

Колесник А. В.

МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖЕНЬ НА БЕТОННІ КОНСТРУКЦІЇ ФОРТИФІКАЦІЙНИХ СПОРУД

Анотація: розглядаються методи числового та аналітичного моделювання навантажень, включно з вибуховими та сейсмічними впливами, на бетонні укриття та стіни фортифікаційних споруд.

Ключові слова: моделювання, бетонні конструкції, навантаження, вибухостійкість, сейсмостійкість.

Abstracts: methods of numerical and analytical modelling of loads, including explosive and seismic effects, on concrete shelters and walls of fortifications are considered.

Keywords: modelling, concrete structures, loads, blast resistance, seismic resistance.

Вступ

Фортифікаційні споруди виконують критичну роль у забезпеченні захисту особового складу та техніки в умовах бойових дій і надзвичайних ситуацій. Основними вимогами до таких об'єктів є міцність, стійкість, довговічність і здатність поглинати енергію динамічних впливів. У сучасних умовах військових загроз зростає потреба у спорудах, здатних витримувати значні вибухові навантаження, вплив уламків, ударні хвилі та сейсмічні коливання.

Традиційні підходи до проектування базуються на спрощених схемах навантаження, які не враховують реальної часової історії тиску чи коливань. Тому моделювання навантажень стає ключовим інструментом у процесі проектування фортифікацій. Застосування методів аналітичного та числового аналізу дозволяє дослідити складні динамічні процеси, що відбуваються у бетонних елементах, визначити критичні зони напружень, оптимізувати геометрію і матеріали конструкцій.

Основна частина

Аналітичне моделювання ґрунтується на класичних рівняннях механіки суцільного середовища, що описують розподіл напружень і деформацій у бетоні. Для моделювання вибухових впливів застосовуються рівняння, що враховують часову залежність тиску вибухової хвилі, а також геометричну конфігурацію споруди. Важливою складовою є визначення пікового тиску, тривалості імпульсу та радіуса дії вибуху [1].

Для сейсмічних навантажень використовуються спектральні методи, які дозволяють оцінити амплітудно-частотні характеристики відгуку конструкції. При цьому враховується взаємодія споруди з основою, що має значний вплив на розподіл коливань. Аналітичні підходи, хоча й спрощують реальні умови, дають можливість отримати первинну оцінку стійкості та визначити критичні ділянки, які потребують підсилення.

Числові методи, зокрема метод скінченних елементів (МСЕ), є ефективним інструментом для дослідження поведінки конструкцій під динамічними навантаженнями. За допомогою сучасних програмних комплексів, таких як ANSYS, ABAQUS, LS-DYNA, можна змодельовати не лише статичні, а й імпульсні впливи, що дозволяє прогнозувати розповсюдження тріщин, локальні руйнування та пластичні деформації [2].

Під час числового моделювання важливо правильно враховувати граничні умови, властивості матеріалів і часові залежності. Наприклад, у випадку вибуху застосовуються часові криві тиску, що діють на поверхні споруди. Для сейсмічних впливів застосовуються акселерограми, отримані під час реальних землетрусів. Таким чином можна дослідити взаємодію елементів конструкції, визначити потенційні зони ослаблення та оптимізувати геометрію споруди [3,4].

Бетон є складним композиційним матеріалом, поведінка якого при динамічних навантаженнях відрізняється від статичних умов. Його міцність на стиск збільшується зі зростанням швидкості навантаження, проте стійкість до розтягувальних напружень

зменшується. Тому при моделюванні слід враховувати динамічні коефіцієнти міцності та енергопоглинаючі властивості матеріалу.

Додаткове армування композитними або сталевими волокнами значно підвищує тріщиностійкість і стійкість конструкцій до повторних навантажень. Фібробетони демонструють підвищену енергоємність руйнування та зменшення ширини тріщин, що особливо важливо для захисних споруд. Застосування спеціальних модифікаторів, пластифікаторів і полімерних добавок дозволяє підвищити адгезію між компонентами та знизити ризик корозії арматури.

Результати моделювання дають змогу оптимізувати конструктивні рішення ще на етапі проєктування. Отримані дані використовуються для вибору раціональних товщин стін, перекриттів, типів армування та матеріалів. У випадку виявлення зон концентрації напружень можуть бути застосовані методи локального підсилення, включно з установленням демпферних вставок, шарів еластомерів або додаткових енергопоглинаючих прошарків [5].

Застосування числового моделювання в комплексі з експериментальними дослідженнями дозволяє скоротити витрати на випробування, підвищити точність прогнозів і забезпечити високий рівень надійності споруд. Отримані результати можуть бути інтегровані в нормативні документи з проєктування оборонних об'єктів та використані при створенні нових типів фортифікаційних споруд [6,7].

Висновки

Моделювання навантажень на бетонні конструкції фортифікаційних споруд є ключовим етапом забезпечення їх стійкості до вибухових і сейсмічних впливів. Комбінація аналітичних та числових методів дозволяє отримати достовірні результати й врахувати реальні умови експлуатації. Використання методів скінченних елементів забезпечує детальний аналіз напружено-деформованого стану конструкцій та виявлення потенційних зон руйнування.

Армування фібробетоном, застосування енергопоглинаючих матеріалів і багатошарових систем істотно підвищує вибухо- та сейсмостійкість бетонних споруд. Отримані результати можуть бути використані при вдосконаленні нормативних документів і методик розрахунку фортифікаційних об'єктів.

Список використаних джерел:

1. Pham D. H., Le B. D. A comparison between experimental and numerical studies for reinforced concrete slabs under blast loading. *Geomate Journal*, 2022, Vol. 22 (93), pp. 1–8. URL: <https://geomatejournal.com/geomate/article/view/3414>
2. Zhang W., Kong X., Qu Y., Zhao Q. Numerical simulation of cracked reinforced concrete slabs subjected to blast loading. *Civil Engineering Journal*, 2018, Vol. 4 No. 2. DOI: 10.28991/cej-030994. URL: <https://www.civilejournal.org/index.php/cej/article/view/683>
3. Jayasinghe B., Goh A. T. C., Zhao Z., Zhou H., Gui Y. Numerical analysis of reinforced concrete piles under blast loads. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 2019. URL: <https://iptek.its.ac.id/index.php/jps/article/view/3318>
4. Xiong Z., Wang W., Yu G., Ma J., Zhang W., Wu L. Experimental and numerical study of non-explosive simulated blast loading on reinforced concrete slabs. *Materials*, 2023, 16(12), 4410. DOI: 10.3390/ma16124410.
5. Xu J. Computational modelling of concrete structures subjected to high impulsive loading. PhD thesis, University of Edinburgh, 2016. URL: <https://era.ed.ac.uk/handle/1842/20954>
6. Колесник А.В. Особливості методики розрахунку та забезпечення стійкості конструкцій фортифікаційних споруд [Електронний ресурс]/А.В. Колесник/ Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції “Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки (2023)” м.Вінниця, 15-16 листопада 2023 р. — Електронний текст дані — 2023. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2023/paper/view/19213>.

7. Колесник А.В. Фортифікаційні споруди для збереження особового складу: аналіз досвіду бойових дій // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної інтернет- конференції «Актуальні проблеми бойового застосування та експлуатації і ремонту зразків озброєння та військової техніки» Вінниця, 13-14 листопада 2024р. Вінниця. С.347-350. Електрон. Текст. дані. 2024 URI: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/apozbt/apozbt2024/paper/view/22270>

Колесник Андрій Вікторович – викладач кафедри військової підготовки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.

Kolesnik Andrii V. – lecturer at the Department of Military Training, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: andrey.engineer@gmail.com.