

Аналіз методик розрахунку проникної дії основних видів боєприпасів та осколкового ураження конструкцій захисних споруд

Олег Комар, аспірант¹ (ORCID: 0009-0004-4507-9178),
Денис Михайловський, проф., д-р техн. наук, професор¹ (ORCID: 0000-0003-3151-8630)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз існуючих методик інженерно-аналітичних розрахунків пробивання захисних перешкод основними елементами ураження від засобів нападу противника та наведено алгоритми розрахунку осколкового ураження від різних видів боєприпасів, а також для обчислення захисних властивостей фортифікаційних та інженерних захисних споруд.

Ключові слова: осколкове ураження, фортифікаційні споруди, боєприпаси, товщина пробивання, кінетична енергія снаряду.

1. ВСТУП

У сучасних умовах військової агресії РФ проти України та розвитку високоефективних засобів ураження питання підвищення стійкості захисних споруд набуває критичного значення. Проникна дія кульових, кумулятивних, бронебійних та осколково-фугасних боєприпасів разом із наслідками осколкового ураження визначають не лише локальні пошкодження елементів конструкцій, а й загальну живучість споруди, її здатність зберегти функціональні характеристики у бойових умовах. Аналітичні, емпіричні та чисельні методики, що застосовуються для оцінки цих явищ, мають різний ступінь апроксимації фізичних процесів — від простих емпірично підібраних критеріїв пробиття до детальної багатофазної динаміки, яка включає хвильові процеси, пластичну деформацію та фрагментацію матеріалу.

Точність прогнозів залежить від коректного врахування кінематичних параметрів вражаючих елементів (швидкість, маса, кут влучання), фізико-механічних властивостей матеріалів перешкоди (міцність, пластичність, ударна в'язкість, гетерогенність), а також геометрії та конструктивних особливостей захисних елементів. Емпіричні формули забезпечують швидкі приблизні оцінки і корисні на стадії попереднього проектування, тоді як чисельні методи (метод скінченних елементів, гідрокодів, мультифізичні підходи) дозволяють детально відтворити механізми взаємодії снаряду з конструкцією, проте потребують підбору параметрів, великого обсягу обчислень і надійних експериментальних даних для калібрування.

2. МЕТА РОБОТИ

Метою даної роботи є огляд існуючих методик інженерно-аналітичних розрахунків пробивання захисних перешкод основними елементами ураження від засобів нападу противника. Важливість вибору правильної методики розрахунку для різних видів загроз та матеріалів захисних перешкод, є дуже важливою задачею для правильного проектування фортифікаційних та захисних споруд.

3. ІСНУЮЧІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ ТА СПЕЦІАЛЬНИХ ЗАХИСНИХ СПОРУД НА ДІЮ ВИБУХОВО-УДАРНОЇ ХВИЛІ

Воснні дії в Україні призвели до нагальної потреби зведення великої кількості фортифікаційних та захисних

споруд різноманітного призначення та конструктивних форм, які мають окрім звичайних навантажень і впливів урахувати і особливі впливи пов'язані з загрозами нападу противника. До таких впливів відносяться: надлишковий тиск вибухово-ударної хвилі, осколкове ураження, проникнення часткове чи повне боєприпасів в тіло захисної конструкції, яке може супроводжуватись подальшим вибухом, температура тощо.

Найпоширенішими інженерними методами розрахунку проникнення снарядів у матеріал є рівняння Вена і рівняння, що містяться в UFC 4-023-07.

Глибина проникнення боєприпасу (снаряду, бойової частини ракети, осколко) в матеріал рекомендовано визначати за формулою:

$$h_t = \left(\frac{4}{\pi} \right) \frac{E_k}{(\sigma \times 10^6) \times d^2} \quad (1)$$

де h_t – товщина пробивання снарядом, м; E_k – кінетична енергія снаряду, Дж; σ – середній тиск, МПа; d – діаметр снаряду, м.

Кінетичну енергію снаряду (Дж) слід визначати за формулою:

$$E_k = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2)$$

де m – маса снаряду, кг; V – швидкість снаряду, м/с.

Середнє напруження (σ) визначається за формулою:

$$\sigma = \left(\alpha + \beta \sqrt{\frac{\rho_t}{(\sigma_t \times 10^6)} V_t} \right) \sigma_t \quad (3)$$

де α і β коефіцієнти, що беруться з довідкових таблиць, та залежать від форми снаряду, що пробиває елемент, який розраховується; ρ_t – щільність матеріалу мішені, кг/м³; σ_t – міцність на зсув (Y) матеріалу мішені, МПа; V_t – швидкість снаряду при ударі, м/с.

Якщо товщина захисного матеріалу недостатня, відбувається пробиття (див. рис. 1). Захист від прямого попадання повинен бути розрахований таким чином, щоб не відбувалось пробиття снарядом захисної оболонки, а також не відбувалось вторинного відколювання захисного матеріалу всередині приміщення.

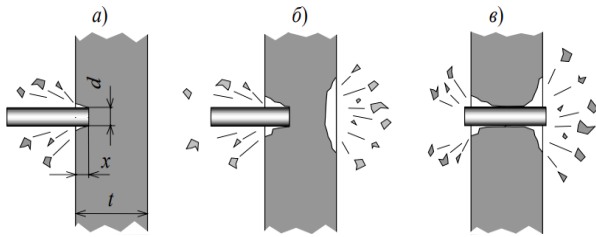


Рисунок 1. Види пошкодження бетонної перешкоди при ударі твердим тілом: а) відколювання з лицьової поверхні; б) розтріскування зсередини; в) пробивання

У вітчизняній практиці загальну глибину проникнення заряду (снаряду, бойової частини ракети), слід визначати за емпіричним виразом:

$$h_p = \lambda k_p \frac{m}{d_{pr}^2} V_{pr} \cos \alpha \quad (4)$$

в якому: h_p – глибина проникнення снаряду по нормалі до зовнішньої поверхні перешкоди в метрах;
 λ – коефіцієнт, який залежить в основному від форми снаряду, рівний 1,3 при стрільбі бетонобійними снарядами по бетону і 1,0 у інших випадках;
 k_p – коефіцієнт податливості даного середовища проникненню;
 m – вага снаряду у момент зустрічі із перешкодою, кг.

Згідно ще однієї формули, що міститься в UFC 4-023-07 можна розрахувати залишкову швидкість снаряда після пробивання перешкоди:

$$V_r = V \left(1 - \frac{t_{conc}}{h_t} \right)^{0.733} \quad (5)$$

де V_r – залишкова швидкість, м/с; V – швидкість удару, м/с; t_{conc} – товщина бетону, мм; h_t – максимальна товщина пробиття, мм.

Для визначення максимальної товщини пробивання перешкоди з деревини рекомендується застосовувати формулу:

$$h_t = 9837 \frac{V^{0.4113} m^{1.4897}}{\rho \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{1.3596} H^{0.5414}} \quad (6)$$

де h_t – максимальна товщина пробивання деревини снарядом, дюйм; d – діаметр снаряду, дюйм; m – маса снаряду, фунт; V – швидкість снаряду, фут/с; ρ – щільність деревини, фунт/фут³; H – твердість деревини, фунт.

Формула (6) в метричних одиницях виміру набуває вигляду:

$$h_t = 0.64 \frac{V^{0.4113} m^{1.4897}}{\rho \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)^{1.3596} H^{0.5414}} \quad (7)$$

де h_t – максимальна товщина пробивання деревини снарядом, м; d – діаметр снаряду, м; m – маса снаряду, кг; V – швидкість снаряду, м/с; ρ – щільність деревини, кг/м³; H – твердість деревини, кг.

Залишкову швидкість снаряда після пробивання перешкоди з деревини слід визначати за формулою:

$$V_r = V \left[1 - \left(\frac{t}{h_t} \right)^{0.5735} \right] \quad (8)$$

де t – фактична товщина деревини, м

Для визначення максимальної товщини пробивання перешкоди зі сталі в UFC 4-023-07 [21] рекомендується застосовувати формулу:

$$h_t = d \left(\frac{Vm^{0.5} \cos^{0.8} \theta}{1.125 d^{1.5} \log_{10} BHN} \right)^{1.25} \quad (8)$$

Де h_t – максимальна товщина пробивання сталі, мм; d – діаметр снаряду, мм; m – маса боеприпасу, кг; V – швидкість снаряду, м/с; θ – кут нахилу перешкоди зі сталі, град; BHN – число твердості за Брінеллем, для звичайних сталей 110 – 160, для бронесталей 220 – 350.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто існуючі світові методики проникної дії різного роду уражаючих елементів (бойові частини ракет, снаряди, кулі, осколки).

Піднято питання необхідності розроблення чіткої інженерної методики розрахунку проникної дії в різноманітні за матеріалом перешкоди всіх ймовірних елементів ураження.

Наведено алгоритми розрахунку осколкового ураження від різних видів боеприпасів, а також для обчислення захисних властивостей фортифікаційних та інженерних захисних споруд.

Перспективою подальших досліджень є вдосконалення методики розрахунку проникної дії в різноманітні за матеріалом перешкоди всіх ймовірних елементів ураження.

Розробка сучасних методів розрахунків з усвідомленням наявних загроз воєнного часу дасть змогу найбільш ефективно зводити інженерні захисні та фортифікаційні споруди, що максимально допоможе реалізації концепції “Країна-фортеця”.

Список літератури

- [1] UFC 4-023-07 Unified Facilities Criteria. Design to Resist Direct Fire Weapons Effects. Change 1 / U.S. ARMY CORP OF ENGINEERS, NAVAL FACILITIES ENGINEERING COMAND, AIR FORCE CIVIL ENGINEER SUPPORT AGENCY, 2017 – 66 p.;
- [2] Рекомендації з проектування залізобетонних конструкцій фортифікаційних споруд. / Бабич Є.М., Дворкін Л.Й., Кочкар'єв Д.М. та інші – Рівне: НУВГП, 2018 – 173 с. ISBN 978-966-327-398-3
- [3] Михайловський Д. В., Білик А. С., Склярів І. О. Розрахунок конструкцій будівель і споруд на дії основних факторів ураження засобів повітряного нападу: Монографія / Михайловський Д. В., Білик А. С., Склярів І. О. Київ: Каравела, 2024. – 92 с. ISBN 978-960-801-874-7
- [4] Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника: монографія, / [А.С. Білик, М.В. Коваль, В.І. Коцюруба, В.В. Коваль, О.М. Кубраков]; під ред. А.С.Білика. – К.: Генеральний штаб Збройних Сил України, 2023. – 194 с.