

УДК 624.191.8:351.862

О. Л. ТЮТЬКІН^{1*}, Д. О. БАННИКОВ², І. С. ОСТАПЕНКО³, М. В. ГЕРНИЧ⁴

^{1*}Каф. «Транспортна інфраструктура», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (066) 290 45 18, ел. пошта o.l.tiutkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-4921-4758

²Каф. «Будівельне виробництво та геодезія», Український державний університет науки і технологій, ННІ ДПТ, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (063) 400 43 07, ел. пошта d.o.bannikov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9019-9679

³Каф. військової підготовки спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту, ННІ ДПТ, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 793 19 09, ел. пошта i.s.ostapenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-2232-7138

⁴Каф. військової підготовки спеціалістів Державної спеціальної служби транспорту, ННІ ДПТ, Український державний університет науки і технологій, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (096) 784 51 17, ел. пошта m.v.hernych@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5069-4798

Засади концепції зворотної конверсії для обґрунтування застосування підземних споруд метрополітену в якості укриттів

Мета. Автори ставлять за мету визначити засади концепції зворотної конверсії для обґрунтування застосування підземних споруд метрополітену в якості укриттів об'єктів критичної інфраструктури. **Методика.** У статті проаналізовано та класифіковано вже збудовані укриття, а також запропоновані на будівельному ринку України споруди подвійного призначення. Визначено особливості захисних споруд, їхні конструктивні параметри, переваги й недоліки. Відмічено, що поява нових ідей та навіть формування концепцій, що охоплюють присвячені укриттям суміжні області, пов'язується з освоєнням підземного простору великих міст, тобто з областю, що вже була розроблена раніше. Доведено, що український досвід застосування захисних споруд надає можливість створення нової концепції, в якій вже відомі конструкції підземних споруд цивільного призначення можуть успішно виконувати роль укриттів. **Результати.** Для обґрунтування застосування підземних споруд в якості укриттів для об'єктів критичної інфраструктури запроваджено нову концепцію, яка отримала назву «зворотна конверсія». Зворотна конверсія представляє собою процес переносу суто цивільних конструктивно-технологічних рішень у військову сферу, а також в область, що близька до неї, а саме область спорудження захисних споруд. Обґрунтовано, що односклепінчаста станція метрополітену мілкого закладення, споруджена із монолітного залізобетону, й колонна станція метрополітену мілкого закладення, змонтована із збірного залізобетону, мають високий потенціал в якості укриттів. Доведено, що конструктивно-технологічні рішення будівництва підземних споруд метрополітену (станції мілкого закладення) переносяться до області спорудження захисних споруд, а не використовуються в якості об'єктів подвійного призначення. **Наукова новизна.** В статті вперше наведені засади концепції зворотної конверсії, яка надає можливість розширення простору рішень створення захисних споруд. **Практична значимість** полягає в обґрунтуванні станцій метрополітену мілкого закладення в якості укриттів об'єктів критичної інфраструктури.

Ключові слова: зворотна конверсія; метрополітен; підземна споруда; захисна споруда; укриття; об'єкт подвійного призначення; критична інфраструктура

Вступ

Необхідність забезпечення безпеки цивільного населення, об'єктів критичної й транспортної інфраструктури та безперервності виробничих процесів в умовах застосування противником засобів ураження, що охоплюють всю територію України, стала потужним стимулом для активного розвитку будівельної галузі у сфері створення укриттів, в тому числі й для об'єктів критичної інфраструктури [7, 13].

На сьогодні ця проблема, вирішення якої відмічене гострою актуальністю, розглядається з декількох ракурсів, кожен з яких формує нові концепції захисту у відповідності до особливостей підходів [8, 10]. По-перше, на початку повномасштабного вторгнення, коли підземні споруди метрополітену та інші застосовувалися ситуативно, почали з'являтися методологічні кроки, що поступово окреслюють концепцію використання вказаних споруд як укриттів та об'єктів подвійного призначення [3]. По-друге,

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

почала розвиватися область саме захисних споруд, яка вже має певні напрацювання [12]. По-третє, продовжуються наукові розробки в області створення укриттів в рамках державної концепції «Країна-фортеця» [1].

Окрім цих магістральних напрямів, слід також відзначити, що потенційна поява нових ідей та навіть формування концепцій, що охоплюють присвячені укриттям суміжні області, пов'язується з областю, що вже була розроблена детально й планомірно, а саме освоєння підземного простору великих міст. Ця систематична практика, що включала в себе дослідження транспортних систем (тунелі й метрополітени), підземних споруд й об'єктів різного призначення (від магазинів до суспільно-культурних просторів) й чисто утилітарного (паркінги, склади, резервуари тощо) має низку напрацьованих й апробованих рішень, які можуть після достатнього наукового обґрунтування бути використані для створення захисних споруд [16].

Деякі рішення, що прийняті в Україні і вже поступово склали стратегію розвитку фонду захисних споруд цивільного захисту [14], дозволяють максимально широко розглянути проблему захисних споруд для цивільного населення й об'єктів критичної та транспортної інфраструктури. Певні концептуальні прийоми, які є характерними для нашої країни, можуть вважатися такими, що окреслюють український досвід як не менш творчий, ніж фінський або ізраїльський [1, 16].

Таким чином, враховуючи вже існуючі напрацювання в області захисних споруд, слід запропонувати нову концепцію, що враховує накопичений досвід освоєння підземного простору, який можна застосувати в іншій якості.

Мета

Метою наукової статті є визначення засад концепції зворотної конверсії для обґрунтування застосування підземних споруд метрополітену в якості укриттів об'єктів критичної інфраструктури.

Методика

Основні положення щодо проєктування захисних споруд цивільного захисту та споруд подвійного призначення, призначених для ук-

риття населення визначені в нормативному документі [4].

Проаналізувавши вже збудовані укриття та запропоновані на будівельному ринку споруди подвійного призначення можна їх класифікувати, розділивши на п'ять груп конструкцій:

1. Монолітні залізобетонні.
2. Збірні залізобетонні.
3. Комбіновані залізобетонні.
4. Модульні залізобетонні.
5. Металеві.

Всі вказані вище типи конструкцій розташовують на поверхні землі, повністю або частково заглиблюють у ґрунт.

Монолітні залізобетонні укриття являють собою цілісні, безшовні конструкції, виконані шляхом укладання бетонної суміші в спеціально підготовлену опалубку, армовану металевим каркасом. Ця технологія забезпечує високу міцність, жорсткість та герметичність споруди.

Будівництво монолітних залізобетонних укриттів широко застосовується для створення безпечних умов при організації навчального процесу в закладах середньої освіти. В переважній більшості протирадіаційні укриття (ПРУ), які визначені нормативними документами, отримують не просто подвійне призначення. Саме цей український досвід надає можливість розпочати створення нової концепції, засади якої буде окреслено нижче. Досвід будівництва підземних шкіл, який найплідніше проявився в м. Запоріжжі, демонструє інверсію, а саме: не ПРУ виконує роль підземної школи (подвійне призначення ПРУ), а підземна школа може слугувати й ПРУ.

Така підземна школа, що заглиблена від поверхні землі на 2...3 м, є одноповерховою, майже прямокутної форми в плані із загальними розмірами в осях 45×30 м, висотою поверху (від підлоги до стелі) 2,7 м [11]. Споруда виконується в монолітному залізобетонному каркасі, елементами жорсткості якої слугують стіни-діафрагми товщиною 300 мм та хрестоподібні колони товщиною стінок 600 мм. Внутрішні перегородки виконуються з керамічної повнотілої цегли М150 на цементно-піщаному розчині М100. Загальний вигляд ПРУ/школи із основними висотними відмітками зображено на рис. 1.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

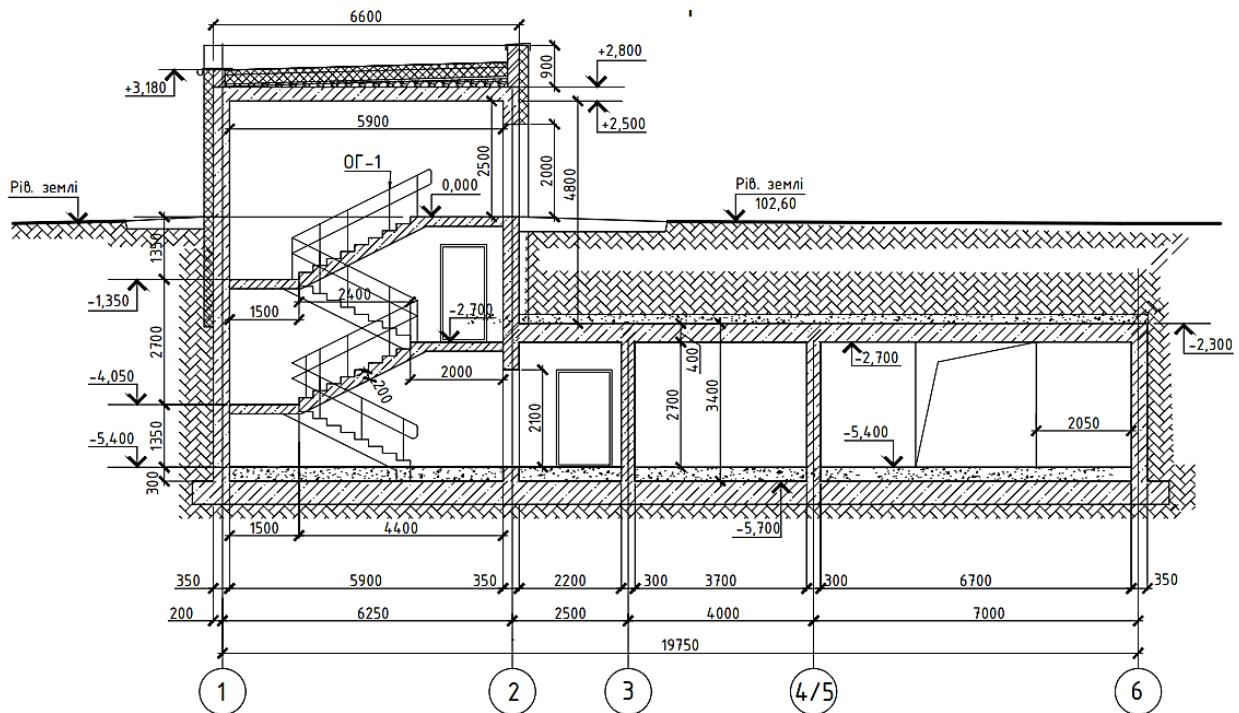


Рис. 1. Загальний вигляд монолітного залізобетонного ПРУ [11]

Fig. 1. General view of a monolithic reinforced concrete shelter [11]

Технологія спорудження монолітних залізобетонних укриттів є відомою та багаторазово відпрацьованою.

Переваги монолітних залізобетонних укриттів:

- підвищена міцність та стійкість до руйнівних факторів (ударні хвилі, вибухові навантаження, обвалення сусідніх будівель);
- високий рівень герметичності (відсутність швів мінімізує ризик проникнення води та газів, отруйних речовин, радіоактивного пилю);
- можливість створення укриттів складної конфігурації (дозволяє інтегрувати укриття з існуючими спорудами);
- довговічність та надійність (за якісного спорудження служать десятиліттями, не потребуючи значних ремонтів).

Недоліки монолітних залізобетонних укриттів:

- тривалість будівельного циклу;
- висока вартість опалубних робіт (вартість

матеріалів опалубки, встановлення та демонтаж);

- залежність від погодних умов;
- складність внесення змін після бетонування.

Збірні залізобетонні укриття представляють собою конструкції, що складаються з окремих елементів, виготовлених в заводських умовах та змонтованих на місці експлуатації [5]. За рахунок менших витрат часу на спорудження, порівняно з монолітними залізобетонними укриттями, збірні залізобетонні споруди набули широкого застосування. На ринку України запропоновані різні варіанти збірних залізобетонних укриттів для захисту від 10 людей та більше (рис. 2).

Технічні характеристики споруд, за потреби, можуть бути змінені в напрямку як підвищення так і пониження вимог за рахунок адаптації виробництва блоків під запит замовника.

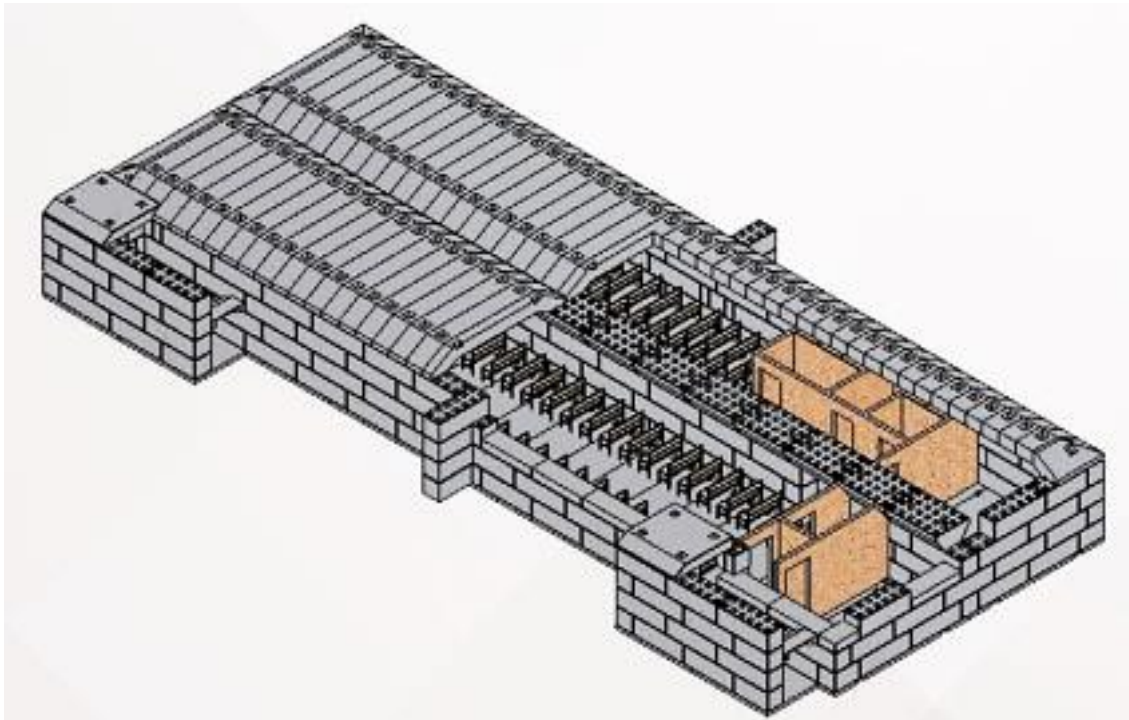


Рис. 2. Загальний вигляд ПРУ для 200 осіб
(виробництво заводу залізобетонних виробів №1, м. Кременчук)

Fig. 2. General view of a radiation shelter for 200 people
(production of reinforced concrete products plant No. 1, Kremenchuk)

Переваги збірних залізобетонних укриттів:

- міцність матеріалу блоків за рахунок заводського виготовлення;
- швидкість монтажу;
- незалежність від погодних умов;
- універсальність та адаптивність до різних проєктів;

– економічність за рахунок серійного виготовлення та зниження часу на будівельно-монтажні роботи;

– можливість заміни окремих збірних елементів у разі їх часткового пошкодження.

Недоліки збірних залізобетонних укриттів:

- обмеження геометричних форм розмірами стандартизованих блоків;
- потреба у спеціалізованій будівельній техніці та улаштуванні майданчиків для її встановлення;

– порівняно складна герметизація стиків;

– складність внесення змін до готової конструкції;

– залежність від виробника.

Комбіновані залізобетонні конструкції поєднують технології створення монолітного та

збірного залізобетону [6]. Це означає, що певні елементи конструкції, наприклад, фундаментна плита, стіни, перекриття, виконуються шляхом укладання монолітного бетону, тоді як інші елементи (окремі ділянки стін, перегородки, сходові марші) є готовими залізобетонними виробами, виготовленими на заводі і готовими для монтажу на будівельному майданчику.

Можливі комбінації збірного і монолітного залізобетону в конструкції укриття:

1. Монолітний фундамент, збірні стіни та перекриття.

2. Фундаментна плита та стіни – монолітні, перекриття – збірні.

3. Монолітний каркас (колони, балки), збірні стінові панелі та плити перекриття (рис. 3).

4. Частина стін, що контактують з ґрунтом – монолітні, внутрішні перегородки – збірні.

5. Збірні об'ємні модулі та монолітні з'єднувальні елементи.

6. Збірні стінові елементи з монолітним армуючим контуром.

7. Інші комбінації.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

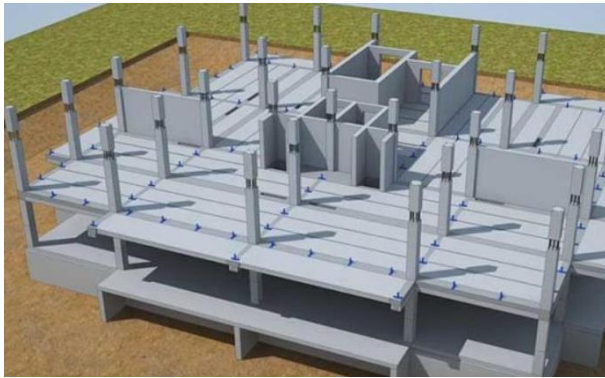


Рис. 3. Загальний вигляд комбінованого (збірно-монолітного) укриття

Fig. 3. General view of a combined (prefabricated-monolithic) shelter

У випадку коли збірні блоки є пустотілими і в подальшому передбачають заповнення бетонною сумішшю, тобто відіграють роль незмінної опалубки, тоді можливо виключити такий недолік монолітного бетонування як монтаж і демонтаж опалубки.

Переваги комбінованих залізобетонних конструкцій (крім зазначених для збірних та монолітних конструкцій):

- оптимізація міцності та герметичності;
- гнучкість проєктування та адаптація до місцевих умов;
- прискорення загальних термінів будівництва за рахунок паралельного виготовлення збірних елементів на заводі.

Недоліки комбінованих залізобетонних конструкцій:

- складність проєктування та розрахунків;
- ризики, пов'язані з забезпеченням якості з'єднань.

Модульні залізобетонні укриття складаються з окремих готових об'ємних блоків (модулів), виготовлених на заводі.

Використання окремих модулів як укриттів обмежується можливостями транспортних засобів призначених для їх перевезення, тому в переважній більшості окремі модулі призначені для невеликої кількості людей (до 10 осіб).

Окремі модулі можуть з'єднуватись між собою, утворюючи більше за обсягом та площиною укриття необхідного розміру та конфігурації в такому разі їх можна розглядати як збірні залізобетонні укриття (рис. 4).



Рис. 4. Збірне модульне укриття у стилі «будинків гобітів» [2]

Fig. 4. Prefabricated modular shelter in the style of “hobbit houses” [2]

Металеві конструкції укриттів використовуються для улаштування укриттів особистого користування для невеликої кількості людей (рис. 5).



Рис. 5. Металеве гофроване укриття [9]

Fig. 5. Metal corrugated shelter [9]

Для спорудження укриттів підвищеної місткості метал використовують в якості основних елементів конструкції, що сприймають головні зусилля, інші елементи конструкції споруджують із збірного або монолітного залізобетону.

Переваги металевих конструкцій укриттів:

- менша маса елементів, порівняно з залізобетонними;
- прості та надійні способи з'єднання окремих елементів;
- можливість перекриття великих прольотів;
- незалежність від погодних умов;
- мобільність та можливість передислокації;
- менші, за рахунок зменшення власної ваги конструкції, вимоги до фундаменту;
- висока технологічність виробництва;

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

– стійкість до сейсмічних впливів, можливість пружної роботи окремих елементів без руйнувань;

– ремонтпридатність;

– зручність кріплення навісного обладнання до металевих елементів.

Недоліки металевих конструкцій укриттів:

– корозія, потребують спеціальної обробки;

– вогнестійкість, що є нижчою, ніж у залізобетону і потребує захисного шару;

– висока теплопровідність, що тягне потребу в утепленні;

– низька звукоізоляція, що потребує захисту від шуму;

– вразливість до уламків та ударної хвилі (залежно від товщини металу);

– при зварюванні елементів виникає потреба в кваліфікованих робітниках.

Проведений аналіз існуючих на ринку України та вже збудованих захисних споруд цивільного захисту дозволяє класифікувати їх за матеріалом несучих конструкцій на п'ять основних типів (монолітні, збірні, комбіновані, модульні залізобетонні та металеві). Кожен з цих типів має свої характерні технологічні особливості спорудження, а також визначені переваги та недоліки, що суттєво впливають на їхню міцність, герметичність, швидкість зведення, вартість та інші експлуатаційні характеристики.

Результати

Проаналізовані типи укриттів із визначенням їхніх переваг та недоліків свідчать про те, що потенціал будівельних конструкцій, які виступають в захисній ролі або в якості об'єктів подвійного призначення, ще не вичерпаний. Для розвитку цього потенціалу слід виявити можливість застосування вже відомих і широко апробованих підземних споруд, які мають високу міцність, стійкість та довговічність, а також можуть бути потенційними укриттями.

Для обґрунтування застосування підземних споруд в якості укриттів для об'єктів критичної інфраструктури слід запровадити нову концепцію, яка має назву «зворотна конверсія». Відомо, що в загальному сенсі конверсія (лат. *conversio*) представляє собою процес обміну, заміни, переформатування або переходу чи переносу з однієї області в іншу; у вузькому застосуванні терміну конверсія військового виро-

бництва представляє собою процес переходу підприємств військово-промислового комплексу у сферу цивільного виробництва із відповідною заміною та переорієнтацією продукту.

Таким чином, якщо розширити первинну концепцію, зворотна конверсія представляє собою процес переносу суто цивільних конструктивно-технологічних рішень у військову сферу, а також в область, що близька до неї, а саме область спорудження захисних споруд.

Найяскравішим прикладом зворотної конверсії є застосування підземних споруд метрополітену в якості укриттів. Слід підкреслити, що конструктивно-технологічні рішення будівництва підземних споруд метрополітену саме переносяться до області спорудження захисних споруд, а не використовуються в якості об'єктів подвійного призначення.

Саме ця відмінність характеризує концепцію зворотної конверсії, в ході реалізації якої, наприклад, конструкції станцій метрополітену мілкого закладення стають конструкціями укриття об'єктів критичної інфраструктури. Хід повномасштабної війни російської федерації проти України довів достатньо високу ефективність станцій метрополітену в якості захисних споруд, але досвід використання їх в Київському, Дніпровському й Харківському метрополітенах свідчить про недостатній рівень вивільнення потенціалу укриття. Збільшити цей рівень можливо, якщо позбутися основного призначення підземної споруди метрополітену під час процесу зворотної конверсії. Такий концептуальний крок дозволяє застосовувати вище згадані станційні конструкції, які вже мають чіткі конструктивно-технологічні рішення й інформацію про міцність та стійкість до особливого впливу, як захисні споруди.

Для прикладу проаналізуємо дві найбільш розповсюджені станції метрополітену мілкого закладення, які успішно споруджувалися на метрополітенах України і мають високі показники міцності, стійкості й надійності. Колонна станція, що монтується із збірних елементів, які поєднуються за допомогою зварювання та омонічування, як конструкція, що може мати значну зворотну засипку (3...20 м від перекриття середнього залу), відповідає вимогам укриттів цивільного населення й об'єктів критичної інфраструктури (рис. 6, а).

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

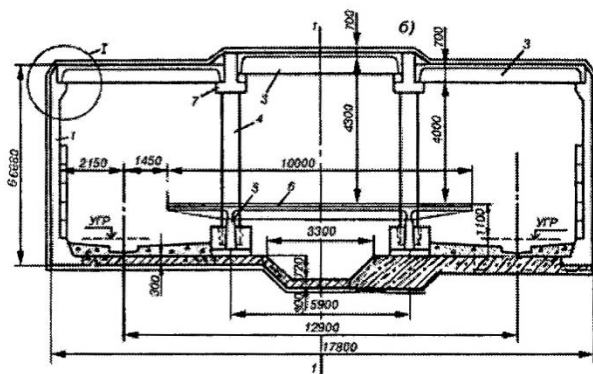
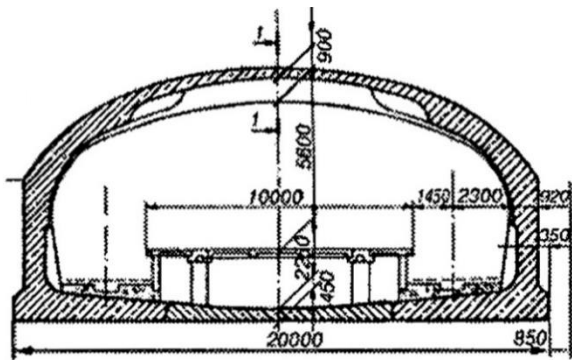
a – a*б – б*

Рис. 6. Станції метрополітену мілкого закладення:
a – колонна із збірного залізобетону;

б – односклепінчаста із монолітного залізобетону [15]

Fig. 6. Shallow subway stations:

a – column made of precast reinforced concrete;

b – single-vaulted made of monolithic reinforced concrete [15]

Ця підземна споруда раніше отримала достатнє обґрунтування для випадку зміни товщини засипки, а також була досліджена для випадків спеціального навантаження (удари під час падіння літального апарату або вибухи) [16]. Відпрацьована технологія спорудження та достатні міцність й стійкість надають можливості її прямого застосування не як укриття або об'єкта подвійного призначення, а саме захисної споруди в рамках концепції зворотної конверсії.

Односклепінчаста станція мілкого закладення (рис. 6, *a*) характеризується тим, що внутрішній простір, на відміну від колонної станції, вільний від внутрішніх несучих елементів. Станція споруджується шляхом вкладання монолітного бетону по заздалегідь встановленим в проєктне положення й поєднаним між собою

зварюванням арматурним каркасам. Після отримання бетоном проєктної міцності, односклепінчаста станція являє собою дуже жорстку й міцну монолітну конструкцію із значним прогоном, що дозволяє використовувати її як захисну споруду з великим обсягом. Така конструкція також отримала наукове обґрунтування для деяких випадків спеціального навантаження, зокрема, вибухового і може бути не просто об'єктом подвійного призначення, тобто станцією, що слугує укриттям, а окремим укриттям підвищеної міцності та стійкості [15].

Таким чином, два підземні об'єкти метрополітену під час їх розгляду в межах концепції зворотної конверсії отримують нову роль у вигляді укриттів, які з самого початку позначені значною міцністю й стійкістю, доведеною практикою будівництва та експлуатації метрополітенів України.

Наукова новизна та практична значимість

В статті вперше наведені засади концепції зворотної конверсії, яка надає можливість розширення простору рішень створення захисних споруд на основі вже відомих конструкцій метрополітену.

Практична значимість дослідження полягає в обґрунтуванні станцій метрополітену мілкого закладення в якості укриттів об'єктів критичної інфраструктури.

Висновки

В науковій статті накреслено засади нової концепції, завдяки якій можливо обґрунтовано та ефективно застосовувати конструкції цивільного призначення в якості укриттів об'єктів критичної інфраструктури (концепція зворотної конверсії).

Проведений аналіз ситуації, що склалася в області створення укриттів та об'єктів подвійного призначення, дозволяє надати обґрунтування реалізації нової концепції, що розширює можливості створення об'єктів захисту критичної інфраструктури, спираючись на вже розроблені і апробовані конструктивні рішення підземних споруд метрополітену, які довели під час експлуатації високі показники міцності, стійкості та надійності.

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

В подальшому дослідження в рамках накресленої задачі планується продовжити, виконавши наукове обґрунтування розглянутих підземних споруд, що виступають в ролі укриттів

об'єктів критичної інфраструктури, у конкретних випадках дії спеціального навантаження, що є актуальним на сьогодні, під час воєнного стану.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Білик А. С. Захист об'єктів критичної інфраструктури при підземному розташуванні згідно державної концепції «Країна-фортеця». *Тези доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем»*. Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка». 2024. Т. 2. С. 181–182.
- Виробник модульних мобільних укриттів під ключ в Україні. *Hobbit House*. URL: <https://hobbithouse.com.ua/>
- Гайко Г. І., Ган А. Л., Вапнічна В. В., Матвійчук І. О. Аналіз прогресивних конструктивних рішень підземних споруд цивільного захисту. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*. 2024. № 26. С. 31–40. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/315286>
- ДБН В.2.2-5:2023. *Захисні споруди цивільного захисту. зі Зміною № 1*. [Чинний від 2023-11-01]. Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, 2023. 124 с.
- ДСТУ 9195:2022. *Швидкоспоруджувані захисні споруди цивільного захисту модульного типу. Основні положення*. [Чинний від 2023-03-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 15 с.
- ДСТУ Б В.2.6-154:2010. *Бетонні та залізобетонні конструкції. Збірно-монолітні конструкції. Правила проектування*. [Чинний від 2011-06-01]. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 20 с.
- Коваль М. В., Коваль В. В., Білик А. С., Коцюруба В. І., Кубраков О. М. *Основи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України від засобів повітряного нападу противника* : монографія / за ред. А. С. Білика ; Генеральний штаб Збройних Сил України. Київ : Ліра-К, 2023. 185 с.
- Коваль М. В., Коваль В. В., Коцюруба В. І., Білик А. С. Організаційно-технічні засади побудови системи інженерного захисту об'єктів критичної інфраструктури енергетичної галузі України. *Наука і оборона*. 2022. № 3-4. С. 11–16. DOI: <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2022-20-3-4-11-16>
- Метінвест розробив прототип багатофункціонального мобільного укриття для захисників. *Medianportal Групи Метінвест*. URL: <https://metinvest.media/ua/page/metinvest-rozrobiv-prototip-bagatofunkcionalnogo-moblnogo-ukrittya-dlya-zahisnikv>
- Некора В., Ніжник В., Поздєєв С., Луценко Ю., Михайлов В. Особливості та перспективи ефективного функціонування захисних споруд цивільного захисту в умовах бойових дій. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2023. № 1(15). С. 149–157. DOI: [https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1\(15\).149-157](https://doi.org/10.33269/nvcz.2023.1(15).149-157)
- Нове будівництво протирадіаційного укриття на території Балабинської гімназії “Престиж” за адресою: вул. Престижна, 2-а, смт Балабине, Запорізький район, Запорізька область» (коригування) : експертиза проекту № 0113-24Е від 18.09.2024. ТОВ "ГРАДІПРОЕКТ-М". Запоріжжя : Південьекспертпроект, 2024. URL: https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3707521986193262073/optype=6
- Остапенко І. С., Банніков Д. О. Особливості визначення навантажень від дії сучасних засобів ураження. *Матеріали доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз»*. Дніпро: УДУНТ. 2025. С. 4–7. URL: <https://crust.ust.edu.ua/items/18998b23-9059-49f6-a6b0-5bc7e0dda63f>
- Про критичну інфраструктуру* : Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX : станом на 21 верес. 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text>
- Про схвалення Стратегії розвитку фонду захисних споруд цивільного захисту на період до 2034 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації* : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 04.03.2025 № 183-р : станом на 29 жовт. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/183-2025-r#Text>
- Тют'якін О. Л. *Теоретичні основи комплексного аналізу тунельних конструкцій* : монографія. Дніпро : Журфонд, 2020. 187 с.

16. Тютюкін О. Л. Трансформація цивільної стратегії освоєння підземного простору як основа створення нової концепції захисту. *Матеріали доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції «Логістика і транспортна безпека: Проблеми та перспективи розвитку в контексті аналізу сучасних викликів і загроз»*. Дніпро: УДУНТ. 2025. С. 77–80.

O. L. TIUTKIN^{1*}, D. O. BANNIKOV², I. S. OSTAPENKO³, M. V. HERNYCH⁴

^{1*}Dep. «Transport Infrastructure», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazariana St., 2, Ukraine, Dnipro, 49010, tel. +38 (066) 290 45 18, e-mail o.l.tiutkin@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-4921-475

²Dep. «Construction Production and Geodesy», Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazariana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (063) 400 43 07, e-mail d.o.bannikov@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-9019-9679

³Dep. of Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport, Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazariana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 793 19 09, e-mail i.s.ostapenko@ust.edu.ua, ORCID 0000-0003-2232-7138

⁴Dep. of Military Training of Specialists of the State Special Service of Transport, Ukrainian State University of Science and Technologies, SEI DIIT, Lazariana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (096) 784 51 17, e-mail m.v.hernych@ust.edu.ua, ORCID 0000-0002-5069-4798

Principles of the Concept of Reverse Conversion to Substantiate the Use of Underground Metro Structures as Shelters

Purpose. The authors set the goal of determining the principles of the concept of reverse conversion to substantiate the use of underground metro structures as shelters for critical infrastructure facilities. **Methodology.** The article analyzes and classifies already constructed shelters, as well as dual-purpose facilities offered on the construction market of Ukraine. The features of protective structures, their design parameters, advantages and disadvantages are determined. It is noted that the emergence of new ideas and even the formation of concepts covering adjacent areas dedicated to shelters is associated with the development of the underground space of large cities, that is, with an area that has already been developed earlier. It is proven that the Ukrainian experience in the use of protective structures provides the opportunity to create a new concept in which already known designs of underground civil structures can successfully perform the role of shelters. **Findings.** To substantiate the use of underground structures as shelters for critical infrastructure facilities, a new concept has been introduced, which has been called «reverse conversion». Reverse conversion is the process of transferring exclusively civilian design and technological solutions to the military sphere, as well as to the area close to it, namely the area of construction of protective structures. It is substantiated that a single-vaulted shallow metro station, built of monolithic reinforced concrete, and a column shallow metro station, assembled from precast reinforced concrete, have high potential as shelters. It is proven that design and technological solutions for the construction of underground metro structures (shallow stations) are transferred to the area of construction of protective structures, and are not used as dual-purpose facilities. **Originality.** The article first presents the principles of the concept of reverse conversion, which provides an opportunity to expand the space of solutions for creating protective structures. **Practical value** lies in the substantiation of shallow subway stations as shelters for critical infrastructure facilities.

Keywords: reverse conversion; metro; underground structure; protective structure; shelter; dual-purpose facility; critical infrastructure

REFERENCES

1. Bilyk, A. S. (2024). Zakhyst ob'ektiv krytychnoi infrastruktury pry pidzemnomu roztashuvanni zghidno derzhavnoi kontseptsii «Kraina-fortetsia». In *Tezy dopovidei XIV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konfe-rentsii «Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnykh protsesiv ta system»* » (Vol. 2, pp. 181-182). Chernihiv: NU «Chernihivska politekhnika». (in Ukrainian)
2. Vyrobynyk modulnykh mobilnykh ukryttiv pid kliuch v Ukraini. *Hobbit House*. Retrieved from <https://hobbithouse.com.ua/> (in Ukrainian)
3. Haiko, H. I., Han, A. L., Vapnichna, V. V., & Matviichuk, I. O. (2024). Analysis of progressive design solutions for underground civil protection structures. *Bridges and Tunnels: Theory, Research, Practice*, 26, 31-40. DOI: <https://doi.org/10.15802/bttrp2024/315286> (in Ukrainian)
4. *Zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu. zi Zminoiu № 1, 124 DBN V.2.2-5:2023*. (2023) (in Ukrainian)

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

5. *Shvydkosporudzhuvani zakhysni sporudy tsyvilnoho zakhystu modulnoho typu. Osnovni polozhennia*, 15 DSTU 9195:2022. (2023). (in Ukrainian)
6. *Betonni ta zalizobetonni konstruktsii. Zbirno-monolitni konstruktsii. Pravyla proektuvannia*, 20 DSTU B V.2.6-154:2010. (2011). (in Ukrainian)
7. Koval, M. V., Koval, V. V., Bilyk, A. S., Kotsiuruba, V. I., & Kubrakov, O. M. (2023). *Osnovy inzhenernoho zakhystu ob'ektiv krytychnoi infrastruktury enerhetychnoi haluzi Ukrainy vid zasobiv povitrianoho napadu protyvnyka: monografiya*. Kyiv: Heneralnyi shtab Zbroinykh Syl Ukrainy. (in Ukrainian)
8. Koval, M. V., Koval, V. V., Kotsiuruba, V. I., & Bilyk, A. S. (2022). Orhanizatsiino-tekhnichni zasady pobudovy systemy inzhenernoho zakhystu ob'ektiv krytychnoi infrastruktury enerhetychnoi haluzi Ukrainy. *Nauka i oborona*, 3-4, 11-16. DOI: <https://doi.org/10.33099/2618-1614-2022-20-3-4-11-16> (in Ukrainian)
9. Metinvest rozrobiv prototyp bahatofunktsionalnogo mobilnoho ukryttia dlia zakhysnykiv. *Mediaportal Hrupy Metinvest*. Retrieved from <https://metinvest.media.ua/page/metinvest-rozrobiv-prototyp-bahatofunktsionalnogo-mobilnoho-ukryttia-dlia-zahisnykiv> (in Ukrainian)
10. Nekora, V., Nizhnyk, V., Pozdieiev, S., Lutsenko, Yu., & Mykhailov, V. (2023). Peculiarities and prospects of effective functioning of protective structures of civil protection in conditions of hostilities. *Scientific Bulletin: Civil Protection and Fire Safety*, 1(15), 149-157. DOI: [https://doi.org/10.33269/nvcs.2023.1\(15\).149-157](https://doi.org/10.33269/nvcs.2023.1(15).149-157) (in Ukrainian)
11. *Nove budivnytstvo protyradiatsiinoho ukryttia na terytorii Balabynskoj himnazii «Prestyzh» za adresoiu: vul. Prestyzhna, 2-a, smt Balabyne, Zaporizkyi raion, Zaporizka oblast (koryhuvannia)*. (2024). Ekspertyza proiektu No. 0113-24E, Hradproekt-M. Zaporizhia: Pivdenekspertproekt. Retrieved from https://e-construction.gov.ua/document_detail/doc_id=3707521986193262073/optype=6 (in Ukrainian)
12. Ostapenko, I. S., & Bannikov, D. O. (2025). Osoblyvosti vyznachennia navantazhen vid dii suchasnykh zasobiv urazhennia. In *Materialy dopovidei III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Lohistyka i transportna bezpeka: Problemy ta perspektivy rozvytku v konteksti analizu suchasnykh vyklykiv i zahroz»* (pp. 4-7). Dnipro, Ukraina. Retrieved from <https://crust.ust.edu.ua/items/18998b23-9059-49f6-a6b0-5bc7e0dda63f> (in Ukrainian)
13. *Pro krytychnu infrastrukturu : Zakon Ukrainy vid 16.11.2021 № 1882-IX*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text> (in Ukrainian)
14. *Pro skhvalennia Stratehii rozvytku fondu zakhysnykh sporud tsyvilnoho zakhystu na period do 2034 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii : Rozporiadzh. Kab. Ministriv Ukrainy vid 04.03.2025 № 183-r*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/183-2025-%D1%80> (in Ukrainian)
15. Tiutkin, O. L. (2020). *Teoretychni osnovy kompleksnoho analizu tunelnykh konstruktsii*. Dnipro: Zhurfond. (in Ukrainian)
16. Tiutkin, O. L. (2025). Transformatsiia tsyvilnoi stratehii osvoienntia pidzemnoho prostoru yak osnova stvorennia novoi kontseptsii zakhystu. In *Materialy dopovidei III Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Lohistyka i transportna bezpeka: Problemy ta perspektivy rozvytku v konteksti analizu suchasnykh vyklykiv i zahroz»* (pp. 77-80). Dnipro, Ukraina. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії: 10.08.2025

Прийнята до друку: 12.12.2025