УДК 623.1:624.012.45

Є. О. Бабій, Ю. С. Бікс

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ МОДУЛЬНИХ ЗАХИСНИХ СПОРУД ДЛЯ ОСОБОВОГО СКЛАДУ: ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, МОБІЛЬНІСТЬ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ

Анотація. *Розглянуто актуальні підходи до проєктування модульних захисних споруд для тимчасового перебування особового складу в умовах підвищеного ризику. Узагальнено переваги заводського виготовлення, уніфікації елементів, скорочення часу монтажу та можливості повторного використання конструкцій. Окреслено ключові вимоги до несучої системи, з'єднань, герметизації, вентиляції, водовідведення й контролю якості. Запропоновано систему критеріїв для порівняння модульних рішень, яка враховує не лише швидкість розгортання, а й підтверджені захисні характеристики, довговічність, логістику та витрати життєвого циклу. Наголошено, що модульність сама по собі не гарантує безпеки: кожна конструкція потребує розрахункового обґрунтування та випробувань відповідно до її призначення.*

Ключові слова: *особовий склад, живучість, бліндаж, бетонні укриття, модульні конструкції, мобільність, технологічність, ефективність використання.*

Abstract. *Current approaches to the design of modular protective structures for the temporary accommodation of personnel in high-risk environments are examined. The advantages of factory fabrication, component standardization, reduced assembly time, and the reusability of structures are summarized. Key requirements for the load-bearing system, connections, and sealing are outlined, ventilation, drainage, and quality control. A system of criteria for comparing modular solutions is proposed, which takes into account not only the speed of deployment but also verified protective characteristics, durability, logistics, and life-cycle costs. It is emphasized that modularity alone does not guarantee safety: every structure requires engineering justification and testing in accordance with its intended purpose.*

Keywords: *personnel, survivability, dugout, concrete shelters, modular structures, mobility, technological feasibility, operational efficiency.*

Вступ

Збереження життя та працездатності особового складу залежить, зокрема, від наявності захисних споруд, які можна швидко розгорнути, адаптувати до умов місцевості та підтримувати в належному технічному стані. Традиційні споруди, зведені без попереднього виготовлення типових елементів, можуть потребувати значних трудових і часових витрат. Тому перспективним напрямом є застосування модульних рішень, у яких основні конструктивні елементи виготовляють у контрольованих заводських умовах, а на місці виконують підготовку основи, монтаж, з'єднання та облаштування інженерних систем.

Український досвід уже охоплює дослідження збірних залізобетонних фортифікаційних споруд і модульних укриттів. Зокрема, у роботі щодо заводських циліндричних залізобетонних бліндажів розглянуто ідею попереднього виготовлення конструкції з метою скорочення часу її встановлення та можливості повторного використання [1]. Новіші дослідження також звертають увагу на поведінку залізобетонних модульних укриттів під час вибухового впливу та на необхідність перевірки їхнього напружено-деформованого стану [2].

Основна частина

Модульність доцільно розглядати не як окрему форму конструкції, а як принцип організації всього життєвого циклу споруди. Він охоплює типізацію геометрії, стандартизацію стиків, контроль якості елементів, оптимізацію транспортування, монтажу, технічного обслуговування та демонтажу. Заводське виготовлення може забезпечити стабільніші умови дозування бетонної суміші, ущільнення, твердіння та контролю геометрії. Водночас якість готової споруди залежить і від монтажних з'єднань, герметизації, якості основи та дотримання проєктних вимог.

За матеріалом і способом виготовлення модульні споруди можуть бути збірними залізобетонними, сталевими, комбінованими або виконаними з інших конструктивних систем. Залізобетонні елементи мають потенціал щодо довговічності та вогнестійкості, однак їхня значна маса ускладнює перевезення й переміщення. Легші системи можуть бути зручнішими для транспортування, але потребують окремої перевірки стійкості, захисту від корозії, вогню та інших експлуатаційних чинників. Отже, універсального найкращого матеріалу немає: вибір залежить від призначення, очікуваних впливів, логістики та доступних ресурсів.

Для порівняння проєктних варіантів пропонується застосовувати багатокритеріальну оцінку за

такими групами показників: 1) підтверджені захисні властивості; 2) час і трудомісткість монтажу; 3) маса та габарити транспортних одиниць; 4) можливість демонтажу й повторного використання; 5) довговічність і ремонтопридатність; 6) вартість виготовлення, перевезення, монтажу й експлуатації; 7) забезпечення вентиляції, водовідведення, освітлення та безпечного доступу. Критерії безпеки мають бути обов'язковими обмеженнями, а не показниками, які можна компенсувати низькою вартістю чи швидким монтажем.

Особливого значення набуває контроль стиків і вузлів з'єднання. У збірних конструкціях вони можуть визначати загальну жорсткість, герметичність і поведінку системи під навантаженням. До програми контролю варто включати перевірку геометрії елементів, якості бетону, стану арматури, наявності тріщин, захисного шару, герметизації швів та надійності кріплень. Для експлуатаційної оцінки важливі періодичні огляди й документування дефектів; за потреби застосовують неруйнівні методи контролю та інструментальні вимірювання.

Поняття мобільності слід оцінювати комплексно. Можливість переміщення окремого модуля ще не означає, що споруду можна безпечно демонтувати й повторно встановити без огляду та відновлення з'єднань. Для повторного використання необхідно передбачити доступні точки підіймання, захист елементів від повторного використання. Так само технологічність не повинна зводитися лише до швидкості монтажу: вона охоплює доступність матеріалів, обладнання, кваліфікованої праці й можливість контролю якості в реальних умовах.

Окремим напрямом є підвищення опору крихкому руйнуванню бетону. У публікаціях щодо фібробетонів мікроармування розглядають як один із підходів до підвищення ударної міцності та зменшення ризику відколювання бетону [3]. Вітчизняний досвід проєктування швидкомонтованих фортифікаційних споруд із модифікованого сталеволокнистого бетону демонструє доцільність його застосування для підвищення ефективності захисних укріплювальних споруд проти ударних навантажень [4]. Проте використання фібри не замінює використання стрижневої арматури в тілі захисної споруди, а лише підсилює опір цієї споруди різним видам силового впливу, зокрема розтягу під час згину, пов'язаного з динамічними навантаженнями на споруду, що виникають на полі бою.

Висновки

Модульні захисні споруди можуть бути ефективним напрямом для реалізації концепції забезпечення особового складу підрозділів Збройних Сил України технологічними, швидкомонтованими та уніфікованими модульними компонентами укриття, за умови поєднання заводської готовності, уніфікованих вузлів, продуманої логістики та належного технічного контролю. Їхні переваги слід оцінювати не лише за швидкістю монтажу, а й за підтвердженими захисними характеристиками, довговічністю, ремонтопридатністю та можливістю повторного використання.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на порівняльну оцінку варіантів за єдиною системою критеріїв, експериментальну перевірку з'єднань і конструктивних елементів, а також розроблення регламенту після монтажу, пролонгації експлуатації, оцінки отриманих пошкоджень на предмет ремонтопридатності, демонтажу/відбраковування, якщо пошкодження не є ремонтопридатними. Визначальним принципом пропонованої концепції є і має залишатися функціональний пріоритет безпеки особового складу, а мобільність і технологічність не можуть замінювати підтвердження несучої здатності та відповідності споруди її призначенню.

Список використаних джерел:

1. Bezugliy Y., Otrosh Y., Maiboroda R., Rashkevich N. Construction of small protective fortification structures – factory-produced cylindrical reinforced concrete dugouts. Вісті Донецького гірничого інституту. 2022. URL: https://jdmi.donntu.edu.ua/en/archive/issue-2-2022/construction-of-small-protective-fortification-structures-factory-produced-cylindrical-reinforced-concrete-dugouts/
2. Tolok I., Rybka E., Pozdieiev S. et al. Behavior patterns of reinforced concrete structures of modular shelters in explosion conditions. Problems of Emergency Situations. 2024. DOI: https://doi.org/10.52363/2524-0226-2024-40-18
3. Королько С., Левковський О., Саницький М., Кропивницька Т. Захисні укриття з підвищеною ударною міцністю на основі фібробетонів нового покоління. Військово-технічний збірник. 2025. DOI: https://doi.org/10.33577/2312-4458.33.2025.176-184
4. Sanytsky M., Kropyvnytska T., Shyiko O., Bobetskyy Y. Volianiuk A. High strength steel fiber reinforced concrete for fortification protected structures. Theory and Building Practice. 2023. Vol. 5, № 1. pp. 37–42. https://doi.org/10.23939/jtbp2023.01.037
5. Кабінет Міністрів України. First modular underground shelter installed in Borodianka, Kyiv region. 27.11.2025. URL: https://www.kmu.gov.ua/en/news/pershe-modulne-pidzemne-ukryttia-vstanovyly-u-borodiantsi-na-kyivshchyni

Бабій Євген Олександрович – студент групи 1Б-26б Вінницького національного технічного університету, e-mail: zenababij2@gmail.com.

Бікс Юрій Семенович – к.т.н., доцент, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, електронна адреса: biks@vntu.edu.ua

Babiy Yevhen Oleksandrovych – student of group 1B-26b of Vinnytsia National Technical University, e-mail: zenababij2@gmail.com.

Yurii Semenovych Biks – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Industrial and Civil Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email address: