

УДК 624.01:691]:[727:699.852]-044.247

В. В. Петров*

аспірант, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5173-4279>

Кафедра архітектури будівель та дизайну

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», проспект Першотравневий, 24, Полтава, Україна, 36011

*автор-кореспондент, e-mail: peeterssonn@gmail.com

Сучасні конструктивні системи для будівництва ЗЗСО із захисними спорудами: матеріали, технології

Цитувати як:

Петров, В. В. (2026). Сучасні конструктивні системи для будівництва ЗЗСО із захисними спорудами: матеріали, технології. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*, 25, 350-366. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-26](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-26)

© 2026, Автор. Публікується згідно рекомендацій ліцензії [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Анотація. Стаття присвячена аналізу сучасних конструктивних систем, матеріалів і технологій, що застосовуються під час проектування закладів загальної середньої освіти (ЗЗСО) із вбудованими або прибудованими захисними спорудами цивільного захисту. Актуальність дослідження визначається потребою забезпечення безперервності освітнього процесу в умовах воєнних загроз в Україні, коли шкільна будівля має поєднувати навчальну та захисну функції. Метою статті є визначення конструктивних рішень, здатних забезпечити безпеку, функціональну придатність, довговічність і подальше використання захисних просторів у мирний час. У роботі використано порівняльний аналіз нормативних вимог, узагальнення наукових публікацій, систематизацію конструктивних рішень і архітектурно-планувальний аналіз укриттів у складі освітніх об'єктів. Обґрунтовано доцільність каркасно-монолітної залізобетонної системи як основи інтеграції захисних споруд у структуру школи, оскільки вона забезпечує просторову жорсткість, планувальну гнучкість і резервний перерозподіл зусиль. Окремо розглянуто застосування фібробетону та комбінованого армування у плитах перекриття, ригелях і вузлах каркаса, що можуть сприймати динамічні, ударні та вибухові навантаження. Проаналізовано локалізацію прогресуючого руйнування, герметизацію швів і вводи інженерних комунікацій, вентиляцію, автономне життєзабезпечення та природне освітлення через світловоди. Визначено інженерно-технологічні умови придатності просторів до тривалого перебування. Встановлено, що ефективність шкільної будівлі із захисною спорудою залежить від узгодження конструктивної схеми, інженерного обладнання, планувальної логіки та сценаріїв експлуатації. Запропоновано інтегративний підхід, за якого укриття

розглядається як постійний елемент освітньої інфраструктури, придатний для безпечного перебування, навчання і подальшої адаптації.

Ключові слова: шкільні будівлі, захисні споруди, каркасно-монолітна система, фібробетон, прогресуюче руйнування.

Вступ

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. Запровадження в Україні правового режиму воєнного стану відповідно до Указу Президента України від 24.02.2022 № 64/2022 «Про введення воєнного стану в Україні» актуалізувало необхідність перегляду підходів до проектування закладів загальної середньої освіти. У цьому контексті особливого значення набуває інтеграція захисних споруд цивільного захисту у структуру шкільних будівель, що узгоджується з вимогами ДБН В.2.2-5:2023 щодо проектування захисних споруд, протирадіаційних укриттів і споруд подвійного призначення, а також із Порядком створення, утримання фонду захисних споруд цивільного захисту, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 10.03.2017 № 138. Укриття більше не можуть існувати як тимчасові або ізольовані простори - вони мають бути повноцінно інтегрованими у функціональну та конструктивну систему освітнього середовища. Водночас більшість наявних будівель не пристосовані до таких викликів, а чинні нормативи лише частково регламентують архітектурно-конструктивні підходи до реалізації укриттів у школах. Проблема ускладнюється відсутністю усталеної практики поєднання безпеки, функціональності та комфортності в межах одного архітектурного рішення. Створення просторів, здатних витримувати вибухові та ударні навантаження, потребує використання спеціальних матеріалів, зокрема фібробетону, і конструктивних систем, стійких до прогресуючого руйнування. Аналіз публікацій [3-13] засвідчує, що питання захисних споруд у закладах освіти розглядається переважно через окремі конструктивні, інженерні або організаційні аспекти, тоді як комплексне поєднання конструктивної системи, архітектурного планування, інженерного забезпечення, ударостійких матеріалів і подальшої адаптації укриттів потребує додаткового наукового опрацювання.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є аналіз сучасних конструктивних систем, матеріалів і технологій, що застосовуються при проектуванні та будівництві шкільних будівель із захисними спорудами, з визначенням ефективних технічних рішень для забезпечення надійності, функціональності та адаптивності таких споруд в умовах воєнного і мирного часу. Завдання дослідження полягають у систематизації нормативних і наукових джерел, визначенні переваг каркасно-монолітної системи, аналізі потенціалу фібробетону та комбінованого армування, а також в узагальненні інженерних рішень щодо герметизації, вентиляції, освітлення й автономного забезпечення укриттів.

Матеріали та методи

Матеріалами дослідження слугували положення ДБН В.2.2-5:2023 щодо захисних споруд цивільного захисту [1], практичний посібник з проєктування укриттів у закладах дошкільної та загальної середньої освіти [2], а також наукові праці, присвячені типології цивільних укриттів, високошвидкісному ударному навантаженню, фібробетону, прогресуючому руйнуванню, вибухостійкості залізобетонних плит і системам природного освітлення підземних приміщень [3–13]. Практичний посібник використано як прикладну основу для аналізу типів захисних споруд, їх розташування, місткості, об'ємно-планувальних рішень, входів, аварійних виходів, інклюзивності та організації внутрішнього простору [2].

Методика дослідження передбачає порівняльний аналіз конструктивно-технологічних рішень, що можуть застосовуватися при новому будівництві закладів загальної середньої освіти із вбудованими або прибудованими захисними спорудами. Оцінювання виконувалося за такими критеріями: стійкість до динамічних і вибухових впливів, опір прогресуючому руйнуванню, планувальна гнучкість, технологічність виконання будівельних робіт, герметичність захисного об'єму, ремонтпридатність, доступність матеріалів, орієнтовна вартість та експлуатаційна придатність у штатному режимі використання будівлі.

Для порівняльного аналізу було обрано три рішення, які відповідають темі нового будівництва ЗЗСО із захисними спорудами: каркасно-монолітну залізобетонну систему з традиційним армуванням, каркасно-монолітну систему з використанням фібробетону та комбінованого армування у критичних елементах, а також збірно-монолітну залізобетонну систему.

Результати та обговорення

Сучасне будівництво закладів загальної середньої освіти в Україні має враховувати не лише освітню функцію, а й вимоги до безпеки дітей під час надзвичайних ситуацій. В умовах воєнної загрози особливо актуальним є проєктування будівель із вбудованими або прибудованими захисними спорудами цивільного захисту. Це можуть бути протирадіаційні укриття (ПРУ) або споруди подвійного призначення (СПП), розміщені у підвальному, цокольному чи прибудованому об'ємі. Для більш гнучкого користування та подальшої адаптації захисних приміщень після завершення бойових дій доцільним є використання саме СПП, однак остаточний вибір типу захисної споруди має визначатися залежно від містобудівних умов, конструктивних можливостей будівлі та рівня потенційної загрози. Водночас у будь-якому випадку конструктивна система таких об'єктів повинна бути функціональною, енергоефективною та стійкою до дії вибухових і ударних навантажень.

Найбільш придатною для інтеграції захисних споруд є каркасно-монолітна система, яка забезпечує високу просторову жорсткість, гнучкість у плануванні та можливість формування об'ємних приміщень зі зниженим ризиком прогресуючого обвалення. При цьому використовуються залізобетонні елементи (колони, ригелі, плити перекриття), які можуть бути посилені за рахунок використання багат шарового армування. Важливим є і правильне компонування конструктивної сітки. Наприклад, сітка колон $6 \times 4,5$ м або 6×6 м є оптимальною з точки зору балансу між гнучкістю архітектурного планування і міцністю конструкцій. У зоні розміщення захисних споруд сітка може бути ущільнена або доповнена жорсткими ядрами (сходові клітки, діафрагми жорсткості), що посилює здатність будівлі протистояти динамічним впливам.

Важливе значення має також вибір конфігурації укриття. Найефективнішими з точки зору розподілу тиску вважаються прямокутні об'єми з обмеженою кількістю кутів і виступів. Такі форми зменшують зони концентрації напружень, покращують аеродинаміку внутрішніх об'ємів у разі проникнення хвилі та спрощують евакуаційні маршрути. Вхідні групи доцільно проектувати у вигляді тамбурів з подвійними протибалістичними дверима. Деякі дослідження також пропонують застосування подвійного контуру захисту — периметрального армованого шару та внутрішньої еластичної обшивки, здатної демпфувати імпульс. Отже, конструктивна ефективність захисної споруди визначається не окремим параметром міцності, а взаємозв'язком просторової схеми, геометрії об'єму, типу несучих елементів і матеріалу огорожувальних конструкцій. Для закладів загальної середньої освіти це має особливе значення, оскільки захисний простір повинен одночасно відповідати вимогам безпеки, забезпечувати зрозумілу евакуаційну логіку, не ускладнювати повсякденну експлуатацію будівлі та зберігати можливість подальшого функціонального використання. Тому вибір матеріалу для основних конструктивних елементів укриття має розглядатися не ізольовано, а як частина загальної архітектурно-конструктивної моделі будівлі.

При проектуванні укриттів одним із визначальних критеріїв є вибір конструкційного матеріалу, придатного для роботи в умовах короточасних динамічних навантажень. Доцільність матеріалу визначається за сукупністю параметрів: міцністю на стиск і розтяг, тріщиностійкістю, ударостійкістю, стійкістю до дії вибухової хвилі, довговічністю, вогнестійкістю, водонепроникністю, технологічністю виконання робіт, доступністю на будівельному ринку, економічною ефективністю, ремонтопридатністю та здатністю забезпечувати стабільну роботу конструкції в умовах короточасних динамічних навантажень.

Саме за сукупністю цих параметрів доцільним матеріалом для захисних споруд є фібробетон. На відміну від звичайного бетону, він має

підвищену тріщиностійкість і краще працює при дії короткочасних динамічних навантажень, зокрема ударних та вибухових впливів. Наявність дисперсного армування у вигляді сталевий, базальтової або полімерної фібри дає змогу більш рівномірно розподіляти напруження в тілі конструкції, обмежувати розвиток тріщин і зменшувати ризик крихкого руйнування. Результати досліджень сталевіфробетонних плит під ударним навантаженням засвідчують підвищення несучої здатності, зменшення ширини і кроку тріщин та локальних пошкоджень порівняно зі звичайним залізобетоном [6]. Огляд досліджень ударостійкості бетонних і фібробетонних елементів також підтверджує, що фіброве армування знижує ризик відколювання, продавлювання та втрати цілісності конструкції при високошвидкісному впливі [7]. Для шкільних укриттів це означає можливість підвищення живучості плит перекриття, стін, ригелів і вузлів каркаса без втрати експлуатаційної придатності простору.

Для уточнення механізму локального руйнування бетонних елементів при високошвидкісному ударному навантаженні на рис. 1–3 наведено схеми поширення хвиль напружень, основні стадії пошкодження бетонної плити та спосіб вимірювання параметрів локального руйнування. Ці схеми характеризують базову поведінку бетонного елемента під дією ударника і використовуються як вихідна основа для подальшого аналізу доцільності фібрового та комбінованого армування. Приклади роботи плит із комбінованим армуванням і фібробетонних зразків наведено на рис. 4.



Рис. 1. Поширення стискальної та розтягальної хвиль у бетонному елементі при високошвидкісному ударному навантаженні [7]

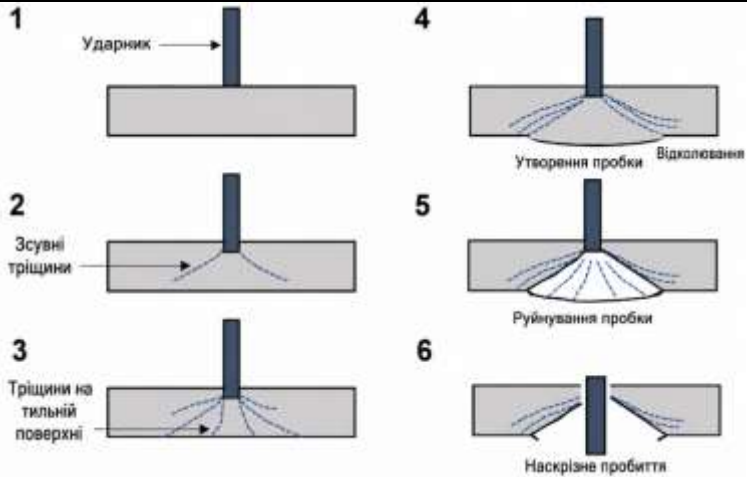


Рис. 2. Послідовність стадій локального руйнування бетонної плити при ударному навантаженні: 1 — початковий контакт ударника з плитою; 2 — утворення зсувних тріщин; 3 — формування тріщин на тильній поверхні; 4 — утворення бетонної пробки та тильне виколування; 5 — руйнування пробки; 6 — наскрізне пробиття [7]

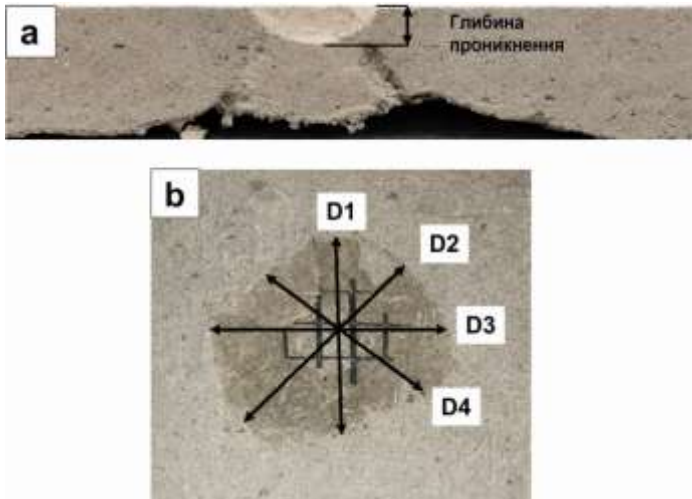


Рис. 3. Схема вимірювання параметрів локального руйнування бетонної плити при ударному навантаженні: а — глибина проникнення ударника; б — вимірювання діаметра зони відколювання / тильного виколування; D1–D4 — напрямки вимірювання діаметра зони локального пошкодження [7]



Рис. 4. Характер руйнування дослідної залізобетонної плити з комбінованим армуванням при високошвидкісному ударі: а — зона локального пошкодження; б — схема армування плити до взаємодії з ударником [4]

Стійкість до прогресуючого руйнування є одним із ключових критеріїв вибору конструктивної системи для будівель ЗСГО із захисними спорудами. Це стосується як споруд подвійного призначення, так і протирадіаційних укриттів, інтегрованих у структуру навчального закладу. Прогресуюче руйнування виникає внаслідок локального виходу з ладу одного або кількох елементів несучої системи, що може спричинити каскадне обвалення суміжних конструкцій. Для об'єктів з масовим перебуванням людей така ситуація є особливо небезпечною, оскільки навіть локальне пошкодження може призвести до втрати несучої здатності окремих ділянок, утворення уламків і підвищення ризику травмування користувачів укриття.

Каркасно-монолітна система дає змогу реалізувати принцип конструктивної резервності, коли навантаження при руйнуванні одного елемента може перерозподілятися на суміжні конструкції без втрати несучої здатності всієї будівлі. Завдяки цілісності залізобетонного каркаса, зв'язку колон, ригелів і плит перекриття в єдину жорстку систему, відбувається часткове поглинання імпульсу, що захищає від прогресуючого обвалення. Такий принцип також забезпечує стійкість при сейсмічних коливаннях або локальному вибуховому навантаженні.

Ефективність підвищується за рахунок використання фібробетону в критичних елементах, зокрема у плитах перекриття над укриттям, ригелях і зонах сполучення несучих елементів, де можливе виникнення крихкого руйнування. Дисперсне армування фіброю дозволяє локалізувати тріщини, підвищити деформаційну здатність конструкції та уникнути раптового обвалення при досягненні граничних станів. Дослідження застосування

високоміцних фіброармованих цементних композитів у вузлах залізобетонних каркасів також підтверджують їхній потенціал для підвищення стійкості будівель до прогресуючого руйнування [8].

Варіанти конструктивного армування залізобетонної плити та характер проникнення ударника залежно від типу армування наведено на рис. 5.

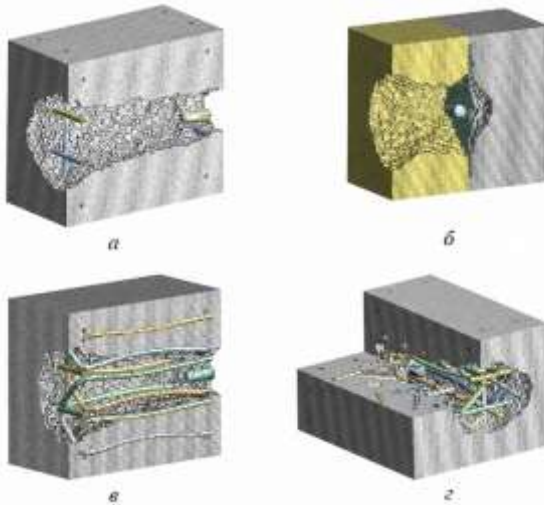


Рис. 5. Характер проникнення ударника в дослідні залізобетонні плити з різними типами армування: а — подвійна сітка; б — суцільний металевий лист; в — подвійна сітка з поперечною арматурою; г — комбіноване армування з поперечною арматурою, подвійною сіткою та фіброю [4]

У таких умовах доцільним є формування вторинних шляхів передачі зусиль (наприклад, через монолітні діафрагми жорсткості або додаткові армовані пояси), які можуть прийняти навантаження при виході з ладу основних елементів. Поєднання монолітного залізобетону з фіброармуванням формує підґрунтя для створення конструкцій з високою стійкістю до прогресуючих руйнувань. Це є принципово важливим у проектуванні шкільних будівель, де укриття інтегруються безпосередньо в просторову структуру будівлі та повинні зберігати цілісність навіть при частковому руйнуванні окремих конструктивних вузлів.

Але проектування захисних споруд у складі освітніх будівель вимагає не лише вибору конструктивної системи, а й застосування

відповідних технологій зведення, що дозволяють забезпечити герметичність, стійкість до вибухової хвилі та функціональність у довготривалому використанні.

Однією з головних задач інженерного етапу є забезпечення герметичності укриттів. Для цього застосовуються спеціалізовані добавки до бетонів, внутрішні ущільнюючі шви та гідроізоляційні прошарки. Наприклад, для перекриттів, що слугують одночасно перекриттям підвалу й підлогою першого поверху, доцільно використовувати полімерно-бітумну мембрану на бетонній основі, яка утворює бар'єр для вологи та пилу. Також важливо облаштовувати деформаційні шви з еластичними компенсаторами, які зберігають герметичність при температурних або динамічних зсувних впливах.

Окрема увага приділяється формуванню отворів та інженерних вводів, оскільки саме ці зони є найуразливішими при вибуховому навантаженні. Згідно з рекомендаціями [1], отвори для вентиляційних шахт, кабельних каналів та евакуаційних виходів мають проектуватися із застосуванням вибухостійких клапанів і протипожежних закладних елементів, а інженерні канали — проходити через ущільнювачі з негорючих еластомерів. Інженерні вводи доцільно розглядати як одну з найуразливіших зон захисного об'єму, де герметичність забезпечується не лише матеріалом огорожувальної конструкції, а й комплексом вузлових рішень: гільзами, ущільнювачами, протипожежними закладними елементами та захищеним прокладанням мереж.

Вентиляція та мікроклімат у межах укриття також є критичними для безпечного перебування людей. У сучасних рішеннях передбачаються системи з механічним або комбінованим припливно-витяжним режимом, часто з резервним живленням від акумуляторів. Приміщення повинні мати повітрообмін згідно з нормами, встановленими ДБН, а також системи фільтрації повітря — у разі хімічної загрози. Обладнання вентиляції розміщується у відокремлених камерах із шумоізоляцією та можливістю обслуговування в мирний час.

Важливо забезпечити автономність життєзабезпечення укриттів. У практиці реалізованих об'єктів передбачається встановлення акумуляторних освітлювальних систем, автономних джерел водопостачання, санітарних вузлів з накопичувальними резервуарами та резервних систем електроживлення. Також актуальним є використання енергозберігаючих технологій, зокрема пасивного освітлення. Одним із таких рішень є трубчасті системи денного освітлення, які передають природне світло з поверхні у внутрішні, підземні або напівпідземні простори будівлі. Огляд досліджень трубчастих світловодів засвідчує їхню придатність для підвищення рівня природного освітлення і зменшення

витрат електроенергії на штучне освітлення [11, 12]. Застосування подібних систем у захисних просторах ЗЗСО може покращити психоемоційний комфорт користувачів і знизити експлуатаційне навантаження на інженерні системи. Саме тому при проектуванні та будівництві захисних споруд ЗЗСО доцільно розглядати трубчастий світловод як технологічне рішення для передавання природного освітлення до підземних або напівпідземних приміщень. Принципову схему роботи трубчастого світловоду наведено на рис. 6.

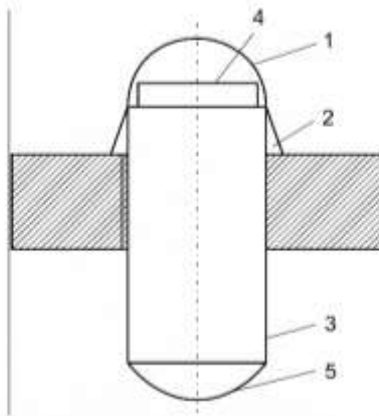


Рис. 6. Принципова схема трубчастого світловоду для передавання природного світла у внутрішні, підземні або напівпідземні приміщення: 1 — світлоприймальний купол зі світлопрозорого пластику; 2 — покрівельний скляний вузол, інтегрований у покриття; 3 — трубчастий світлопровідний канал; 4 — світлоспрямовувальний пристрій; 5 — дифузор для розподілу світла в інтер'єрі [11]

З огляду на постійну загрозу обстрілів, захисні споруди у складі шкільних будівель мають бути стійкими до динамічного впливу вибухової хвилі. Відповідно до вимог [1], укриття повинні забезпечувати нормативні захисні властивості, зокрема сприймати надлишковий тиск без втрати несучої здатності основних огорожувальних конструкцій. Дослідження залізобетонних плит при контактних вибухах і фіброармованих бетонних плит підтверджують, що підвищення міцності бетонної матриці, фіброве армування та раціональне конструктивне армування зменшують локальні пошкодження, відколювання і ризик наскрізного руйнування [9, 10]. Це обґрунтовує застосування комбінованих залізобетонних і фіробетонних

конструкцій, параметри яких мають уточнюватися спеціальним розрахунком залежно від класу споруди, глибини закладення та очікуваного рівня загрози.

Узагальнення результатів аналізу конструктивних, матеріальних та інженерно-технологічних рішень наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльна оцінка конструктивно-технологічних рішень для нового будівництва ЗЗСО із захисними спорудами

Критерій оцінювання	Каркасно-монолітна ЗБ система	Каркасно-монолітна ЗБ система з фібробетоном	Збірно-монолітна ЗБ система
Стійкість до динамічних і вибухових впливів	Достатня за умови спец. розрахунку	Вища завдяки стримуванню тріщин фіброю	Залежить від якості стиків і вузлів
Опір прогресуючому руйнуванню	Високий завдяки цілісності каркаса	Найбільш високий через поєднання монолітності й фіброармування	Середній; критичними є стики елементів
Планувальна гнучкість	Висока, зручна для шкільних планувань	Висока, оскільки базова схема не змінюється	Залежить від типорозмірів елементів
Технологічність будівництва	Трудомістка технологія	Потребує контролю складу суміші та укладання	Вища швидкість монтажу
Герметичність захисного	Досягається через якісну гідроізоляцію	Вища при правильній герметизації швів	Ускладнена через більшу кількість

об'єму	й обробку швів	і вводів	стиків
Придатність до ремонту	Можливий локальний ремонт	Краща за рахунок меншого тріщиноутворення	Залежить від доступності
Доступність матеріалів	Бетон і арматура поширені	Середня/висока: потрібна якісна фібра	Висока для типових елементів
Вартість	Залежить від обсягу робіт	Вища, але виправдана для критичних зон	Заводське виготовлення і монтаж
Експлуатаційна придатність	Висока	Висока, з підвищеною конструктивною надійністю	Залежить від габаритів і стиків

Результати порівняння підтверджують, що найбільш збалансованим рішенням для нового будівництва ЗЗСО із захисними спорудами є каркасно-монолітна залізобетонна система з локальним використанням фібробетону у критичних елементах. Таке рішення поєднує просторову жорсткість, планувальну гнучкість, підвищену тріщиностійкість і можливість інтеграції інженерних систем у структуру будівлі. Водночас його ефективність залежить від спеціального розрахункового обґрунтування, контролю складу фібробетонної суміші, якості армування та ретельного опрацювання вузлів герметизації.

Водночас не слід розглядати вибір одного універсального конструктивного рішення для всіх шкільних об'єктів. Для практичного проектування важливим є поєднання базової каркасно-монолітної системи з локальним посиленням тих елементів, які мають найбільше значення для стійкості захисного об'єму: плит перекриття, стін, ригелів, вузлів каркаса, інженерних вводів і вхідних груп. Саме така комбінація дозволяє перейти від загальної оцінки матеріалів і технологій до формування цілісної моделі шкільної будівлі із захисним простором.

Висновки

У результаті порівняльного аналізу встановлено, що для нового будівництва ЗЗСО із вбудованими або прибудованими захисними спорудами пріоритетним конструктивним рішенням є каркасно-монолітна залізобетонна система. Її перевага полягає у просторовій цілісності каркаса, планувальній гнучкості, можливості формування підземних і напівпідземних захисних об'ємів та здатності до перерозподілу зусиль у разі локального пошкодження окремих елементів.

Визначено, що фібробетон доцільно застосовувати не як універсальну заміну традиційному залізобетону, а локально — у критичних елементах, які можуть сприймати короточасні динамічні, ударні або вибухові впливи. До таких елементів належать плити перекриття над захисним об'ємом, стіни укриття, ригелі та вузли сполучення несучих конструкцій. У цих зонах дисперсне армування підвищує тріщиностійкість, зменшує ризик крихкого руйнування та сприяє збереженню цілісності конструкції після локального пошкодження.

Критичними для експлуатаційної придатності укриттів є комбіноване армування відповідальних елементів, герметизація швів і введів інженерних комунікацій, встановлення вибухостійких елементів, організація вентиляції, резервного електроживлення, автономного забезпечення та систем освітлення, зокрема з можливим використанням світловодів. Ефективність таких рішень визначається не окремим матеріалом або технологією, а їх узгодженням із конструктивною схемою, планувальною організацією та режимами експлуатації будівлі.

Запропонований підхід має обмеження і не може застосовуватися як універсальна типова схема без додаткового обґрунтування. Остаточні параметри конструкцій, склад фібробетону, тип армування, рівень герметизації, глибина закладення та інженерне обладнання мають визначатися спеціальним розрахунком з урахуванням класу захисної споруди, розрахункового навантаження, містобудівних, геологічних і експлуатаційних умов.

Конфлікти інтересів

Автор заявляє, що не має конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження або результати, наведені в цьому документі.

Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

Доступність даних

Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Використання штучного інтелекту

Автор підтверджує, що при створенні поточної роботи він не використовував технології штучного інтелекту.

References

1. Ministerstvo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy. (2023). DBN V.2.2-5:2023. Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu. Kyiv. https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3869917268095796623?doc_type=2
2. Ministerstvo rozvytku hromad, terytorii ta infrastruktury Ukrainy. (2023). Praktychnyi posibnyk z proiektuvannya ukryttiv u zakladakh doshkilnoi ta zahalnoi serednoi osvity. Kyiv. <https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/865/1.pdf>
3. Malik, T. V., Kovalov, Yu. M., Kalashnikova, V. V., & Nerusheva, V. M. (2023). Bahatokryterialna optymizatsiia dyzainu tsyvilnykh ukryttiv v Ukraini z urakhuvanniam izraiskoho dosvidu. Art and Design, 2(22), 170-178. <https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.2.15>
4. Afanasieva, L. V., & Lavrinenko, L. I. (2024). Konstruktsii zakhysnykh sporud v umovakh vysokoshydkisnoho udaru. Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya, 86, 230-242. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.230-242>
5. Skoruk, O. (2022). Doslidzhennia roboty fibrobetonu v konstruktsiiah pry dynamichnykh vplyvakh. Budivelni konstruktsii. Teoriia i praktyka, 11, 44-52. <https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.44-52>
6. Hrynyk, T. D., & Vecchio, F. J. (2014). Behavior of steel fiber-reinforced concrete slabs under impact load. ACI Structural Journal, 111(5), 1213-1224. <https://doi.org/10.14359/51686923>
7. Esaker, M., Thermou, G., & Neves, L. (2023). Impact resistance of concrete and fibre-reinforced concrete: A review. International Journal of Impact Engineering, 180, 104722. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2023.104722>
8. Mirzahassemi, H., Mirhosseini, S. M., & Zeighami, E. (2023). Robustness assessment of RC frame buildings with HPFRCC subjected to progressive collapse. Results in Engineering, 17, 100809. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100809>
9. Draganić, H., Jeleč, M., Gazić, G., & Lukić, S. (2025). Numerical investigations of reinforced concrete slabs subjected to contact explosions. Buildings, 15(7), 1063. <https://doi.org/10.3390/buildings15071063>
10. Rathnayaka, P. T. K., Son, K., Kwak, H.-G., Yoo, S.-J., & Lee, J.-Y. (2026). Experimental and numerical investigations of blast resistance of fiber-reinforced concrete slabs. Buildings, 16(4), 686. <https://doi.org/10.3390/buildings16040686>
11. Li, H., Wu, D., Yuan, Y., & Zuo, L. (2022). Evaluation methods of the daylight performance and potential energy saving of tubular daylight guide systems: A review. Indoor and Built Environment, 31(2), 299-323. <https://doi.org/10.1177/1420326X21992419>

12. Malet-Damour, B., Bigot, D., & Boyer, H. (2020). Technological review of tubular daylight guide system from 1982 to 2020. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 5(3), 375-386.
<https://doi.org/10.24018/ejeng.2020.5.3.1809>
13. Dovzhenko, O. O., Yurko, I. A., & Kravchenko, V. V. (2009). Zastosuvannya fibrobetonu v Ukraini. Vlastyvosti dyspersno armovanykh betoniv. *Komunalne hospodarstvo mist*, 90, 267-272.
https://eprints.kname.edu.ua/16031/1/267-272_%D0%94%D0%BE%D0%B2%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%9E%D0%9E.pdf

Література

1. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. (2023). ДБН В.2.2-5:2023. Захисні споруди цивільного захисту. Київ.
https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3869917268095796623?doc_type=2
2. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. (2023). Практичний посібник з проєктування укриттів у закладах дошкільної та загальної середньої освіти. Київ.
<https://decentralization.gov.ua/uploads/library/file/865/1.pdf>
3. Малік, Т. В., Ковальов, Ю. М., Калашнікова, В. В., & Нерушева, В. М. (2023). Багатокритеріальна оптимізація дизайну цивільних укриттів в Україні з урахуванням ізраїльського досвіду. *Art and Design*, 2(22), 170-178.
<https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.2.15>
4. Афанасьєва, Л. В., & Лаврінєнко, Л. І. (2024). Конструкції захисних споруд в умовах високошвидкісного удару. *Містобудування та територіальне планування*, 86, 230-242.
<https://doi.org/10.32347/2076-815x.2024.86.230-242>
5. Скорук, О. (2022). Дослідження роботи фібробетону в конструкціях при динамічних впливах. *Будівельні конструкції. Теорія і практика*, 11, 44-52.
<https://doi.org/10.32347/2522-4182.11.2022.44-52>
6. Hrynyk, T. D., & Vecchio, F. J. (2014). Behavior of steel fiber-reinforced concrete slabs under impact load. *ACI Structural Journal*, 111(5), 1213-1224.
<https://doi.org/10.14359/51686923>
7. Esaker, M., Thermou, G., & Neves, L. (2023). Impact resistance of concrete and fibre-reinforced concrete: A review. *International Journal of Impact Engineering*, 180, 104722.
<https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2023.104722>
8. Mirzahosseini, H., Mirhosseini, S. M., & Zeighami, E. (2023). Robustness assessment of RC frame buildings with HPFRCC subjected to progressive collapse. *Results in Engineering*, 17, 100809.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100809>

9. Draganić, H., Jeleč, M., Gazić, G., & Lukić, S. (2025). Numerical investigations of reinforced concrete slabs subjected to contact explosions. *Buildings*, 15(7), 1063. <https://doi.org/10.3390/buildings15071063>

10. Rathnayaka, P. T. K., Son, K., Kwak, H.-G., Yoo, S.-J., & Lee, J.-Y. (2026). Experimental and numerical investigations of blast resistance of fiber-reinforced concrete slabs. *Buildings*, 16(4), 686. <https://doi.org/10.3390/buildings16040686>

11. Li, H., Wu, D., Yuan, Y., & Zuo, L. (2022). Evaluation methods of the daylight performance and potential energy saving of tubular daylight guide systems: A review. *Indoor and Built Environment*, 31(2), 299-323. <https://doi.org/10.1177/1420326X21992419>

12. Malet-Damour, B., Bigot, D., & Boyer, H. (2020). Technological review of tubular daylight guide system from 1982 to 2020. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 5(3), 375-386. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2020.5.3.1809>

13. Довженко, О. О., Юрко, І. А., & Кравченко, В. В. (2009). Застосування фібробетону в Україні. Властивості дисперсно армованих бетонів. Комунальне господарство міст, 90, 267-272. https://eprints.kname.edu.ua/16031/1/267-272_%D0%94%D0%BE%D0%B2%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE%D0%9E%D0%9E.pdf

Відомості про статтю:	Article information:
Отримано 15.05.2026	Received 15.05.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді 22.05.2026	Received in revised form 22.05.2026
Прийнято 27.05.2026	Accepted 27.05.2026
Опубліковано 29.05.2026	Published 29.05.2026

V. V. Petrov*

Postgraduate Student, ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5173-4279>

Department of Building Architecture and Design

Yuriy Kondratyuk Poltava Polytechnic National University, 24 Pershotravnevyi Avenue, Poltava, Ukraine, 36011

*corresponding author, e-mail: peeterssonn@gmail.com

Modern structural systems for general secondary education institutions with protective structures: materials and technologies

How to Cite:

Petrov, V. V. (2026). Modern structural systems for general secondary education institutions with protective structures: materials and technologies. *Modern technologies and methods of calculations in construction*, 25, 350-366. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15\(25\)-26](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2026-15(25)-26)

Abstract. The article analyzes modern structural systems, materials and technologies used in the design of general secondary education institutions with built-in or attached civil defense protective structures. The relevance of the study is determined by the need to ensure continuity of the educational process under wartime threats in Ukraine, when a school building must combine educational and protective functions. The aim of the article is to identify structural solutions capable of ensuring safety, functional suitability, durability and further use of protective spaces in peacetime. The study applies comparative analysis of regulatory requirements, generalization of scientific publications, systematization of structural solutions and architectural-planning analysis of shelters within educational facilities. The expediency of using a cast-in-place reinforced concrete frame system as a basis for integrating protective structures into school buildings is substantiated, since it provides spatial rigidity, planning flexibility and reserve redistribution of forces. Special attention is given to the use of fiber-reinforced concrete and combined reinforcement in slabs, beams and frame joints that may be subjected to dynamic, impact and blast loads. The article analyzes the localization of progressive collapse, sealing of joints and utility penetrations, ventilation, autonomous life-support systems and natural lighting through tubular daylighting systems. The engineering and technological conditions required for the suitability of such spaces for prolonged occupancy are identified. It is established that the effectiveness of a school building with a protective structure depends on the coordination of the structural scheme, engineering equipment, planning logic and operational scenarios. An integrative approach is proposed, in which the shelter is considered a permanent element of educational infrastructure suitable for safe stay, learning activities and further adaptation.

Keywords: school buildings, protective structures, cast-in-place frame system, fiber-reinforced concrete, progressive collapse.