

УДК 515.2

ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ВИРІШЕННІ ДЕЯКИХ ЗАДАЧ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

DOI: 10.33842/2313-125X-2026-29-269-275

Сівак Є.М., канд. техн. наук,

lskolos@i.ua, ORCID: 0000-0002-5526-8544*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», (м. Харків, Україна)*

Семенова-Куліш В.В., канд. техн. наук,

semenova.vita.v@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4807-0625*Український державний університет залізничного транспорту, (м. Харків, Україна)*

В умовах воєнного стану існують деякі задачі геометричного моделювання просторово розподілених об'єктів, насамперед, впроваджуються та здійснюються заходи правового режиму воєнного стану, оборони об'єктів цивільного захисту, громадської безпеки і порядку, захисту критичної інфраструктури, охорони прав, свобод і законних інтересів громадян.

У роботі розглядається визначення можливих втрат людей у секторах враження в результаті дій безпілотних систем, засобів повітряного нападу. Можливі втрати населення, особого складу формувань цивільної оборони залежать від багатьох факторів: чисельності людей в секторах враження, ступеня поінформованості про наближення небезпеки, ступеня захищеності, наявності укриття та його стану. Кількість населення, яке може опинитися в секторі враження розраховується по його наявності на певних територіях об'єктів, промислових майданчиках, житлових кварталів міст, населених пунктів, опираючись на бази даних. Відповідно сектору враження із запропонованими такими термінами рівня небезпеки, як незворотньо-критичний, критичний та вражаючий, розраховуються можливі втрати з наступними наслідками – критично-незворотними, з середнім і тяжким ступенем враження та легким ступенем враження.

Стаття вказує, що достатньо легко можна розрахувати можливі втрати засобами двовимірного просторового аналізу інструментальних геоінформаційних систем. Міста, населені пункти, окремі побудови існують на електронних картах у вигляді умовних позначень, апроксимуються полігональними об'єктами – плоскими геометричними фігурами, які обмежені замкненою полілінією на різних електронних картах. Запропоновано використати розрахунок щільності населення по кожному населеному пункту, врахувавши площу території – площу полігона, чисельність населення по пунктам. У результаті прогнозу можливого враження багатопверхових новобудов, промислових об'єктів,

навчальних закладів, медичних центрів, складів з небезпечною речовиною та інших, які є деяким геометричним об'єктом – полігоном, котрий у загальному випадку можна поділити на три непересічних полігона – незворотньо-критичний, критичний та вражаючий. Розрахунок можливої кількості населення в секторах з незворотньо-критичним, критичним та вражаючим рівнем небезпеки, у разі необхідності, забезпечує своєчасні допомогу та захист.

Ключові слова: населення; площа території; геометричний об'єкт; сектор враження; небезпека; база даних; електронна карта.

Постановка проблеми. Під час воєнного стану впроваджуються та здійснюються заходи охорони прав, свобод, законних інтересів громадян, громадської безпеки, порядку, оборони об'єктів цивільного захисту та захисту критичної інфраструктури. Існують геометричні задачі, що можуть виникати в умовах воєнного стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. До повномасштабних воєнних дій, на протязі багатьох років, достатня увага приділялася попередженню та ліквідації надзвичайних ситуацій. Відповідна література торкалася безпеки, захисту інтересів особистості та суспільства, лише тоді, якщо виникає стихійне лихо, аварія або катастрофа [1]. Насамперед, першочергово, необхідно було підготувати населення до вірних дій та рішень в умовах надзвичайних, небезпечних ситуацій також вміти прогнозувати та оцінити соціально-економічні наслідки [1], [2].

В умовах воєнного стану проводяться комплексні аналізи воєнно-економічної стійкості, поєднуючи при цьому кількісні та якісні характеристики загроз [3]. Окрема увага приділяється аналізу наявності та стану укриттів [4], їх оптимальних геометричних показників та планомерному територіальному розміщенню, врахувавши кількість населення та наявність можливих секторів враження.

Важливо спрямувати дослідження на здатність держави протидіяти зовнішньому тиску, забезпечувати її цілісний та стабільний розвиток Швидке реагування населення на безпекові виклики та інші загрози залежить від ступеня поінформованості [5]. Визначення та моніторинг ключових показників, що відображають поточний стан безпекового середовища неможливий без складових математичного та геометричного моделювання [6], [7].

Формулювання цілей статті. Метою статті є геометричне вирішення проблеми, пов'язаною з мінімізацією можливих втрат, насамперед, втрат населення у секторах враження в результаті дій безпілотних систем та засобів повітряного нападу.

Основна частина. В умовах воєнного стану існують деякі задачі геометричного моделювання просторово розподілених об'єктів, насамперед, впроваджуються та здійснюються заходи правового режиму воєнного стану, оборони об'єктів цивільного захисту, громадської безпеки

і порядку, захисту критичної інфраструктури, охорони прав, свобод і законних інтересів громадян.

У реаліях воєнного стану, недостатньо тільки підготувати населення до вірних дій і рішень, як це було раніше, в результаті надзвичайних ситуацій, аварій, катастроф [1], [2], необхідно захистити населення безпосередньо у секторах їх знаходження – місце проживання, роботи, навчання, відпочинку. Відповідні бази даних, оновлений розрахунок чисельності населення, можуть дати дієвий результат більш раціонального розміщення у відповідних секторах місць, наприклад, укриттів, підземних шкіл, так як навчання, у багатьох випадках має дистанційний характер [8], установ медичного характеру, паспортного сервісу та інших.

Розглянемо визначення можливих втрат, насамперед, втрат населення в результаті дій безпілотних систем, засобів повітряного нападу. Можливі втрати населення, особого составу формувань цивільної оборони залежать від багатьох факторів: чисельності людей в секторах враження, ступеня поінформованості [3], [5] про наближення небезпеки, ступеня захищеності, наявності укриття та його стану [4]. Кількість населення, яке може опинитися в секторі враження розраховується по його наявності на певних територіях об'єктів, промислових майданчиках, житлових кварталів міст, населених пунктів, опираючись на бази даних. Відповідно сектору враження можна запропонувати такі терміни рівня небезпеки, як незворотньо-критичний, критичний та вражаючий, розрахувати можливі втрати з наступними наслідками – критично-незворотними, з середнім і тяжким ступенем враження та легким ступенем враження.

Достатньо легко можна підійти до вирішення розрахунку можливих втрат засобами двовимірного просторового аналізу інструментальних геоінформаційних систем [9]. Міста, населені пункти, окремі побудови існують на електронних картах у вигляді умовних позначень, апроксимуються полігональними об'єктами $P_j, j = 1, 2, \dots$. Полігональний об'єкт P_j є довільною, плоскою геометричною фігурою, яка обмежена замкненою полілінією на різних електронних картах. Побудова полігона P_j, j -го населеного пункту здійснюється за граничними точками елементів, що входять до його умовного позначення таким чином, щоб всі елементи умовних позначень населеного пункту знаходилися в середині полігону, площа полігону вільна від забудови в середині полігону, звісно, є мінімальною. Кожному полігону – просторовому геометричному об'єкту на електронній карті відповідає інформація з бази даних. Припустимо, що S_j – площа території населеного пункту, яка збігається з площею полігону P_j , що апроксимує умовне позначення j -го населеного пункту, N_j – чисельність населення j -го населеного пункту, тоді щільність населення в межах населеного пункту саме така:

$$P_{Hj} = \frac{S_j}{N_j} \quad (1)$$

При цьому підрахунок щільності населення бажано здійснити попередньо за кожним населеним пунктом, нанесеним на електронну карту.

Аналізуючи відповідний сектор враження, який, в свою чергу, може складатися, наприклад, із багатоповерхових новобудов, навчальних закладів, медичних центрів, складів з небезпечною речовиною та інших, які є деяким геометричним полігоном P_i , котрий у загальному випадку поділяється на три непересічних [6] полігона $P_i = P_{iHK} \cup P_{iK} \cup P_{iB}$ різного рівню безпеки: з незворотньо-критичним P_{iHK} , з критичним P_{iK} та вражаючим P_{iB} .

Кількість населення N_{iHK} , яка опинилася, наприклад, у секторі з незворотньо-критичним рівнем безпеки P_{iHK} визначається в результаті операції перетину [6] полігона P_{iHK} з множиною полігонів P_j , $j = 1, 2, \dots$ населених пунктів у секторі з незворотньо-критичним рівнем безпеки, якщо $S_{ij} = P_{iHK} \cap P_j$ – площа j -го населеного пункту, яка опинилася у секторі з незворотньо-критичним рівнем безпеки P_{iHK} , k – кількість населених пунктів, повністю або частково опинившихся у секторі P_{iHK} , тоді

$$N_{iHK} = \sum_{j=1}^k S_{ij} p_{Hj} \quad (2)$$

Кількість населення, яке може опинитися у секторі з критичним – N_{iK} , вражаючим N_{iB} рівнями безпеки розраховується за формулою (2), зробивши заміну P_{iHK} на P_{iK} та P_{iB} відповідно.

Можуть з'явитися похибки розрахунків при використанні помилкових, дуже давно сформованих баз даних, що є суттєвим недоліком та потребує перевірки та оновлення.

У сьогоденних умовах воєнного часу, можна навести приклад міста Харкова, а саме мікрорайони: Журавлівка (G), Північна Салтівка (PSalt), Велика Данилівка (VD), П'ятихатки (Pt), селище Жуковського (SG) адміністративного району міста – Київського, який найбільш постраждав. Статистичні дані по місту Харків також відповідають діаграмі, яка побудована нижче (рис.1)

Майже всі засоби нападу противника можуть створювати небезпечні сектори враження наземних об'єктів, великих та малорозмірних цілей, що рухаються. В умовах воєнного стану виконуються роботи, що мають оборонний характер, ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій, створюються спеціальні установи з надання медичної допомоги.

Розрахунок можливої кількості населення в секторах з незворотньо-критичним, критичним та вражаючим рівнями безпеки, у разі необхідності, забезпечує своєчасні допомогу та захист.

Висновки. В умовах воєнного стану, при вирішенні задач мінімізації можливих втрат, насамперед, втрат населення у секторах враження в результаті дій безпілотних систем та засобів повітряного нападу необхідно

постійно шукати та впроваджувати нові, дієві, сучасні та потужні методики. Запропоновано використати розрахунок щільності населення по кожному населеному пункту, врахувавши площу території – площу полігона, але при використанні дуже давно сформованих, неоновлених баз даних, виникають помилкові розрахунки, що є недоліком.

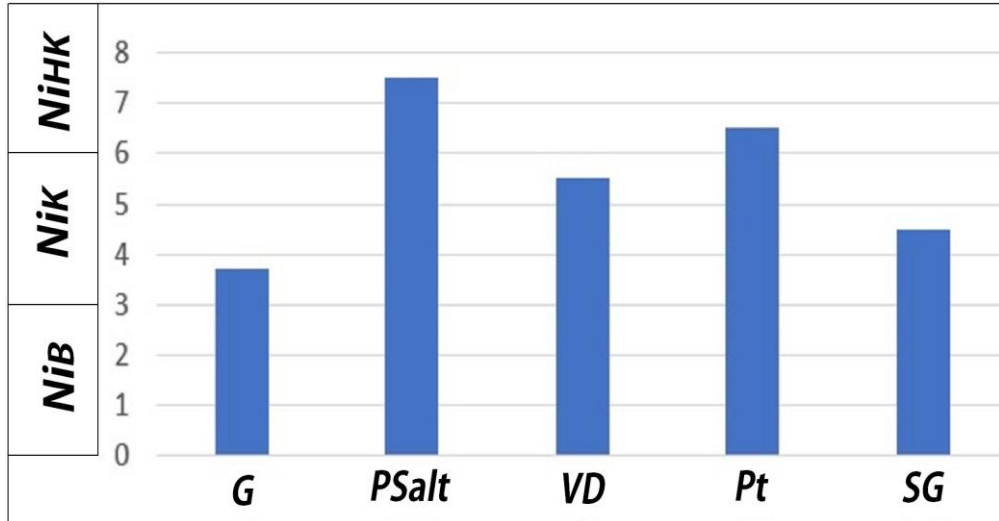


Рис. 1. Статистичні дані по місту Харків

У результаті прогнозу можливого враження багатоповерхових новобудов, промислових об'єктів, навчальних закладів, медичних центрів, складів з небезпечною речовиною та інших, які є деяким полігоном, котрий у загальному випадку можна поділити на три непересічних полігона – незворотньо-критичний, критичний та вражаючий. Розрахунок можливої кількості населення в секторах з незворотньо-критичним, критичним та вражаючим рівнем небезпеки, у разі необхідності, забезпечує своєчасні допомогу та захист.

В реальному часі повинні зростати створення сучасних технічних рішень та інноваційних напрямів для захисту цивільного населення, коригування політики національної безпеки, підвищення оборонної спроможності держави.

Література

1. Літвак С. М., Михайлюк В. О. Безпека життєдіяльності. Миколаїв : ТОВ Компанія ВІД, 2001. 230 с.
2. Стеблюк М. І. Цивільна оборона. Київ : Знання, 2003. 455 с.
3. Величко Л., Гузик Н., Сокульська Н., Білаш О. Інженерні рішення убезпечення об'єктів від повітряних загроз. *Військово-технічний збірник*. 2025. Т. 33, № 2. С. 169–175.
4. Королько С., Левковський О., Саницький М., Кропивницька Т. Захисні укриття з підвищеною ударною міцністю на основі фібробетонів нового покоління. *Військово-технічний збірник*. 2025. Т. 33, № 2. С. 176–184.

5. Сівак Є. М. Формування інформаційної активності студентів під час воєнного стану. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : тези доповідей XXXIII Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2025 (Харків, 14–17 травня 2025 р.). Харків : НТУ «ХПІ», 2025. С. 1325.
6. Нікольський Ю. В., Пасічник В. В., Щербина Ю. М. Дискретна математика. 3-тє вид., перероб. і допов. Львів : Магнолія 2006, 2018. 432 с.
7. Семенова-Куліш В. В., Сівак Є. М. Математичні та геометричні моделі у вигляді фазових портретів диференціальних рівнянь. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2012. Вип. 89. С. 316–322.
8. Сівак Є. М. Дистанційне навчання в умовах воєнного стану. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я* : тези доповідей XXXII Міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2024 (Харків, 22–25 травня 2024 р.). Харків : НТУ «ХПІ», 2024. С. 1154.
9. Іщук О. О., Коржнев М. М., Кошляков О. Є. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС. Київ : Київський університет, 2003. 200 с.

GEOMETRIC MODELING WHEN SOLVING SOME PROBLEMS IN MARTIAL LAW CONDITIONS

Elizaveta Sivak, Viktoria Semenova-Kulish

In martial law, there are some tasks of geometric modeling of spatially distributed objects. First of all, measures of the legal regime of martial law, defense of civil defense facilities, public safety and order, protection of critical infrastructure, protection of rights, freedoms and legitimate interests of citizens are implemented and implemented.

The work considers determining possible losses of people in sectors of impact as a result of the actions of unmanned systems, air attack methods. Possible losses of the population, special personnel of civil defense formations depend on many factors: the number of people in sectors of impact, the degree of awareness of the approaching danger, the degree of protection, the availability of shelter and its condition. The number of people, who may be in the sector of impact is calculated based on its presence in certain territories of objects, industrial sites, residential areas of cities, settlements, relying on databases. In accordance with the sector of impact with the proposed terms of the level of danger such as irreversible-critical, critical and impressive, possible losses are calculated with the following consequences – critical-irreversible, with medium and severe degrees of impact and light degrees of impact.

The article indicates that it is quite easy to calculate possible losses using two-dimensional spatial analysis tools of instrumental geographic information systems. Cities, settlements, individual buildings exist on electronic maps in the

form of conventional symbols, approximated by polygonal objects – flat geometric figures that are bounded by a closed polyline on various electronic maps. It is proposed to use the calculate of population density for each settlement, taking into account the area of the territory – the area of the landfill, the population size by settlement. As a result of the forecast of the possible impact of multi-storey new buildings, industrial facilities, educational institutions, medical centers, warehouses with hazardous substances and others, which is kind of geometric object – a certain landfill, which in the general case can be divided into three non-intersecting landfills – irreversible-critical, critical and impressive. Calculation of the possible number of population in sectors with irreversible-critical, critical and impressive levels of danger, if necessary, provides timely assistance and protection.

Key words: population; area; geometric object; impression sector; danger; database; electronic map.

References

1. Litvak, S.M., & Mykhailiuk, V.O. (2001). *Life safety*. Mykolaiv: TOV Company VID [in Ukrainian].
2. Steblyuk, M.I. (2003). *Civilian defense*. Kyiv: Knowledge [in Ukrainian].
3. Velichko, L., Guzik, N., Sokulska, N., & Bylash, O. (2025). Engineering solutions for securing facilities from air threats. *Military-technical collection*, 33 (2), 169–175 [in Ukrainian].
4. Korolko, S., Levkovsky, O., Sanitsky, M., & Kropyvnytska, T. (2025). Protective shelters with increased impact strength based on new generation fiber concretes. *Military-technical collection*, 33 (2), 176–184 [in Ukrainian].
5. Sivak E.M. (2025). Formation of informative activity of students during martial law. *Information technologies: science, engineering, technology, education, health: materialy XXXIII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi MicroCAD-2025* (p. 1325). Kharkiv: NTU KhPI [in Ukrainian].
6. Nikolsky, Y.V., Pasechnik, V.V., & Sherbina Y.M. (2018) *Discrete mathematics*. (3rd ed., rev.). Lviv: Magnolia–2006 [in Ukrainian].
7. Semenova-Kulish, V.V., Sivak, E.M. (2012). Mathematical and geometric models in the form of phase portraits of differential equations. *Applied geometry and engineering graphics*, 89, 316–322 [in Ukrainian].
8. Sivak E.M. (2024). Distance learning under martial law. *Information technologies: science, engineering, technology, education, health: materialy XXXII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi MicroCAD-2024* (p. 1154). – Kharkiv: NTU KhPI [in Ukrainian].
9. Ischuk, O.O., Korzhnev, M.M., & Koshlyakov O.E. (2003). *Spatial analysis and modeling in GIS*. Kyiv: Kyiv university [in Ukrainian].

Матеріал надійшов до редакції 25.04.2026

Прийнято до друку 13.05.2026 р.