УДК 004.9:355.58

А. В. Бондар

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ ОЦІНЮВАННЯ ДОСТУПНОСТІ УКРИТТІВ У СФОРМОВАНІЙ МІСЬКІЙ ЗАБУДОВІ

Анотація. *Запропоновано підхід до оцінювання доступності укриттів засобами геоінформаційних систем (ГІС), який поєднує аналіз пішохідної мережі та розподіл населення з урахуванням місткості. На умовній моделі показано вплив бар'єра на досяжність укриття. Визначено показник забезпеченості населення доступними місцями для порівняння планувальних сценаріїв.*

Ключові слова: геоінформаційні системи, укриття, пішохідна доступність, міська забудова, цивільний захист.

Abstract. *A GIS-based approach combining pedestrian network analysis and population allocation subject to shelter capacity is proposed. A hypothetical model illustrates the effect of a barrier on shelter reachability. An indicator of population coverage by accessible shelter places is defined for comparing planning scenarios.*

Keywords: geographic information systems, shelters, pedestrian accessibility, urban development, civil protection.

Вступ

У сформованій міській забудові територіальна близькість укриття не гарантує можливості своєчасного доступу та наявності вільних місць. Огорожі, закриті проходи, сходи й розташування входів змінюють фактичні маршрути, тому забезпеченість населення укриттями необхідно оцінювати за конфігурацією пішохідних зв'язків і місткістю перевірених об'єктів.

M. Unal і C. Uslu [1] застосували ГІС для оцінювання доступності міських укриттів з урахуванням часу руху та місткості. R. Church і C. ReVelle [2] розробили модель максимального покриття для задач розміщення об'єктів обслуговування. Планувальні рішення й системи життєзабезпечення захисних споруд розглянуто авторами [3].

Просторова проблема забезпечення укриттями виникає на кількох рівнях. На рівні будівлі необхідно встановити можливість потрапляння до захищеного приміщення; на рівні кварталу – перевірити безперервність пішохідних зв'язків; на рівні міського району – узгодити місткість об'єктів із розподілом населення.

У цьому дослідженні розмежовано просторову досяжність та забезпеченість місцями. Перша характеризує існування допустимого маршруту за заданого обмеження довжини або часу. Друга додатково враховує можливість розміщення користувача в укритті. Таке розмежування потрібне для виявлення територій, де поліпшення пішохідних зв'язків є достатнім заходом, і територій, де необхідне збільшення місткості захищених приміщень.

Методика дослідження

До моделі включають об'єкти з перевіреними відомостями про готовність і місткість. Початок руху задають у місцях концентрації користувачів, а кінцеву точку – біля фактичного входу в укриття (рисунок 1).

Під час формування бази даних для кожного об'єкта слід зберігати джерело відомостей, дату їх актуалізації та статус перевірки. Невідоме значення місткості не можна трактувати як необмежену кількість місць. Об'єкти з непідтвердженою готовністю доцільно відображати окремим інформаційним шаром, не включаючи їх до базового розрахунку забезпеченості.

Розрахункову кількість користувачів визначають за обґрунтованими даними про населення й функціональне використання будівель. Для житлової території слід розглядати нічний сценарій, а для районів із громадськими об'єктами – також денний. Додавання постійного населення і відвідувачів без урахування переміщень може призводити до подвійного підрахунку, тому сценарії необхідно формувати окремо.

Порівняння основних способів оцінювання наведено в таблиці 1. Радіусний підхід доцільний для попереднього огляду території, тоді як мережевий аналіз потрібний для перевірки реальних зв'язків. Розподіл за місткістю доповнює ці розрахунки та дозволяє визначити кількість користувачів, для яких місця не забезпечені.

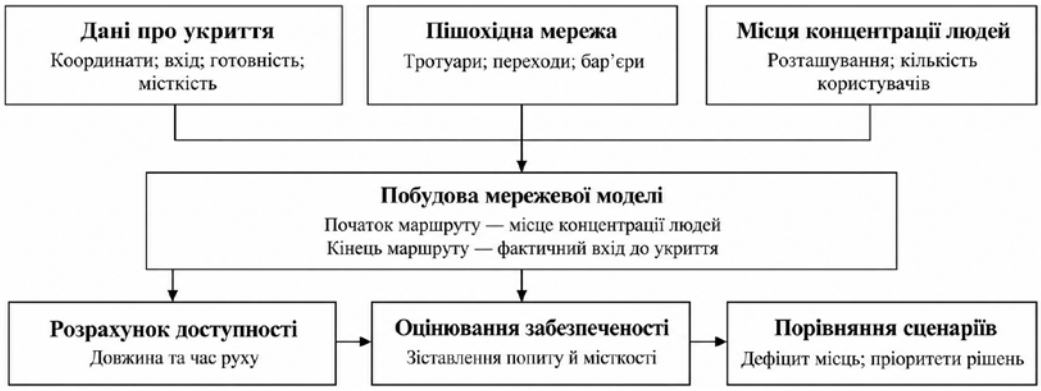


Рисунок 1 — Послідовність геоінформаційного оцінювання доступності укриттів

Таблиця 1 – Порівняння підходів до оцінювання доступності

Підхід	Що враховує	Основне обмеження
Радіусна зона	Відстань за прямою	Не відображає бар'єрів і реального шляху
Мережевий аналіз	Конфігурацію проходів і вартість руху	Сам по собі не забезпечує місця в укритті
Розподіл за місткістю	Досяжність, попит і кількість місць	Потребує актуальних даних та заданих правил розподілу

Пішохідну мережу представляють графом: вузли відповідають входам і точкам з'єднання, ребра – допустимим ділянкам руху. Час пересування визначають за залежністю:

$$t_{ij} = \sum_{e \in Pij} (l_e / v_e + \tau_e), \quad (1)$$

де l_e – довжина ділянки; v_e – швидкість руху; τ_e – додаткова затримка; P_{ij} – маршрут від точки i до укриття j. Для маломобільних користувачів формують окрему мережу допустимих шляхів. Статичний розрахунок не враховує черг і взаємного впливу потоків.

Час руху необхідно відокремлювати від загального часу до розміщення людини в укритті. Останній може включати вихід із будівлі, рух зовнішнім маршрутом, очікування перед входом і внутрішнє переміщення. У запропонованій моделі докладно розглядається мережевий компонент. Без оцінювання інших складових отримане значення не слід подавати як повний час укриття. Інклюзивність маршруту визначають за його найменш доступною ділянкою.

Для демонстрації використано регулярну мережу 7×7 вузлів із ребрами одиничної довжини. Укриття розташоване в центральному вузлі. Межа доступу становить три кроки. Модель та окремий приклад розподілу населення наведено на рисунку 2.

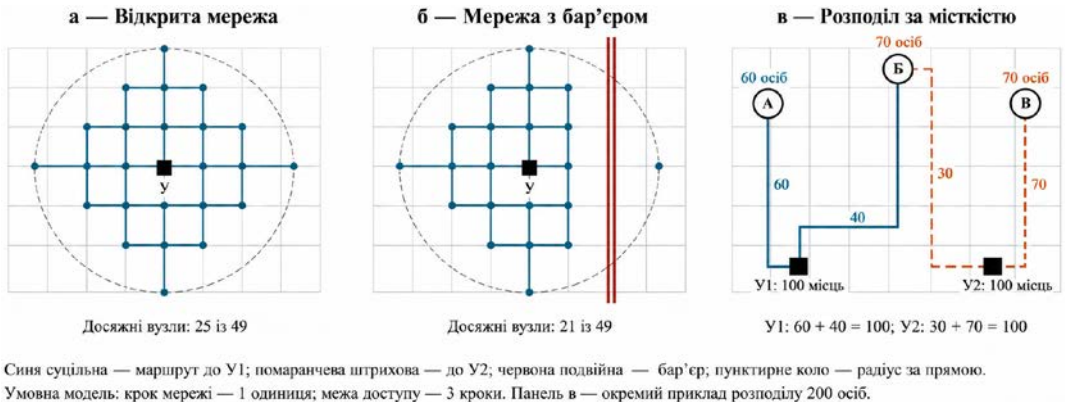


Рисунок 2 – Авторські модельні схеми доступності та місткості укриттів

У відкритій мережі досяжними є 25 вузлів, включно з вузлом укриття (рис. 2, а). Бар'єр зменшує їх кількість до 21 (рис. 2, б). Втрата становить чотири вузли, або 16 % початкової кількості досяжних вузлів. Радіус за прямою залишається незмінним. Цей результат характеризує умовну мережу та не є оцінкою населення конкретного району.

Для врахування місткості пропонується максимізувати кількість користувачів, розподілених до доступних укриттів:

$$\max \sum_i \sum_j x_{ij};\ \sum_j x_{ij} \le n_i;\ \sum_i x_{ij} \le C_j, \tag{2}$$

де x_{ij} – невід'ємна ціла кількість осіб із зони i, призначених до укриття j; n_i – кількість користувачів; C_j – місткість. Якщо час t_{ij} перевищує прийняту межу T або маршрут недопустимий, задають $x_{ij} = 0$. Параметр T визначають для конкретного завдання відповідно до застосовних вимог; він не є універсальним нормативом.

На рисунку 2, в показано окремий допустимий розподіл 200 осіб між двома укриттями по 100 місць. Група А (60 осіб) і 40 осіб групи Б розміщуються в У1; решта 30 осіб групи Б та група В (70 осіб) – в У2. Усі користувачі забезпечені місцями. Оптимальність цього розподілу за часом не встановлювалася.

Модель (2) орієнтована на максимальну кількість забезпечених користувачів. Якщо існує кілька рівноцінних розподілів, другим критерієм може бути мінімізація сумарного часу пересування. При цьому скорочення середнього часу не повинно приховувати неприйнятно тривалі маршрути окремих груп, тому граничні умови доступності задають як обов'язкові обмеження.

Розподіл однієї групи між кількома укриттями є допустимим математичним рішенням, але потребує організаційного уточнення. Для практичного застосування доцільно призначати маршрути за входами будинків, під'їздами або іншими зрозумілими групами користувачів.

Для порівняння сценаріїв використовується показник забезпеченості доступними місцями:

$$K_o = (\sum_i \sum_j x_{ij} / \sum_i n_i) \cdot 100\%, \tag{3}$$

На відміну від площі буферних зон, показник (3) враховує чисельність користувачів і місткість об'єктів. Його доцільно визначати окремо для денного й нічного розподілу та для маломобільних груп населення.

Висновки

Запропоновано підхід, який поєднує мережевий аналіз доступності укриттів із розподілом населення за обмежень місткості. На умовній моделі показано, що бар'єр зменшує кількість досяжних вузлів за незмінного радіуса охоплення, а наявність допустимого маршруту потребує додаткової перевірки забезпеченості місцями. Подальше застосування методики до конкретної території потребує актуальних геоданих, перевірки стану укриттів і натурного обстеження маршрутів.

Список використаних джерел

1. Unal M., Uslu C. GIS-based accessibility analysis of urban emergency shelters: The case of Adana city. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 2016. Vol. XLII-2/W1. P. 95-101. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W1-95-2016.

2. Church R., ReVelle C. The maximal covering location problem. Papers in Regional Science. 1974. Vol. 32, No. 1. P. 101-118. https://doi.org/10.1111/j.1435-5597.1974.tb00902.x.

3. Гетун Г., Безклубенко І., Соломін А., Баліна О. Особливості об'ємно-планувальних рішень захисних споруд цивільного захисту. Сучасні проблеми архітектури та містобудування. 2023. Вип. 67. С. 203-220. https://doi.org/10.32347/2077-3455.2023.67.203-220.

Бондар Альона Василівна – к.т.н., викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, буд. 95, інд. 20021, e-mail: bondarav@vntu.edu.ua, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8098-1181

Bondar Alona – candidate of technical sciences, lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: bondarav@vntu.edu.ua, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8098-1181