

ISSN 2077-1304. Met. lit'e Ukr., vol. 33, 2025, № 3-4 (342-343), 106-113

<https://doi.org/10.15407/steelcast2025.03-04.106>

УДК 621.74.01:69.035.4

О.Й. Шинський, д-р техн. наук, проф., зав. відділу фізико-хімії ливарних процесів,

e-mail: aluprt@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6200-0709>,

Web of Science ResearcherID: FYR-0797-2022

І.А. Шалевська, д-р техн. наук, доц., пров. наук. співроб. відділу фізико-хімії ливарних процесів,

e-mail: innashalevska@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>,

Web of Science ResearcherID: HPA-0985-2023

П.Б. Калюжний, канд. техн. наук, ст. наук. співроб. відділу фізико-хімії ливарних процесів,

e-mail: kpb.ptima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1111-4826>

Web of Science ResearcherID: ACI-8185-2022

Ю.Г. Квасницька, чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, зав. відділу спеціальних сталей та сплавів,

e-mail: jul.kvasnitskaja@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3790-2035>,

Web of Science ResearcherID AAB-9833-2022

О.В. Нейма, науковий співроб. відділу фізико-хімії ливарних процесів,

e-mail: Neima_Alex@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5438-7253>,

Web of Science ResearcherID: IAM-9493-2023

А.В. Шалевський, головний технолог відділу фізико-хімії ливарних процесів,

<https://orcid.org/0009-0002-8534-4728>

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України (Київ, Україна)

Особливості одержання литих модулів для побудови захисних споруд

Статтю присвячено актуальній проблематиці, яка стосується розроблення модульних захисних споруд. У статті розглянуто різновиди інженерних споруд, призначених для забезпечення захисту особового складу, пунктів управління та матеріально-технічних засобів від дії засобів ураження. Окрему увагу приділено збірним спорудам для швидкої побудови укриттів. Було визначено ряд недоліків у складності виробництва, монтажу, тривалості виробничого циклу при виготовленні існуючих захисних споруд, або ж недостатній їх стійкості. Показано перспективність застосування ливарних технологій для одержання модулів для швидкісної побудови захисних споруд.

У Фізико-технологічному інституті металів та сплавів НАН України розроблено принципи побудови модульних захисних споруд на основі литих конструкцій. Спроектовано литі модулі, які конструктивно складаються з металевої оболонки та вогнетривкого неметалевого наповнювача і мають поверхню, що підвищує їх захисні характеристики та зменшує металоємність виробів. Для оболонки модулів розроблено економно леговані вуглецеві сталі та відповідні режими термічного оброблення для забезпечення необхідного рівня фізико-механічних властивостей. Застосування неметалевих наповнювачів у литих металевих конструкціях дозволяє одержати модулі з умовною щільністю, яка у 1,5 рази нижча ніж у залізобетону.

В результаті проведених досліджень було розроблено комплексну технологічну схему виготовлення литих легковагих сталевих модулів за моделями, що газифікуються. Було проведено лабораторні та дослідно-виробничі випробування та виготовлено дослідні модулі.

Встановлено, що укриття з литих легковагих сталевих модулів за захисними характеристиками — з точки зору збереження міцності, цілісності та запобігання значним переміщенням — відповідає вимогам сховищ згідно з нормативною документацією.

Ключові слова: виливок, захисна споруда, тонкостінні литі модулі, наповнювач, лиття за моделями, що газифікуються.

В умовах сьогодення надважливим є забезпечення захисту особового складу, техніки, боєприпасів, критичних об'єктів та цивільного населення від ураження. Зараз забезпечення живучості, вибухопожежобезпеки та швидкісної побудови захисних споруд є актуальною задачею.

Існують різноманітні види захисних споруд залежно від їх призначення, конструкції, матеріалів для їх виготовлення та ін. [1]. Конструктивно фортифікаційні споруди можуть бути відкритого та закритого типів. Закриті споруди, на відміну від відкритих споруд, мають замкнену конструкцію по всьому контуру та захищений вхід [2].

Відповідно до цього при виборі місця та початку фортифікаційних робіт на місцевості необхідно забезпечити ряд умов [2]. При виборі місця розташування споруджень повинні враховуватися також ступінь пожежної небезпеки, можливість затоплення та інші місцеві особливості.

Існують збірно-розбірні фортифікаційні споруди, що за допомогою болтового з'єднання збираються з дерев'яних щитів, які з боків обшиті металевим кором з отворами або металевою оправою [3]. Такі споруди прості у виготовленні та монтажі, проте мають низьку захисну спроможність, тому розміщуються переважно у ґрунті.

Відомі мобільні захисні фортифікаційні споруди, що включають вхідний отвір, отвори-амбразури і захисні стінки, які виконуються з габійних коробів, завантажених каменем або щебенем [4]. Для посилення стійкості таких споруд габійні коробки, які попередньо вистеляють геотекстильним матеріалом підвищеної щільності, можуть заповнювати піщано-цементною сумішшю [5]. Недоліком таких споруд є те, що при прямому попаданні вибухових предметів (мін) може відбутися додаткове ураження особового складу камінням і щебенем, а при використанні піщано-цементних сумішей необхідний тривалий час для набуття ними міцності.

Існують різноманітні мобільні споруди, які виготовляють із залізобетонних блоків і плит, що використовуються для захисту цивільного населення. Наприклад, компанія «Institute of Blast & Impact Proof Concrete» (Чехія) [6] розробила нові типи захисних мобільних споруд із вибухо- та ударостійкого бетону відповідно до вимог стандарту NATO STANAG 2280. Вона призначена для захисту особового складу від ураження скалками та стрілецькою зброєю. Відома модульна фортифікаційна споруда, що збирається із залізобетонних частин [7]. Також споруда може бути виконана цільнокаркасною з залізобетону у формі пустотілого прямокутного паралелепіпеда з розмірами, оптимальними для перевезення вантажним автомобільним транспортом загального призначення [8].

До недоліків залізобетонних споруд можна віднести відносно довгу тривалість як монтажу, так і розбирання, та необхідність залучення важкої підйомної техніки.

Скорочення термінів монтажу споруд і вилучення з

процесу побудови важкої підйомної техніки можливе при використанні збірно-розбірних споруд, що містять захисні стінки, виконані з залізобетонних блоків, які з'єднують один з одним за рахунок з'єднувальних елементів [9, 10]. Проте такі споруди можуть мати низькі показники стійкості.

Ще з часів Першої світової війни відомо про мобільні збірні споруди із гофрованої сталі («Хатини Ніссена»), як житло для солдат, так і захисту цивільного населення та облаштування госпіталів, складів, а в роки Другої світової війни британці спорудили близько 2,1 мільйони споруд з гофрованого металу для захисту населення [11].

На теперішній час в умовах повномасштабного вторгнення російської федерації в Україні виготовляються такі укриття з гофрованої сталі, яка має хвилясту поверхню, при цьому виробниками були враховані конструктивні недоліки та використано нові технології та матеріали [11, 12]. Відома фортифікаційна споруда з комплексу хвилястої сталі [12], що за зовнішніми обрисами має циліндричну форму. Прикладом подібної споруди вітчизняного виробництва є капсули, що виготовлені з хвилястої сталі на Метінвест Холдинг [13]. На кінець жовтня 2022 р. 30 таких капсул (рис. 1) передано ЗСУ. Підприємство «Метінвест» в Запоріжжі створило модульні укриття для захисту лише особового складу ЗСУ. Металева спецукриття розміром 2х6 м призначене для зміцнення окопу. Споруда розміщується на глибині 1,5 м і не передбачає участь особового складу в бойових діях безпосередньо з укриття.



Рис. 1. Металева капсула при встановленні краном та її внутрішній інтер'єр

Особливістю такої капсули є те, що вона може бути виготовлена на великих металургійних підприємствах, що мають капіталомістке валкове обладнання. Виробничі потужності таких підприємств знаходяться переважно на сході України, де наразі несприятливі умови для їх виробництва через воєнні дії. Товщина сталі та діаметр такої споруди обмежені можливостями потужного устаткування — вальців. Для вигинання вибирають сталь невисокої твердості. Також для збирання та демонтування цієї споруди необхідний автомобільний кран. В корпусі цієї споруди не передбачена можливість відкривання люків, бійниць, інших отворів в довільно визначеному місці у процесі експлуатації.

Для захисту особового складу відомі військові

фортифікаційні споруди, які виконуються з морського контейнера, верхня частина якого посилена П-подібними швелерами, в торцевій стінці змонтовані металеві двері [14], або виконуються у вигляді модулів з трьох морських контейнерів, які з'єднуються між собою болтовим з'єднанням [15]. Такі споруди також можуть зверху накриватися залізобетонними плитами та шаром ущільненого ґрунту [16]. Таке рішення на сьогодні не знаходить реалізації, оскільки окрім залучення важкої підйомної техніки для монтажних робіт потребує наявності морських контейнерів, які не задіяні за цільовим призначенням.

Проведений аналіз показує, що у сучасних умовах відсутні універсальні захисні споруди. Тому актуальною задачею є створення модульних захисних споруд, які швидко монтуються, виготовляються з доступних матеріалів, мають високі захисні властивості та короткий цикл виробництва.

Ефективним рішенням для швидкісної побудови захисних споруд може бути використання металевих конструкцій модульного типу. Перспективною технологією виготовлення тонкостінних легковагих металовиробів складної конфігурації, в тому числі модулів до захисних споруд, є лиття за моделями, що газифікуються [17, 18].

У відділі фізико-хімії ливарних процесів під керівництвом проф. О.Й. Шинського розроблено принципи побудови модульних захисних споруд на основі литих конструкцій. При розробленні конструкції модуля для підвищення його захисних характеристик і зменшення металоємності конфігурацію поверхні виконували хвилястою, оскільки така форма поверхні дає змогу змінити траєкторію руху руйнуючих елементів (рис. 2), а, в разі пошкодження першого шару металу, неметалевий наповнювач, який має високу вогнетривкість, буде запобігати розповсюдженню пожежі.

На основі попередніх припущень і розгляду існуючих конструкцій було розроблено конструкцію оболонки модуля, маса якої складає 28 кг (рис. 3). Такий модуль має полегшену конструкцію, а його

конфігурація утворюється множиною порожнистих циліндрів з товщиною стінки оболонки 10 мм. Внутрішня порожнина оболонки заповнюється неметалевим вогнетривким наповнювачем, який додатково поглинає енергію від дії вражаючих елементів.

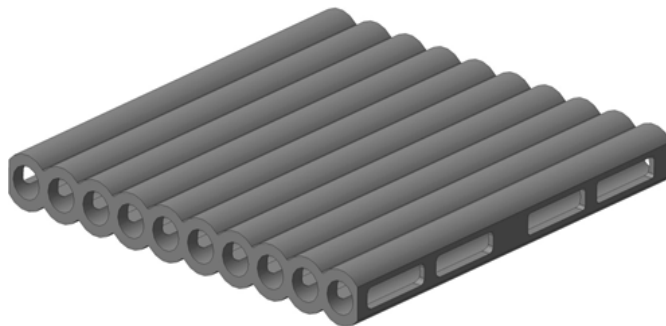


Рис. 3. Конструкція оболонки модуля

Для оболонки такого модуля необхідний рівень фізико-механічних властивостей сталей потребував розроблення нових високоміцних економно легованих ливарних сталей, що не вміщують дорогих і дефіцитних легувальних елементів, високоефективних технологій виготовлення литих елементів порожнистої конструкції та оптимальних режимів їх термічного оброблення. В результаті досліджень [19] визначено, що для виготовлення литих порожнистих модулів захисних споруд можна використовувати вуглецеві сталі економно леговані хромом, марганцем, ванадієм та зміцнені азотом.

Будівельні конструкції та оздоблення модульних захисних споруд повинні бути такими, що обмежують поширення пожежі в середині об'єкта, тож використання металевих порожнистих модулів з вогнетривкими неметалевими наповнювачами задовольняє таким вимогам.

На основі розробок ФТІМС НАН України було реалізовано технологічну схему виготовлення литих легковагих сталевих модулів литтям за моделями, що газифікуються. Ця схема включає виготовлення пінополістиролових моделей (рис. 4), заповнення їх вогнетривким наповнювачем та заливання рідким металом. Запропоновано методи підвищення стійкості вогнетривкого наповнювача за рахунок його внутрішнього армування [20]. За розробленими технологічними схемами виготовлено дослідні литі однорядні модулі (рис. 5) та проведено дослідно-виробничі перевірки. Виготовлення таких модулів литтям за моделями, що газифікуються, дає можливість знизити собівартість продукції та підвищити продуктивність.

Використання литих легковагих металевих конструкцій з умовною щільністю, яка у 1,5 рази нижча ніж у залізобетону, а за механічними характеристиками вища у 4...10 разів, у модульних спорудах дозволяє підвищити протидію руйнуванню від вибухової хвилі у 10 разів від нормативного навантаження. Це суттєво підвищує надійність та ресурс таких споруд, а також ефективність захисту. Водночас використання литих модулів заводського виготов-

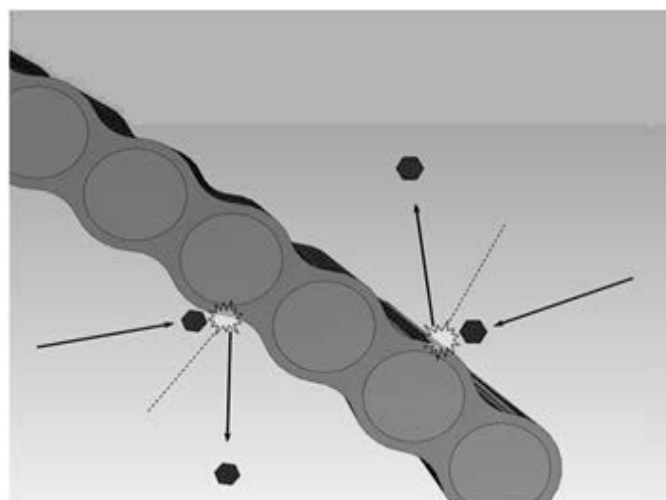


Рис. 2. Схема «роботи» захисного модуля



Рис. 4. Пінополістиролова модель модуля

лення дає змогу зменшити масу у порівнянні з аналогами з залізобетону (бетону) у 3...4 рази, а термін будівництва скоротити не менше ніж у 10 разів.

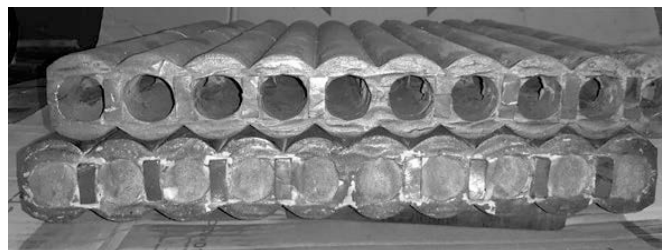


Рис. 5. Литі однорядні пустотілі модулі та з вонетривким наповнювачем

Результати, одержані розрахунковим методом [21—24] та польовими випробуваннями, дозволили встановити відповідність розроблених конструкцій вимогам ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» [25] (табл. 1).

Виходячи з аналізу таблиці 1, об'єкти за п.п. 2...4 класифікації захисних споруд можуть бути реалізовані шляхом їх швидкісної побудови з

Таблиця 1

Класифікація захисних споруд. Клас сховищ, СПП із захисними властивостями сховищ

№ з.п	Клас сховища, СПП із захисними властивостями сховищ	Класифікація сховищ	Захисні властивості	
			Надмірний тиск повітряної ударної хвилі ΔP_{ex} , кПа	Ступінь послаблення радіаційного впливу (ступінь захисту) A_z
1	У межах проєктної забудови міст, віднесених до групи особливої важливості цивільних захисних споруд	AI	500	5000
2	Окремо розташований об'єкт суб'єкта господарювання, віднесеного до категорії особливої важливості цивільного захисту (крім зазначених у пункті 1 цієї таблиці)	AII	300	3000
3	У межах проєктної забудови та санітарно-захисної зони атомних енергетичних об'єктів	AIII	200	5000
4	У межах проєктної забудови територій та населених пунктів, віднесених до відповідних груп цивільного захисту, а також за межами проєктної забудови та санітарно-захисної зони атомних енергетичних об'єктів у зонах можливих значних (сильних) руйнувань (крім зазначених у пунктах 1—3 цієї таблиці)	A IV	100	1000

використанням різновидів сталевих модулів даної конструкції.

Визначено, що укриття із литих легковагих сталевих модулів за своїми захисними функціями з огляду зберігання міцності, цілісності або суттєвих переміщень відповідає вимогам сховищ A-II, а за ступенем послаблення іонізуючого випромінювання — П-8 таблиці 1 і 2 (відповідно) додатку 1 ДБН Б 2.2-5-2023. Тобто запропоновані модулі можна використовувати для побудови захисних споруд.

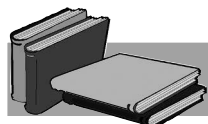
Висновки

Аналіз показав, що через недосконалість існуючих захисних споруд та складність процесів їх виготовлення та монтажу актуальною проблемою є розроблення споруд модульного типу. Для одержання модулів захисних споруд запропоновано застосування ливарних технологій, оскільки це дає змогу виготовити майже будь-яку конфігурацію поверхні, що підвищує її захисні характеристики.

Використання нового типу модульних споруд з литих легковагих металевих конструкцій з умовною щільністю, яка у 1,5 рази нижча ніж у залізобетону, а за механічними характеристиками вища у 4...10 разів, може протидіяти руйнуванню від вибухової хвилі у 10 разів від нормативного навантаження, що суттєво підвищує надійність, ефективність захисту та ресурс таких споруд. Тому наукові розробки в цьому напрямі продовжуються та вдосконалюються.

Фінансування досліджень

Дослідження виконано в рамках проекту № 2023.04/0029 «Розробка конструкцій та технології виготовлення литих порожнистих металевих модулів для швидкісної побудови різновидів мобільних і стаціонарних захисних споруд військового та цивільного призначення» державної реєстрації 0124U003980 за підтримки гранту Національного фонду досліджень України за програмою «Наука для зміцнення обороноздатності України».

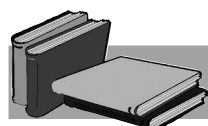


ЛІТЕРАТУРА

1. Мілютин В.А., Фтемов Ю.О., Павлючик В.П., Куцька О.М. Інженерне забезпечення загальновійськового бою: Навчальний посібник. Львів: АСВ, 2010. 164 с.
2. Дьяков С.І., Колос О.Л., Верстівський А.А. та ін. Фортифікація та маскування. Ч. 1. Фортифікаційне обладнання позицій та районів розташування військ (сил) в Антитерористичній операції: навч. посіб. Львів: НАСВ, 2016. 146 с.
3. Патент на корисну модель 109204 Україна. МПК E04H 9/00, E04H 9/04. Збірно-розбірна фортифікаційна споруда. Опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
4. Патент на корисну модель 95928 Україна. МПК F41H 11/00. Мобільна захисна фортифікаційна споруда швидкого реагування. Опубл. 12.01.2015, Бюл. № 1.
5. Патент на корисну модель 125028 Україна. МПК F41H 11/00. Мобільна фортифікаційна споруда швидкого реагування. Опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.
6. IBIPC. (n.d.). Official website. URL: <https://www.ibipc.com/> (дата звернення: 20.10.2025).
7. Патент на корисну модель 153149 Україна. МПК F41H 11/00. Модульна фортифікаційна споруда. Опубл. 24.05.2023, Бюл. № 21.
8. Патент на корисну модель 153894 Україна. МПК E04H 9/10. Фортифікаційна споруда модульного типу. Опубл. 13.09.2023, Бюл. № 37.
9. Патент на корисну модель 103263 Україна. МПК E04H 9/00, E04B 1/38, E04B 1/48, F41H 11/00. Військова фортифікаційна споруда для захисту особового складу. Опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.
10. Патент на корисну модель 154459 Україна. МПК E04H 9/00, F41H 11/00. Збірно-розбірна фортифікаційна споруда. Опубл. 15.11.2023, Бюл. № 46.
11. ViaCon Ukraine. Модульні укриття з гофрованої сталі. URL: <https://viacon.ua/produkcziya/ukryttya-z-gofrovanoyi-stali/> (дата звернення: 20.10.2025).
12. Патент на корисну модель 71000 Україна. МПК E04H 9/00. Фортифікаційна споруда з комплекту хвилястої сталі. Опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
13. Бровінська М. Українські металурги виготовляють захисні капсули для ЗСУ. 13.09.2022. URL: <https://dev.ua/news/metinvest-1663082794> (дата звернення: 20.10.2025).
14. Патент на корисну модель 116926 Україна. МПК F41H 5/24, E04H 9/04. Військова фортифікаційна споруда з контейнера для захисту особового складу. Опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.
15. Патент на корисну модель 135234 Україна. МПК F41H 5/24, E04H 9/04. Модульна фортифікаційна споруда з контейнерів. Опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12.
16. Патент на корисну модель 143059 Україна. МПК F41H 5/24, E04H 9/04. Модульна військова фортифікаційна споруда з захистом від артилерійського ураження. Опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
17. Шалевська І.А., Дорошенко В.С., Калюжний П.Б., Квасницька Ю.Г. Огляд застосування металевих литих матеріалів у будівництві підземних та захисних споруд. *Метал та лиття України*. 2022. Т. 30. № 4(331). С. 54—61. URL: <https://metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/42> (дата звернення: 20.10.2025).
18. Шинський В.О., Дорошенко В.С. Литі елементи модульних будівельних металоконструкцій за моделями, що газифікуються. *Метал та лиття України*. 2022. Т. 30. № 3(330). С. 65—71. URL: <https://metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/29> (дата звернення: 20.10.2025).
19. Шинський О.Й., Федоров Г.Є., Квасницька Ю.Г., Шалевська І.А., Калюжний П.Б., Нейма О.В., Шалевський А.В. Вибір матеріалів для виготовлення литих порожнистих металевих модулів захисних споруд. *Процеси лиття*. 2025. № 1(159). С. 11—21. <https://doi.org/10.15407/plit2025.01.011>
20. Shinsky O., Kvasnytska Iu., Shalevska I., Kaliuzhnyi P., Neima O. Devising a technology for manufacturing hollow cast steel structures with composite and reinforced non-metallic functional filler. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. 6(12 (132), 6—14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318553>

21. Чернозубенко О.В., Абрамсон А.Н., Мошковський М.С., Бабич А.М. Методика оцінки стану живучості та вибухопоже-
жобезпеки військових потенційно небезпечних об'єктів. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 2. С. 34—37. URL:
http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2014_2_9
22. Aagaard B.T. Finite-element simulations of earthquakes. PhD-Thesis, California Institute of Technology: Pasadena, California
2000.
23. Hallquist, J.O. LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corporation: California, USA 2005. URL: <https://www.dynamore.de/en/downloads/manuals/ls-dyna-manuals/ls-dyna-theory-manual-2005-beta.pdf> (дата звернення: 20.10.2025).
24. ANSYS, Inc.: ANSYS Structural Analysis Guide, ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA 2004.
25. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту». URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104666 (дата звернення: 20.10.2025).

Надійшла 29.10.2025



REFERENCES

1. Miliutin, V. A., Ftemov, Yu. O., Pavliuchyk, V. P., & Kutska, O. M. (2010). *Inzhenerne zabezpechennia zahalnoviiskovoho boiu: Navchalnyi posibnyk* [Engineering support of the general military battle. Training manual]. Lviv: ASV [in Ukrainian].
2. Diakov, S. I., Kolos, O. L., Verstivskiy, A. A., et al. (2016). *Fortyfikatsiia ta maskuvannia. Ch. 1. Fortyfikatsiine obladnannia pozytsii ta raioniv roztashuvannia viisk (syl) v Antyterorystychnii operatsii: navch. posib.* [Fortification and camouflage. Part 1. Fortification equipment of positions and areas of troop deployment in the Anti-Terrorist Operation. Training manual]. Lviv: NASV [in Ukrainian].
3. Patent No. UA 109204. (2016, August 10). Prefabricated fortification structure. *Bulletin No. 15* [in Ukrainian].
4. Patent No. UA 95928. (2015, January 12). Mobile rapid response defensive fortification structure. *Bulletin No. 1* [in Ukrainian].
5. Patent No. UA 125028. (2018, April 25). Mobile rapid response fortification structure. *Bulletin No. 8* [in Ukrainian].
6. IBIPC. (n.d.). *Official website*. <https://www.ibipc.com/>
7. Patent No. UA 153149. (2023, May 24). Mobile fortification structure. *Bulletin No. 21* [in Ukrainian].
8. Patent No. UA 153894. (2023, September 13). Modular fortification structure. *Bulletin No. 37* [in Ukrainian].
9. Patent No. UA 103263. (2015, December 10). Military fortification for the protection of personnel. *Bulletin No. 23* [in Ukrainian].
10. Patent No. UA 154459. (2023, November 15). Prefabricated fortification structure. *Bulletin No. 46* [in Ukrainian].
11. ViaCon Ukraine. (n.d.). *Modulni ukryttia z hofrovanoi stali* [Modular shelters made of corrugated steel]. <https://viacon.ua/produkcziya/ukryttia-z-gofrovanoi-stali/> [in Ukrainian].
12. Patent No. UA 71000. (2012, June 25). Fortification structure made of corrugated steel set. *Bulletin No. 12* [in Ukrainian].
13. Brovinska, M. (2022, September 13). *Ukrainski metalurhy vyhotovliaiut zakhysni kapsuly dlia ZSU* [Ukrainian metallurgists manufacture protective capsules for the Armed Forces of Ukraine]. <https://dev.ua/news/metinvest-1663082794> [in Ukrainian].
14. Patent No. UA 116926. (2017, June 12). Military fortification made of a container for personnel protection. *Bulletin No. 11* [in Ukrainian].
15. Patent No. UA 135234. (2019, June 25). Modular military fortification made of containers. *Bulletin No. 12* [in Ukrainian].
16. Patent No. UA 143059. (2020, July 10). Modular military fortification structure with protection against artillery damage. *Bulletin No. 13* [in Ukrainian].
17. Shalevska, I. A., Doroshenko, V. S., Kaliuzhnyi, P. B., & Kvasnytska, Yu. H. (2022). Review of the use of cast metal materials in the construction of underground and protective structures. *Metal and Casting of Ukraine*, 30(4(331)), 54-61. <https://metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/42> [in Ukrainian].
18. Shinsky, V. O., & Doroshenko, V. S. (2022). Cast elements of modular building metal structures for their production by Lost Foam Casting. *Metal and Casting of Ukraine*, 30(3(330)), 65-71. <https://metalsandcasting.com/index.php/mcu/article/view/29> [in Ukrainian].
19. Shynskiy, O., Fedorov, G., Kvasnytska, Yu., Shalevska, I., Kaliuzhnyi, P., Neima, O., & Shalevskiy, A. (2025). Selection of materials for the manufacture of cast hollow metal modules of protective structures. *Casting Processes*, 1(159), 11-21. <https://doi.org/10.15407/plit2025.01.011> [in Ukrainian].
20. Shinsky, O., Kvasnytska, I., Shalevska, I., Kaliuzhnyi, P., & Neima, O. (2024). Devising a technology for manufacturing hollow cast steel structures with composite and reinforced non-metallic functional filler. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(12(132)), 6-14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.318553>
21. Chernozubenko, O. V., Abramson, A. N., Moshkovskiy, M. S., & Babych, A. M. (2014). Methodology for assessing the survivability and explosion-fire safety of military potentially dangerous objects. *Armament and Military Equipment*, (2), 34-37. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ovt_2014_2_9 [in Ukrainian].

22. Aagaard, B. T. (2000). Finite-element simulations of earthquakes (Doctoral dissertation, California Institute of Technology). Pasadena, CA.
23. Hallquist, J. O. (2005). *LS-DYNA theory manual*. Livermore Software Technology Corporation. <https://www.dynamore.de/en/downloads/manuals/lis-dyna-manuals/lis-dyna-theory-manual-2005-beta.pdf>
24. ANSYS, Inc. (2004). *ANSYS structural analysis guide*. Canonsburg, PA: ANSYS, Inc.
25. State Building Codes of Ukraine (DBN B.2.2-5:2023). (2023). *Protective structures of civil protection*. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=104666 [in Ukrainian].

Received 29.10.2025

Summary

O.Y. Shinsky, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Head of the Department of Physics and Chemistry of Foundry Processes, e-mail: aluprt@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6200-0709>, Web of Science ResearcherID: FYR-0797-2022

I.A. Shalevska, Dr. Sci. (Engin.), Associate Professor, Leading Research Scientist of the Department of Physics and Chemistry of Foundry Processes, e-mail: innashalevska@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8410-7045>, Web of Science ResearcherID: HPA-0985-2023

P.B. Kaliuzhnyi, PhD (Engin.), Senior Research Scientist of the Department of Physics and Chemistry of Foundry Processes, e-mail: kpb.ptima@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1111-4826>, Web of Science ResearcherID: ACI-8185-2022

Yu.H. Kvasnytska, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Dr. Sci. (Engin.), Head of the Department of Special Steels and Alloys, e-mail: jul.kvasnitskaja@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3790-2035>, Web of Science ResearcherID AAB-9833-2022

O.V. Neima, Researcher of the Department of Physics and Chemistry of Foundry Processes, e-mail: Neima_Alex@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-5438-7253>, Web of Science ResearcherID: IAM-9493-2023

A.V. Shalevskyi, Chief technologist of the Department of Physics and Chemistry of Foundry Processes, <https://orcid.org/0009-0002-8534-4728>

Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

Features of Obtaining Cast Modules for the Construction of Protective Structures

The article is devoted to the current issues related to the development of modular protective structures. The article considers the types of engineering structures designed to protect personnel, control points and material and technical means from the effects of weapons. Special attention is paid to prefabricated structures for the rapid construction of shelters. A number of shortcomings in the complexity of production, installation, duration of the production cycle in the manufacture of existing protective structures, or their insufficient stability, were identified. The prospects of using casting technologies for

obtaining modules for the rapid construction of protective structures are shown.

The Physico-technological Institute of Metals and Alloys of the National Academy of Sciences of Ukraine has developed the principles of constructing modular protective structures based on cast structures. Cast modules have been designed, which structurally consist of a metal shell and a refractory non-metallic filler and have a surface that increases their protective characteristics and reduces the metal content of products. For the shell of the modules, economical alloyed carbon steels and appropriate heat treatment regimes have been developed to ensure the required level of physical and mechanical properties. The use of non-metallic fillers in cast metal structures allows for the production of modules with a nominal density that is 1.5 times lower than that of reinforced concrete.

As a result of the research, a comprehensive technological scheme for the manufacture of cast lightweight steel modules based on gasified models was developed. Laboratory and pilot-production tests were conducted, and pilot modules were manufactured. It was established that the shelter made of cast lightweight steel modules in terms of protective characteristics — in terms of maintaining strength, integrity, and preventing significant movements — meets the requirements of storage facilities in accordance with regulatory documentation.

Keywords

Casting, protective structure, thin-walled cast modules, filler, lost foam casting.