

Аналіз існуючих методик розрахунку поперечно-класної деревини на балістичні навантаження

Олег Комар, аспірант¹, (ORCID: 0009-0004-4507-9178),
Денис Михайловський, д.т.н., професор¹ (ORCID: 0000-0003-3151-8630)

¹ Київський національний університет будівництва і архітектури, проспект Повітряних сил, 31, Київ, Україна

АНОТАЦІЯ

Проведено аналіз існуючих методик розрахунку поперечно-класної деревини на пробиття під балістичними навантаженнями. Виокремлено три основні методи розрахунку глибини проникнення, які можна використовувати при аналізі та проектуванні захисних та фортифікаційних споруд з застосуванням дерев'яних конструкцій.

Ключові слова: дерев'яні конструкції, поперечно-класна деревина, глибина проникнення, метод Понселе, метод Робінсона-Ейлера, метод Резала.

1. ВСТУП

Деревина є одним з найстаріших будівельних матеріалів. Проте з настанням промислової революції металеві та залізобетонні конструкції майже повністю витіснили деревину з сфери будівельних конструкцій, а особливо з висотного будівництва. Змінити дану тенденцію має на меті поперечно-класна деревина (в подальшому ПКД) - відносно новий матеріал, що завдяки своїм перевагам, (екологічність, відносно невелика вага в порівнянні з бетоном і сталлю, сейсмічна стійкість та ін.) утворює конкуренцію для поширених будівельних конструкцій.

Використання ПКД панелей у будівництві набуває все більшої популярності, і це не дивно: деревина ПКД вирізняється своєю міцністю, стійкістю до впливу зовнішніх факторів, легкістю в обробці та швидкістю монтажу. При цьому ПКД зберігає всі переваги дерева як природного матеріалу, але завдяки своїй багаточастинній структурі має значно покращені експлуатаційні характеристики.

Проте війна розв'язана російською федерацією в Україні змушує інженерів шукати найбільш раціональні матеріали для спорудження укриттів, як для військових так і для цивільного населення. Військові та цивільні укриття, побудовані з використанням ПКД панелей, можуть стати інноваційним рішенням, яке відповідає сучасним вимогам безпеки, стійкості та ефективності. Однією з ключових переваг таких укриттів буде їх висока стійкість до механічних пошкоджень, а також відносно низька вартість зведення порівняно з бетонними та сталевими аналогами. Багаточастинність і перехресна структура ПКД надає матеріалу значну міцність, що дозволяє витримувати не тільки фізичні навантаження, а й вплив екстремальних температур чи інших несприятливих умов. При цьому відносно мала вага деревини значно спрощує транспортування і швидке зведення укриттів у польових умовах або в ситуаціях, коли час має критичне значення.

У даній статті буде проведено аналіз існуючих моделей розрахунку дерев'яних конструкцій на балістичні ураження, які пропонуються використовувати для розрахунку ПКД панелей.

2. МЕТА РОБОТИ

Мета цієї роботи полягає в аналізі існуючих досліджень опору дерев'яних конструкцій балістичним впливам, що допоможе в подальшому розробити методику розрахунку плит з ПКД на балістичні навантаження.

3. АНАЛІТИЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПКД НА БАЛІСТИЧНІ ВПЛИВИ

Вивчення механіки проникнення базується на фундаментальних законах збереження класичної фізики, таких як збереження маси, імпульсу та енергії. Зокрема, збереження енергії відіграє ключову роль у балістиці. Під час імпульсивного навантаження, таких як постріл кулі та її влучення в ціль, принцип збереження енергії допомагає зрозуміти, яка кількість енергії необхідна для зупинки снаряда або яка робота потрібна для перетворення його кінетичної енергії на стаціонарний стан у межах цілі. Рівняння 1 відображає загальну форму збереження енергії, де сума початкової внутрішньої та кінетичної енергії дорівнює сумі кінцевих внутрішньої, кінетичної енергій і роботи, виконаної в системі.

$$\sum E_i + \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 = \sum E_f + \sum \frac{1}{2} m_i v_i^2 + A, \quad (1)$$

де: E – внутрішня енергія, m – маса, v – швидкість і A – робота, а нижні індекси i та f представляють початковий і кінцевий стани відповідно.

В залежності від вилучення кулі на конструкцію розрізняють часткову та повну перфорацію (рис.1).

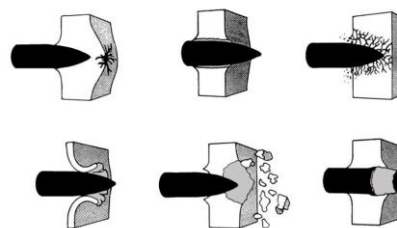


Рисунок 1. Види перфорації різних матеріалів кулями

В рамках інженерних методик балістичного пробиття розрізняють три основні моделі:

Модель Понселе – згідно [1] це модель, згідно якої твердість матеріалу до перфорації може бути визначена за допомогою двох компонентів, а саме:

$$m_p = \frac{d_v}{d_t} = F = -\beta - \alpha \vartheta^2 \quad (2)$$

де: m_p — маса снаряда, ϑ — швидкість снаряда в заданий момент часу t , β — параметр, в якому домінує міцність матеріалу, а α — внесок інерційних напружень.

Інтегрування рівняння 2 дає можливість визначити глибину проникнення як функцію початкової швидкості удару:

$$P = \frac{m_p}{2\alpha} \ln \left(1 + \frac{\alpha \vartheta_i^2}{\beta} \right) \quad (3)$$

Параметри α і β визначаються експериментально за даними проникнення. Модель Понселе використовувалася для опису проникнення в пісок і багато інших матеріалів.

Переваги моделі:

- Простота - модель досить проста в застосуванні і може бути швидко адаптована під конкретні умови;
- Універсальність - може бути використаний для різних матеріалів і типів ударів.
- Недоліки моделі:
- Модель не враховує всі складні аспекти поведінки матеріалів (наприклад, неоднорідність, вплив вологості тощо).
- Не завжди дає точні результати для всіх видів матеріалів, особливо для тих, що мають складну внутрішню структуру.

Другою моделлю визначення глибини перфорації є модель Робінсона-Ейлера, згідно [1] глибина перфорації матеріалу визначається за формулою :

$$P = \frac{m_p \vartheta_i^2}{2\beta} \quad (4)$$

В даній моделі сповільнення снаряда рахується постійним. Модель застосовується, наприклад, для удару загартованих сталевих стрижнів по алюмінієвих мішенях [2].

Переваги моделі:

- Точність - модель має добру точність при прогнозуванні глибини пробиття для різних матеріалів, за умови правильного визначення коефіцієнтів;
- Емпіричний підхід - включення емпіричних корекцій та даних, отриманих у результаті експериментів, робить модель більш адаптивною до конкретних умов.
- Недоліки:
- Модель може бути чутливою до варіацій фізичних властивостей матеріалу, що вимагає детальних експериментів для її калібрування.
- Як і багато інших моделей, має обмеження в точності при сильних або нестандартних умовах удару.

Третя модель, це модель запропонована французьким інженером Резалем, згідно якої глибина перфорації визначається за формулою:

$$P = \frac{1}{\alpha} \ln \left(1 + \frac{\alpha \vartheta_s}{\beta} \right) \quad (4)$$

Переваги моделі:

- Гнучкість - здатність моделі різноманітні матеріали та їх властивості роблять її корисною в багатьох сферах.

- Прогнозованість - вона дозволяє отримувати прогнози глибини пробиття в умовах, наближених до реальних. Недоліки моделі:
- модель може мати обмеження в точності, якщо не враховані конкретні фактори, що впливають на матеріал (наприклад, вологість для деревини).
- Необхідність проведення експериментальних досліджень для точного налаштування параметрів моделі

4. ВИСНОВКИ

Провівши аналіз існуючих досліджень та моделей визначення глибини пробиття матеріалів можна дійти до наступних висновків:

1. В інженерній методиці пробиття деревини найбільш виділяються три основні моделі:

- модель Понселе;
- модель Робінсона-Ейлера;
- модель Резала.

2. Всі існуючі моделі базуються на коефіцієнтах для кожного виду матеріалу, та потребують емпіричних досліджень.

3. Дослідження по балістичній стійкості панелей з ПКД в Україні та в світі відсутні.

4. Оскільки панелі з ПКД мають багато переваг над залізобетонними та металевими конструкціями в рамках можливості використання для споруд військового та цивільного захисту дослідження балістичної стійкості даних панелей є надзвичайно актуальним і потребують подальших досліджень.

Список літератури

- [1] Koene L., Broekhuis F.R. “Bullet penetration into wooden targets”, 30th international symposium on ballistics long beach, ca, september 11–15, 2017;
- [2] Green, D.W., Winandy J.E, Kretschmann. D.E. “Mechanical properties of wood. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison, WI: USDA Forest Service, Forest Products Laboratory”, 1999. General technical report FPL; GTR-113;
- [3] Михайловський Д.В. “Застосування деревини та деревинних матеріалів у будівництві”. Международный информационно-технический журнал Оборудование и инструмент для профессионалов (деревообработка) - №4 / 199. Харьков, 2017. С. 40 - 44.
- [4] Михайловський, Д., & Комар, М. (2020). Інженерна методика розрахунку елементів з клеєної деревини армованої композитною арматурою. Будівельні конструкції. Теорія і практика, (7), 93–100. DOI: 10.32347/2522-4182.6.2020.93-100 - С. 93 - 100
- [5] Mykhailovskyi D., Skliariv I. «Methods of calculation and engineering protection of critical infrastructure objects and other strategic facilities against long-range projectiles» Strength of Materials and Theory of Structures: наук.-тех. збірн. – К.: КНУБА, 2023. – Вип. 111. – С. 155-171. DOI: 10.32347/2410-2547.2023.111.155-171