/MotoTRBO_DP4401_Ex_instr_rus.pdf

4. Булычев Ю. Г. Радиотехнические методы определения местоположения и параметров движения объектов. 2015. URL: https://ozlib.com/934673/tehnika/radiotekhnicheskie_metody_opredeleniya_mestopolozheniya_i_parametrov_dvizheniya_obektov
5. Кустов М. В., Басманов О. Є., Мельниченко А. С. Моделювання зони хімічного ураження в умовах локалізації надзвичайної ситуації // Проблеми надзвичайних ситуацій. Харків. 2020. № 2 (32). 145–157. URL: <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/32/1/kustov.pdf>
6. Linjun Yu, Yalan Liu, Tianhe Chi, Lin Peng. An iBeacon-based indoor and outdoor positioning system for the fire emergency command. Forum on Cooperative Positioning and Service (CPGPS). IEEE. 2017. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8075148>
7. Vamsi Karthik Vadlamani, Manish Bhattarai, Meenu Ajith, Manel Martinez-Ramon. A Novel Indoor Positioning System for unprepared firefighting scenarios. Electrical and Computer Engineering. University of New Mexico. Albuquerque. 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2008.01344>
8. Lei Niu. A Survey of Wireless Indoor Positioning Technology for Fire Emergency Routing. Lanzhou Jiaotong University. URL: https://www.researchgate.net/publication/263019395_A_Survey_of_Wireless_Indoor_Positioning_Technology_for_Fire_Emergency_Routing
9. Costa F., Monorchio A., Manara G. Theory, design and perspectives of electromagnetic wave absorbers. IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine. 2016. № 2. Vol. 5. P. 67–74.
10. Borland C++Builder Developer's Guide. Borland Software Corporation 100 Enterprise Way/ Scotts Valley. 1284 p. URL: [http://it.onat.edu.ua/docs/1_\[ENGLISH\]_C++_Borland_Builder_VCL_Book.pdf](http://it.onat.edu.ua/docs/1_[ENGLISH]_C++_Borland_Builder_VCL_Book.pdf)

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

SIMULATION OF THE WORKING AREA OF A LOCAL RTLS SYSTEM OF THE EMERGENCY AREA

A mathematical model of a differential-rangefinder local positioning system has been developed, which in real time makes it possible to predict the working area of the system, taking into account the construction barriers of the emergency zone. The conditions of propagation of high-frequency signals, which determine the quality of positioning and the accuracy characteristics of the system, are taken into account. To simplify the simulation, a number of assumptions were made regarding the parameters of the obstacles and the conditions of radio wave propagation, which make it possible to simplify the prediction process. On the basis of the geometric criterion and the criterion of maximum removal, a modified geometry coefficient (zone coefficient) was obtained, which is proposed to be used as the basis for a mathematical forecasting model. Using this criterion, a computational algorithm and a program for operational forecasting of the working area of local positioning have been developed, which make it possible to take into account the influence of the number of beacons, the geometry of the system and the location of building barriers to the propagation of radio signals on the shape of the working area. In the process of modeling, both geometric and general physical laws of the formation of the field of radio navigation support were taken into account. A study of the operation of the modeling system was carried out in the presence of several radio beacons, in the absence and in the presence of several construction barriers within the emergency zone. The developed mathematical model makes it possible to calculate the size of the positioning zones with the determination of the boundary conditions for the reliabil-

ity and accuracy of the navigation support of rescuers. Taking into account the process of predicting the impact of obstacles in the emergency zone on the type and size of the working area of the positioning system allows the head of emergency response to make the right management decision, ensure safe working conditions for rescuers and optimize emergency response.

Keywords: RTLS, local location, positioning accuracy, radio propagation

References

1. GPS monitoring system. System «SMOK» in the fire service. 2018. Retrieved from: <https://www.eltegps.com/pdf/Systems-implementations-for-Polish-State-Fire-Service.pdf>
2. Mahonin, V., Chudnikov, V., Rudakov, I. (2018). Metod opredeleniya koordinat mobilnyih abonentov v RTLS. *Besprovodnyie tehnologii*, 1, 42–44. Retrieved from: <https://wireless-e.ru/wp-content/uploads/5042.pdf>
3. Professional digital two-way radio MotoTRBO™DP4401 EX non-display portable user guide. 2015. 62 p. Retrieved from: https://krikam.net/upload/iblock/81f/MotoTRBO_DP4401_Ex_instr_rus.pdf
4. Bulyichev, Yu. G. Radiotekhnicheskie metodyi opredeleniya mestopolozheniya i parametrov dvizheniya ob'ektov. 2015. Retrieved from: https://ozlib.com/934673/tehnika/radiotekhnicheskie_metody_opredeleniya_mestopolozheniya_i_parametrov_dvizheniya_obektov
5. Kustov, M. V., Basmanov, O. I., Melnychenko, A. S. Modeliuvannia zony khimichnoho urazhennia v umovakh lokalizatsii nadzvychainoi sytuatsii // *Problemy nadzvychainykh sytuatsii*. Kharkiv. 2020. № 2 (32). 145–157. Retrieved from: <http://pes.nuczu.edu.ua/images/arhiv/32/1/kustov.pdf>
6. Linjun, Yu, Yalan, Liu, Tianhe Chi, Lin Peng. An iBeacon-based indoor and outdoor positioning system for the fire emergency command. *Forum on Cooperative Positioning and Service (CPGPS)*. IEEE. 2017. Retrieved from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8075148>
7. Vamsi, Karthik Vadlamani, Manish, Bhattarai, Meenu Ajith, Manel Martinez-Ramon. A Novel Indoor Positioning System for unprepared firefighting scenarios. *Electrical and Computer Engineering*. University of New Mexico. Albuquerque. 2020. Retrieved from: <https://arxiv.org/abs/2008.01344>
8. Lei, Niu. A Survey of Wireless Indoor Positioning Technology for Fire Emergency Routing. Lanzhou Jiaotong University. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/263019395_A_Survey_of_Wireless_Indoor_Positioning_Technology_for_Fire_Emergency_Routing
9. Costa, F., Monorchio, A., Manara, G. Theory, design and perspectives of electromagnetic wave absorbers. *IEEE Electromagnetic Compatibility Magazine*. 2016. № 2. Vol. 5. 67–74.
10. Borland C++Builder Developer's Guide. Borland Software Corporation 100 Enterprise Way/ Scotts Valley. 1284 p. Retrieved from: [http://it.onat.edu.ua/docs/1_\[ENGLISH\]_C++_Borland_Builder_VCL_Book.pdf](http://it.onat.edu.ua/docs/1_[ENGLISH]_C++_Borland_Builder_VCL_Book.pdf)

Надійшла до редколегії: 07.10.2021

Прийнята до друку: 22.11.2021