

## МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ПАДІННЯ УЛАМКІВ РАКЕТ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ БЕЗПЕЧНОЇ МІСЬКОЇ ЗАБУДОВИ

Вінницький національний технічний університет

### **Анотація**

*У роботі досліджено моделювання зон падіння уламків повітряних цілей і вплив обстрілів на планування нової міської забудови. Проаналізовано траєкторії польоту уламків, визначено потенційно небезпечні зони. Особлива увага приділена визначенню безпечних зон для житлових кварталів та проектуванню забудови з урахуванням ризику ворожих ударів та падіння уламків.*

**Ключові слова:** теоретична механіка, траєкторія, уламки, протиповітряна оборона (ППО), міська забудова, безпечні зони, критична інфраструктура.

### **Abstract**

*The work involves researching and modeling the fall zones of air target debris and the impact of shelling on the planning of new urban development. The flight trajectories of debris are analyzed, and potentially dangerous zones are identified. Particular attention is paid to identifying safe zones for residential areas and designing buildings taking into account the risk of enemy strikes and falling debris.*

**Keywords:** theoretical mechanics, trajectory, debris, Air Defense (AD), urban planning, safe zones, critical infrastructure.

### **Вступ**

Україна відстоює свої кордони вже не одне століття. Проте важливо не тільки оборонятися, а й відбудувати те, що зруйнував ворог. При нашій геополітичній ситуації неможливо заздалегідь знати, коли і куди буде спрямовано удар, тому критично важливим є ретельне планування міської забудови та розташування нових об'єктів.

*Метою роботи є розробка підходу до планування нових об'єктів забудови з урахуванням ризиків, пов'язаних із війною.*

### **Результати дослідження**

Ворог бачить кожне місто не як будинки, вулиці, квартали, а як сукупність стратегічних цілей і об'єктів. У такому підході особливу увагу привертають електростанції, водонапірні станції, лікарні, транспортні вузли та інші важливі елементи міської системи.

Розподіл міста на зони (рис.1) дає змогу враховувати траєкторії польоту повітряних цілей, відстані до лікарень, шкіл, водонапірних і електростанцій, а також розташування систем ППО. Це допоможе ефективніше розташовувати укриття, щоб максимально захистити населення, а також мінімізувати руйнування.

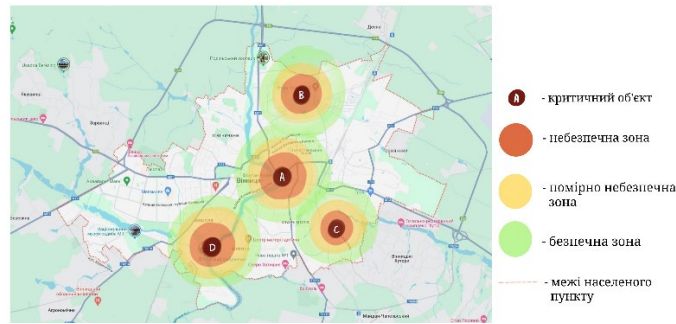


Рис.1. Розподіл міста за зонами

Якщо, до прикладу, після перехоплення крилатої ракети X-101 на висоті 100 м уламок бойової частини вагою 400 кг отримав горизонтальну швидкість 200 м/с, то максимальна дальність падіння уламків буде визначатись за наступною формулою:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 100}{9,8}} \approx 4,5 \text{ – час падіння;}$$

$$L_{\max} = V_0 \times t = 200 \times 4,5 = 900\text{м – дальність.}$$

Тому, знаючи, що максимальна дальність падіння уламків після перехоплення – 900 м, при плануванні побудови нового житлового кварталу поруч зі школою (1200 м від потенційного приземлення уламка) та електростанції (800 м), необхідно визначити, чи безпечно розташовувати квартал.

Мінімальна безпечна відстань  $\geq 900\text{м}$ .

Школа: 1200 м > 900 м → безпечно.

Електростанція: 800 м < 900 м → небезпечно.

Отже, квартал треба розташувати ближче до школи, а не до електростанції.

Місто має такі об'єкти критичної інфраструктури:

Об'єкт	Координати (X, Y) м
Лікарня	(500, 500)
Школа	(1500, 1200)
Водонапірна станція	(800, 1600)
Електростанція	(1800, 400)

Враховуючи, що після збиття ракети уламки можуть падати на відстань до 900 м, необхідно розташувати новий квартал так, щоб він був поза небезпечною зоною. Потрібно визначити точку скупчення критичних об'єктів (де найвищий рівень небезпеки), а саме, центр мас (використовуючи методи теоретичної механіки) (рис.2).

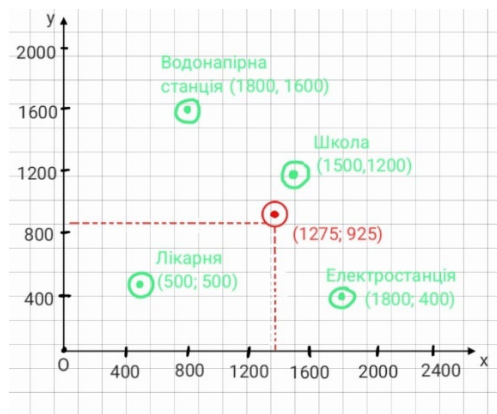


Рис. 2. Розрахункова схема

$$x = \frac{1000 + 1500 + 800 + 1800}{4} = 1275\text{м}$$

$$y = \frac{500 + 1200 + 1600 + 400}{4} = 925\text{м}$$

$$(x; y) = (1275; 925).$$

Плануються три нові квартали за координатами (рис. 3):

1. Квартал А: (700, 600)
2. Квартал В: (2100, 1150)
3. Квартал С: (1000, 2000)

Визначимо найнебезпечніший квартал для забудови. Відстань між двома точками (крайньою точкою кварталу та точкою скупчення критичних об'єктів):

$$d = \sqrt{(x_{\text{КВ}} - x)^2 + (y_{\text{КВ}} - y)^2}$$

$$A = \sqrt{(700 - 1275)^2 + (600 - 925)^2} \approx 661\text{м} < 900\text{м}$$

$$B = \sqrt{(2100 - 1275)^2 + (1150 - 925)^2} \approx 855\text{м} < 900\text{м}$$

$$C = \sqrt{(1000 - 1275)^2 + (2000 - 925)^2} \approx 1110\text{м} > 900\text{м}$$

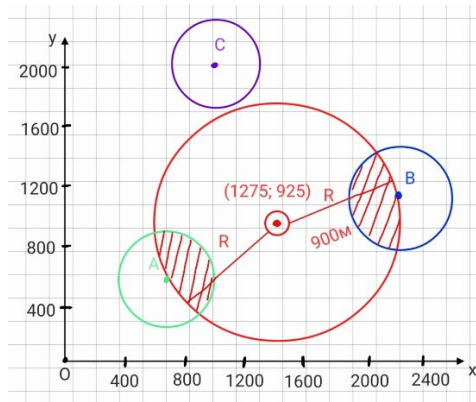


Рис. 3. Розрахункова схема

Отже, квартал С найбезпечніший для забудови.

### Висновки

У результаті моделювання визначено потенційно небезпечні зони падіння уламків, що дозволяє більш точно оцінювати рівень ризику для різних територій. Встановлено, що врахування цих зон є критично важливим при плануванні нової житлової забудови та розміщенні об'єктів критичної інфраструктури.

Обґрунтовано необхідність формування безпечних зон із дотриманням розрахованих відстаней та використання інженерних рішень, спрямованих на зниження ризиків для населення. Запропоновані у роботі схеми зон ризику та розрахунок безпечних відстаней можуть бути використані як практичний інструмент для архітекторів, інженерів і органів місцевого самоврядування.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що врахування ризиків падіння уламків при містобудівному плануванні є необхідною умовою підвищення безпеки населення. Запропоновані підходи дозволяють більш обґрунтовано визначати місця розташування житлових кварталів і об'єктів інфраструктури, а також мінімізувати можливі наслідки ворожих ударів у сучасних умовах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Містопланування в умовах війни: виклики та завдання [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mistosite.org.ua/articles/mistoplanuvannia-v-umovakh-viiny-vyklyky-ta-zavdannia> .
2. Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – Вип. № 14 (21). – Київ, 2022.
3. Ракета Х-101: характеристики та можливості її перехоплення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://24tv.ua/h-101-harakteristiki-rosiyskoyi-raketi-yak-mozhna-yih-zbivati\\_n2200706](https://24tv.ua/h-101-harakteristiki-rosiyskoyi-raketi-yak-mozhna-yih-zbivati_n2200706) .
4. Projectile Motion [Electronic resource]. – Mode of access: <https://open.ocolearnok.org/physicalscience/chapter/projectile-motion/>.
5. Опір матеріалів і теорія споруд: науково-технічний збірник. – Вип. 110 / голов. ред. П. П. Лізунов. – Київ: КНУБА, 2023. – 537 с.

**Язовицька Марина Євгенівна** — студентка групи ІБ-25б, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [marynayazovytska@gmail.com](mailto:marynayazovytska@gmail.com).

**Кириця Інна Юріївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [slk-vin@ukr.net](mailto:slk-vin@ukr.net), [kyrytsya@vntu.edu.ua](mailto:kyrytsya@vntu.edu.ua), тел. +380679843705.

**Yazovytska Maryna Y.** — student of group 1B-25b, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [marynayazovytska@gmail.com](mailto:marynayazovytska@gmail.com).

**Kyrytsya Inna Y.** – PhD, Assistant Professor of Materials Resistance, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [slk-vin@ukr.net](mailto:slk-vin@ukr.net), [kyrytsya@vntu.edu.ua](mailto:kyrytsya@vntu.edu.ua), tel. +380679843705.