

УДК 699.8

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.183.192>

Сергій ПОЗДЄЄВ,¹ доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0002-9085-0513),
Аліна НОВГОРОДЧЕНКО,¹ доктор філософії (ORCID: 0000-0003-2347-093X),
Тарас ШНАЛЬ,² доктор технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0002-4226-9513),
Роман ЯКОВЧУК,³ доктор технічних наук, професор (ORCID: 0000-0001-5523-5569),
Назарій ТУР³ (ORCID: 0000-0002-0557-5351),

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України,

²Національний університет «Львівська політехніка»,

³Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ КОНСТРУКЦІЙ МОДУЛЬНОГО ЗАХИСНОГО УКРИТТЯ

В статті наведені результати математичного моделювання впливу вибуху та відповідного напружено-деформованого стану у залізобетонних блоках конструкцій захисних споруд. Предмет досліджень – вплив вибуху від імовірних обстрілів на залізобетонні конструкції модульних укриттів. Мета роботи полягає у встановленні безпеки розроблених наземних укриттів, в умовах вибуху під час повітряних обстрілів. Для виконання цієї мети поставлені такі завдання дослідження: проаналізувати підходи до моделювання поведінки залізобетонних конструкцій в умовах вибуху; обґрунтувати математичні моделі поведінки залізобетонних конструкцій в умовах вибуху; розробити методику та провести відповідно методички числовий експеримент щодо впливу вибуху на залізобетонні конструкції наземного укриття; встановити основні закономірності та особливості поведінки залізобетонних конструкцій наземного укриття в умовах вибуху. Були використані такі методички в дослідженні: комплексний аналіз щодо оцінювання наслідків від надлишкового тиску вибуху військових засобів ураження, методи математичного моделювання на основі явного методу інтегрування рівнянь динаміки та рівнянь напружено-деформованого стану твердого тіла при їх апроксимації за методом кінцевих елементів у нелінійній постановці. Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні критеріїв, які характеризують наслідки від вибухів зумовлених військовими засобами ураження та запропоновано методику щодо обґрунтування конструктивних параметрів залізобетонних будівельних конструкцій наземних захисних споруд розроблених укриттів блочно-го типу. Після проведення розрахунків отримано головні результати, які дозволяють дослідити механізми руйнування або втрати цілісності конструкцій укриття і встановити взаємозв'язок даних аспектів із забезпеченням виконання його захисних функцій в умовах впливу вибуху.

Ключові слова: залізобетонні конструкції, модульне захисне укриття, напружено-деформований стан, математичне моделювання.

Постановка проблеми. Важливим фактором, що визначає ефективність захисних споруд у будівельних об'єктах міської забудови, є здатність їхніх огорожувальних конструкцій зберігати свої огорожувальні функції в умовах бойових дій, блокувати вплив вражаючих факторів з причини авіаційних, ракетних та артилерійських обстрілів, а також захищати від ураження людей уламками та осколками будівельних конструкцій. Для захисту населення в умовах ведення бойових дій на території України було запропоновано використовувати модульні захисні

укриття блочної конструкції. Запропоновані укриття мають складну структуру, що складається із залізобетонних блоків, з'єднаних між собою за допомогою металічних скоб. Дані блоки встановлюються на ґрунті без фундаментних та підкріплюючих конструкцій.

Наразі необхідне вивчення поведінки огорожувальних конструкцій захисних споруд та укриттів в умовах впливів вибухів та дії проникаючого іонізуючого випромінювання та гарантування безпеки людей, що знаходяться всередині, від наслідків повітряних обстрілів. У даних умовах експериментальне дослідження безпеки захисних укриттів є ускладненим з огляду на їх високу вартість, трудомісткість та підвищену небезпеку. З іншого боку сучасні методи математичного моделювання набули такого розвитку, що дозволяє дослідити всі фізико-механічні процеси, які відбуваються у конструкціях укриттів під час вибухів.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Використані положення, припущення та критерії, за якими встановлена безпека практичного використання наземних захисних укриттів запропонованої конструкції. Також використані математичні моделі механічного впливу вибуху, поведінки матеріалів конструкцій, які відповідають вимогам ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту» та науковими та науково-практичними даними, наведеними у роботах іноземних дослідників [1-5] та вітчизняних науковців [6-8].

Для практичної реалізації обґрунтованих математичних моделей під час проведення розрахунків було використано [9].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Основною метою є визначення закономірностей поведінки залізобетонних конструкцій наземних захисних укриттів, що встановлюються безпосередньо на ґрунт, в умовах вибуху під час повітряних обстрілів при веденні бойових дій на території України. Отримані закономірності можуть слугувати науковим підґрунтям щодо методів встановлення їх відповідності до чинних норм України [10-12]. Для досягнення мети поставлені такі завдання дослідження:

- проаналізувати підходи до моделювання поведінки залізобетонних конструкцій в умовах вибуху;
- обґрунтувати математичні моделі поведінки залізобетонних конструкцій в умовах вибуху;
- розробити методику та провести відповідно методики числовий експеримент щодо впливу вибуху на залізобетонні конструкції наземного укриття;
- встановити основні закономірності та особливості поведінки залізобетонних конструкцій наземного укриття в умовах вибуху.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для моделювання напружено-деформованого стану (НДС) у бетонних зразках без армування та із армуванням сталевую просічкою, був застосований узагальнений інженерний підхід, який заснований на таких основних посиланнях.

1. Для математичного моделювання НДС деформованого твердого тіла застосовується узагальнений теоретичний підхід, який ґрунтується на ініціації переміщень точок механічної системи твердих деформованих тіл із застосуванням системи загальних рівнянь динаміки та рівнянь НДС, що викликається даними переміщеннями. Дані рівняння інтегруються за допомогою метода кінцевих елементів (МКЕ).

2. Для моделювання бетонної основи зразків застосовуються тривимірні масивні кінцеві елементи гексаедричної форми із вісьма вузлами.

3. Для моделювання сталеві арматури у вигляді просічки та арматурних стержнів використовується двовимірні оболонкові кінцеві елементи прямокутної

форми типу Беличко-Цая [1, 2] із чотирма вузлами та п'ятьма точками інтегрування за товщиною та одномірні лінійні елементи із визначеною формою перерізу.

4. Для описання нелінійної поведінки матеріалу бетону застосовується модель неперервної поверхні руйнування з обмежуючим куполом [1 – 4], яка будується на основі нелінійних діаграм деформування із спадними гілками.

5. У якості моделі матеріалу сталеві арматури використовується матеріал із можливістю пластичних деформацій, білінійні діаграми деформування типу Прандтля, форма яких включає тільки ділянку зростання та горизонтальну ділянку із граничною деформацією 15 % [1].

6. Для описання взаємодії між стискальними поверхнями пресу та торцями зразків використовується модель контактної взаємодії. Навантаження прикладається до пластин, які за прийнятими припущеннями виготовлені з абсолютно недеформівного матеріалу. Прикладання навантаження має динамічну історію та відбувається поступово протягом визначеного часу.

При вивченні процесу випробування зразка використовується комп'ютерна система LS-DYNA (Livermore Software Dynamic), розроблена фахівцями Національної Ліверморської лабораторії ім. Лоуренса, Каліфорнійського університету США (Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL). У цей момент код комп'ютерної системи LS-DYNA є частиною комплексу розрахункових інженерних систем ANSYS Workbench і також входить як блок в окрему частину цього комплексу ANSYS APDL. При цьому пре/постпроцесор даної системи надається як безкоштовний програмний додаток розробниками, а ліцензія на розрахунки створених моделей надається в програмному забезпеченні ANSYS Workbench або ANSYS APDL. Комп'ютерна система LS-DYNA призначена для моделювання імпульсних впливів на конструктивні системи й моделювання результату цих впливів з використанням рівнянь динаміки в кінцево-елементній реалізації, контролю контакту й зусиль відклику на контактну взаємодію за допомогою методу штрафних функцій, динамічного перебудування сітки кінцевих елементів при її резонінгу й поділу на окремі частини, здатні до подальшої контактної взаємодії [9].

Відповідно даних досліджень були отримані розрахункові схеми конструкцій захисного укриття. На рис. 1 наведено загальна розрахункова схема конструкцій модульного захисного укриття.

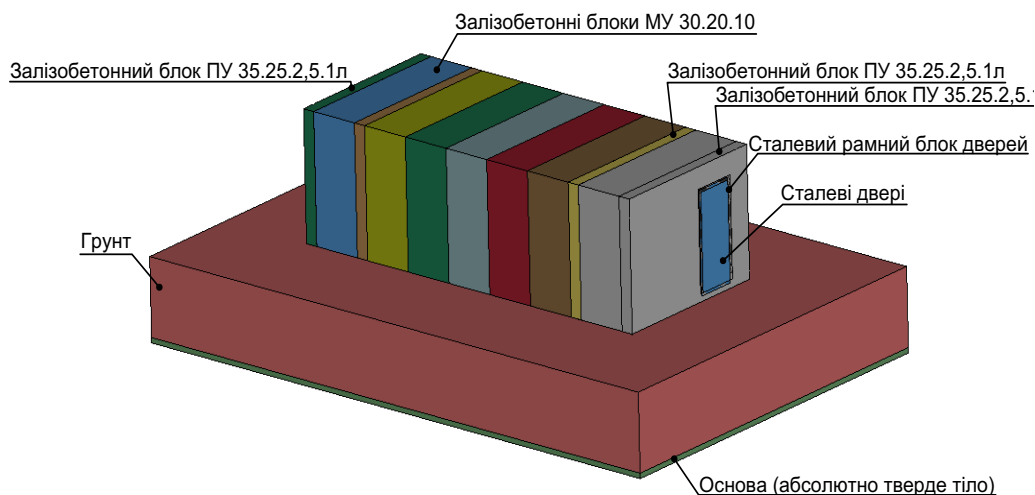


Рисунок 1. Розрахункова схема модульного захисного укриття

На розрахунковій схемі, що наведена на рис. 1, показані основні компоненти математичної моделі. І окремі компоненти-частини захисного укриття мають різний колір, щоб можна було відокремити їх одне від одного. В даній моделі кожний окремих компонент є окремою частиною, яка сприймає вплив вибуху та взаємодіє з іншими компонентами-частинами моделі [6]. Особливістю даної моделі є наявність спеціального компонента, що є основою для ґрунту, обмежуючи його глобальний рух та рух його точок. У даному випадку цей компонент моделі представляється абсолютно твердим тілом. Також як окремі компоненти моделі розглядаються система анкетування залізобетонних блоків та армування. На рис. 2 наведено розташування даних компонентів математичної моделі захисного укриття.

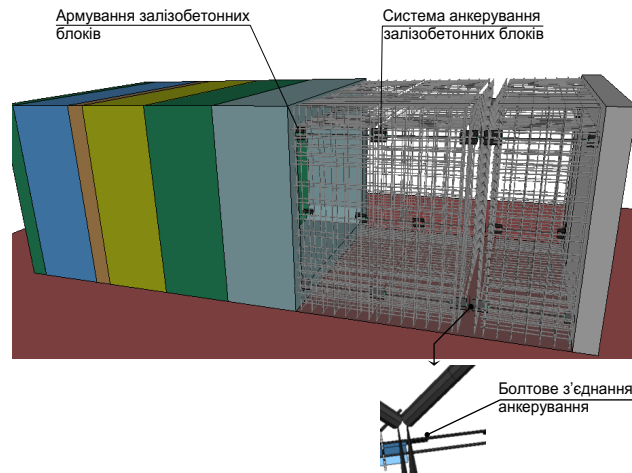


Рисунок 2. Розрахункова схема внутрішніх компонентів захисного модульного укриття

Внутрішні компоненти, що показані на схемі рис. 2, доповнюють компоненти захисного укриття наведені на рис. 1. Також на даній схемі показані болтові з'єднання, що скріплюють елементи анкетування залізобетонних блоків.

На рис. 3 зображені спряження анкетування та дверного блоку із залізобетонними компонентами захисного укриття. Кінематичні характеристики відповідних частин анкетування, блоку для дверей, а також внутрішнього армування, що мають бути з'єднані між собою.

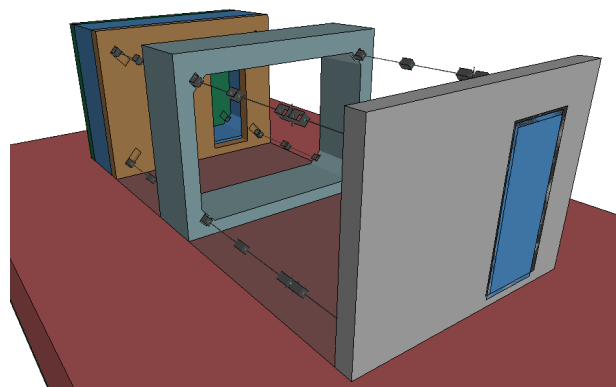


Рисунок 3. Розрахункова схема спряження анкерування та залізобетонних компонентів модульного захисного укриття

Характеристики матеріалів компонентів математичної моделі захисного укриття. Технічні дані, які необхідні для моделі матеріалу бетону наведені в табл. 1, у якій зазначені основні характеристики для моделі матеріалу бетону CSCM type No 159.

Таблиця 1. Параметри моделі бетону CSCM type No 159

Параметр	Одиниці вимірювання	Величина
Густина	кг/м ³	2500
Границя міцності	МПа	32
Врахування швидкості деформації		Враховується
Розмір крупного заповнювача	м	0.02

Технічні дані, які необхідні для моделі матеріалу арматурної сталі наведені в табл. 2, де зазначені основні характеристики для моделі матеріалу арматурної сталі та анкерування PLASTIC KINEMATIC MAT type No 003.

Таблиця 2. Параметри моделі KINEMATIC MAT type No 003

Арматурн. елемент	Коеф. Пуасона	Модуль пр., ГПа	Межа текуч., МПа	Густина, кг/м ³	Гранична деформація	Швидкість деф.
Анкерув.	0.3	210	345	7850	0.15	Враховується
Стержні			500			

Для моделювання ґрунту використовується модель Друкера-Прагера [2] MAT DRUKER PRAGER type No 193. Основні показники даної моделі наведені у табл. 3.

Таблиця 3. Параметри моделі MAT DRUKER PRAGER type No 193

Коефіцієнт Пуасона	Модуль зсуву, МПа	Когезія ґрунту, кПа	Густина, кг/м ³	Кут тертя, рад	Кут дилатації, рад
0.3	154	30	1900	0.15	0.524

Для фіксації шару ґрунту використовується додатковий нижній шар, для якого застосовується модель абсолютно твердого матеріалу (MAT RIGID type No 020). Для встановлення геометричної незмінюваності системи даний матеріал для даного шару не допускає деформування.

Згідно з термінологією, прийнятою в документації до програмного комплексу LS-DYNA, математичний опис феноменології поведінки матеріалу в умовах навантаження, що змінюється від нуля до значень, які можуть бути порівнянні із граничними, або перевищувати їх, називається математичною моделлю або просто моделлю матеріалу. Сюди входять математичні співвідношення теорій міцності й пластичності. Можливості LS-DYNA для опису властивостей залізобетону дозволяють використання як суцільного матеріалу з представленням арматурних включень як додаткова умова анізотропії й модифікованої міцності матеріалу, розподілене по всьому об'єму. Також є можливість представлення арматурних стрижнів за допомогою окремих типів елементів – балкових або об'ємних. Істотною перевагою системи LS-DYNA є те, що елементи різних типів не обов'язково повинні сполучатися у спільних вузлах, що суттєво спрощує побудову кінцево-елементних схем. Сполучення різних типів елементів можливо за допомогою теорії Лагранжа. Тому сама модель залізобетону буде багатоелементною і багатоматеріальною.

При описанні бетону використана модель неперервної поверхні руйнування з обмежувачим куполом, що має номенклатурне позначення в системі LS-DYNA як CSCM type No 159 (Continuous Surface Cap Model), яка описана на роботах Murray, Abu-Odeh і Bligh [4].

Основною особливістю даної моделі є те, що комбінації напружень, при якому матеріал здатний опиратися, обмежені особливою поверхнею, яка скомпонована з поверхні текучості й крихкого руйнування. Тобто дана поверхня охоплює всі випадки руйнування бетону комплексно й установлює тим самим умови або крихкого або в'язкого руйнування.

На рис. 4 показана схема елементів зразків й відповідних їм моделей матеріалів.

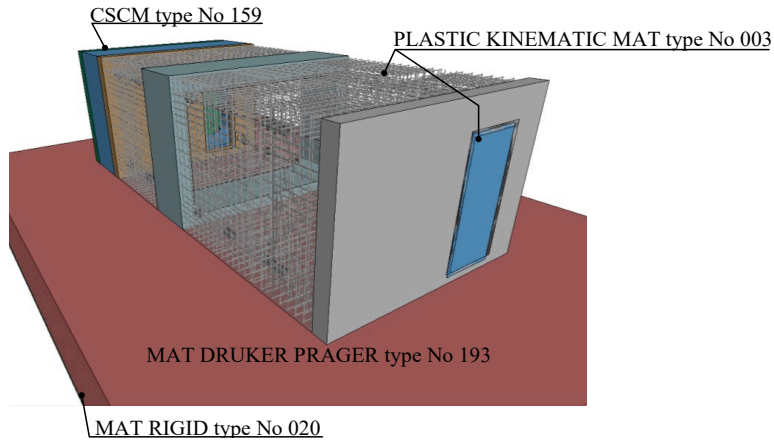


Рисунок 4. Розрахункова схема матеріалів основних компонентів захисного укриття

Механічне навантаження та граничні умови. На рис. 5 наведена схема конструкцій захисного укриття із прикладеними граничними умовами. На наведеній схемі показані частини моделі укриття, що є твердими тілами, поведінка яких має відповідати прийнятим моделям матеріалів. Спирання поверхонь частин моделі укриття на частину між собою та на частину, яка відповідає ґрунту, здійснюється шляхом моделювання контактної взаємодії між даними окремими частинами моделі, автоматично створеними в системі як частини з різного матеріалу. Контактна взаємодія встановлена автоматична типу «поверхня-поверхня» з урахуванням тертя між ними за узагальненим законом Кулона з коефіцієнтом тертя $\mu = 0.6$ (тертя між бетонними поверхнями).

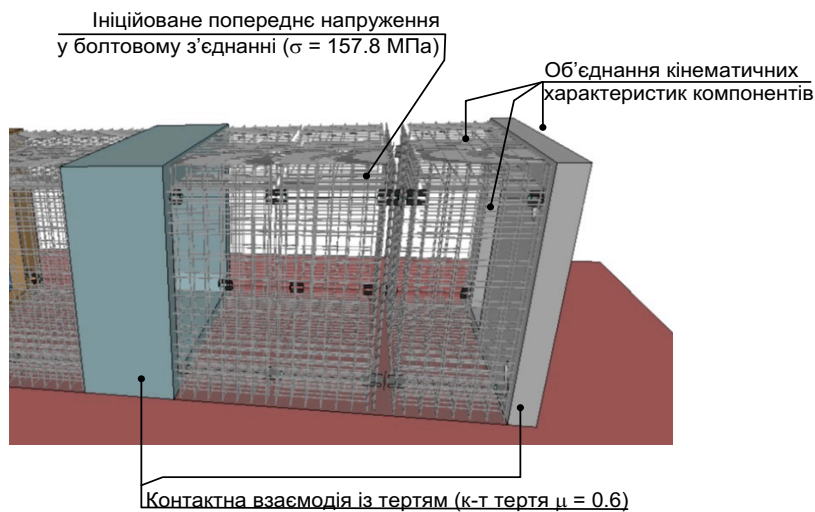


Рисунок 5. Схема прикладання граничних умов до компонентів захисного укриття

При об'єднанні переміщень частин моделі, відповідних до бетону, анкерування та арматурного каркасу використовується опція `CONSTRAINED_LAGRANGE_IN_SOLID`. Дана опція визначає, що алгоритм системи шукає перетинання лінійних або плоских КЕ з об'ємними КЕ й шляхом інтерполяції визначає спільні точки, що належать обом КЕ пари й поєднує їхні переміщення. Даний алгоритм заснований на способі множників Лагранжа.

Для вивчення впливу вибуху на конструкції укриття використовується два типи навантаження: навантаження від власної ваги конструкцій та навантаження від вибуху. Навантаження від власної ваги прикладається до всіх компонентів моделі і має постійну дію, проте в момент його прикладення при застосуванні явного метода з'являється небажана кінетична енергія, що проявляється, як правило у коливальному процесі певної тривалості його затухання. Для скорочення часу розрахунку при прикладанні гравітаційного навантаження застосовується процедура динамічної релаксації [2, 5].

При прикладанні навантаження від вибуху використовується модель Taylor [5], при цьому використовується розрахункова схема, що наведена на рис. 6. Для виявлення найбільш небезпечного положення епіцентру вибуху розглядаються різні схеми його розташування. Згідно із схемою на рис. 6 для моделювання вибуху використовується два основних параметри – мінімальна дистанція від епіцентру до поверхні укриття та еквівалентна маса тротилового заряду.

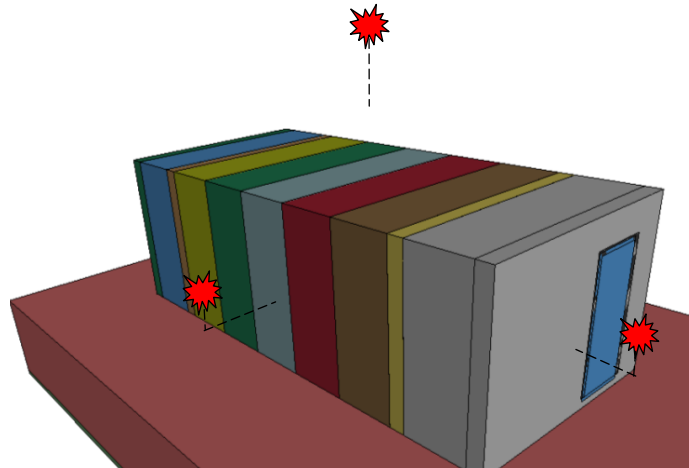


Рисунок 6. Схеми різних варіантів розташування епіцентру вибуху

Для аналізу напружено-деформованого стану було побудовано картину розподілення пластичних деформацій після прикладання тиску від вибухової хвилі до поверхні конструкції укриття для сценарію, коли епіцентр вибуху розташований над верхньою горизонтальною поверхнею укриття посередині. Побудована картина показана на рис. 7.

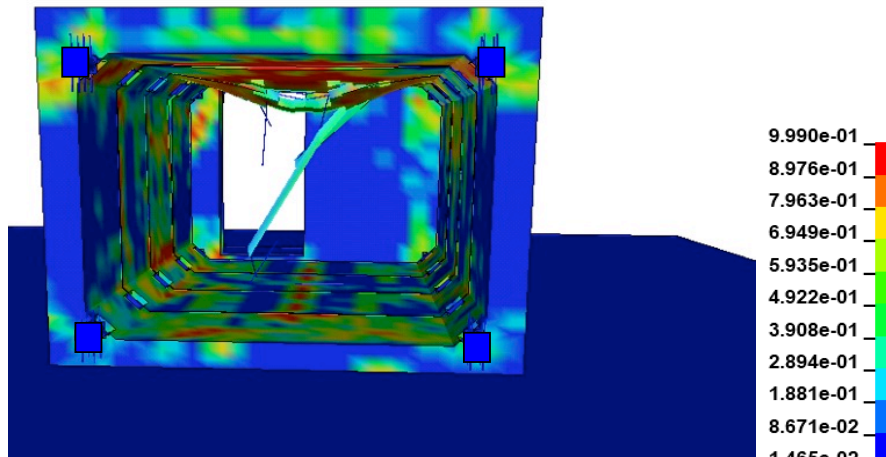


Рисунок 7. Розподілення пластичних деформацій після прикладення тиску від вибухової хвилі ($m(\text{TNT}) = 30$ кг, $L = 0.5$ м. $p_{\max} = 56.4$ МПа), коли епіцентр вибуху розташований над верхньою горизонтальною поверхнею укриття посередині

Зображення на рис. 7 показує, що під впливом вибуху ґрунт не спучився, металеві двері не деформувалися, а залізобетонні блоки не піднімалися на певну висоту над ґрунтом. Роз'єднання залізобетонних блоків не відбулося унаслідок руйнування болтових з'єднань. Варто зазначити, що вплив вибухової хвилі призводить до руйнування самих бетонних блоків. Різниця характеру руйнування укриття зумовлена тим, що укриття вільно опирається на ґрунт [7]. І кінетична енергія, надана елементам системи, витрачається не на їх деструктування, а на надання їм імпульсу, що призводить до їх руху. Таким чином, виявлено, що найбільш небезпечні сценарії це вплив вибуху на бокову та верхню горизонтальну поверхні укриття.

Висновки. На основі проведених досліджень було створене математичне моделювання поведінки захисних укриттів в умовах вибуху, що дозволяє дослідити механізми руйнування або втрати цілісності конструкцій укриття і встановити взаємозв'язок даних аспектів із забезпеченням виконання його захисних функцій в умовах впливу вибуху.

У результаті проведення розрахунків щодо математичного моделювання поведінки конструкцій наземного модульного укриття в умовах вибуху із надлишковим тиском менше або рівним 300 кПа витримують даний надлишковий тиск без руйнування або перекидання його залізобетонних блоків, а це значить, що дане укриття за своїми захисними функціями з огляду на зберігання міцності, цілісності та відсутність перекидання або інших суттєвих переміщень відповідає встановленим вимогам, що забезпечує рівень захисту як для сховищ класу А-ІІ.

Перспективи подальших досліджень. Результати роботи стануть передумовою для подальших досліджень в частині обґрунтування конструктивних параметрів наземних укриттів в умовах воєнного стану. І виявлення закономірностей залежностей ступеню та тяжкості ушкоджень огорожувальних конструкцій наземних споруд від параметрів впливів, що спричиняються дією бойових снарядів, а також розльоту уламків та осколків будівельних конструкцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Aagaard, B.T.: Finite-Element Simulations of Earthquakes. PhD-Thesis, California Institute of Technology: Pasadena, California 2000.
2. Hallquist, J.O.: LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corporation: California, USA 2005.

3. Bakeer T.: Collapse analysis of masonry structures under earthquake actions. Publication Series of the Chair of Structural Design, TU Dresden, 2009.
4. Murray, Y.D., A. Abu-Odeh, and R. Bligh, Evaluation of Concrete Material Model 159, FHWA-HRT-05-063, June 2006.
5. G.Taylor, “The Formation of a Blast Wave by a Very Intense Explosion. I. Theoretical Discussion”, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 201, No. 1065. (Mar. 22, 1950), pp. 159-174.
6. Forecasting the Behavior of Steel Beams with Corrugated Walls Under the Thermal Exposure of a Fire. Stanislav Sidnei, Taras Shnal, Petro Kholod, Serhii Pozdieiev / International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering/ EcoComfort 2022: Proceedings of EcoComfort 2022 pp 388–398.
- 7.Improvement of the assessment method for fire resistance of steel structures in the temperature regime of fire under realistic conditions Shnal T., Pozdieiev S., Nuianzin O., Sidnei S./ Materials Science Forum, 2020, 1006 MSF, p. 107–116.
- 8.Method of the calculated estimation of the possibility of progressive destruction of buildings in result of fire» S. Sidnei, S. Pozdieiev, O. Nekora, T. Kryshtal.7th International Scientific Conference//Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings”/ MATEC Web of Conferences 230, 02026 (2018).
9. ANSYS, Inc.: ANSYS Structural Analysis Guide, ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA 2004.
10. Кодекс цивільного захисту України.
11. ДБН В.2.2-5:2023 «Захисні споруди цивільного захисту».
12. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2012 Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.– К.: Укрархбудінформ, 2012. – 77 с.

REFERENCES

1. Aagaard, B.T.: Finite-Element Simulations of Earthquakes. PhD-Thesis, California Institute of Technology: Pasadena, California 2000.
2. Hallquist, J.O.: LS-DYNA Theory Manual, Livermore Software Technology Corporation: California, USA 2005.
3. Bakeer T.: Collapse analysis of masonry structures under earthquake actions. Publication Series of the Chair of Structural Design, TU Dresden, 2009.
4. Murray, Y.D., A. Abu-Odeh, and R. Bligh, Evaluation of Concrete Material Model 159, FHWA-HRT-05-063, June 2006.
5. G.Taylor, “The Formation of a Blast Wave by a Very Intense Explosion. I. Theoretical Discussion”, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol. 201, No. 1065. (Mar. 22, 1950), pp. 159-174.
6. Forecasting the Behavior of Steel Beams with Corrugated Walls Under the Thermal Exposure of a Fire. Stanislav Sidnei, Taras Shnal, Petro Kholod, Serhii Pozdieiev / International Scientific Conference EcoComfort and Current Issues of Civil Engineering/ EcoComfort 2022: Proceedings of EcoComfort 2022 pp 388–398.
- 7.Improvement of the assessment method for fire resistance of steel structures in the temperature regime of fire under realistic conditions Shnal T., Pozdieiev S., Nuianzin O., Sidnei S./ Materials Science Forum, 2020, 1006 MSF, p. 107–116.
- 8.Method of the calculated estimation of the possibility of progressive destruction of buildings in result of fire» S. Sidnei, S. Pozdieiev, O. Nekora, T. Kryshtal.7th International Scientific Conference//Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings”/ MATEC Web of Conferences 230, 02026 (2018).

9. ANSYS, Inc.: ANSYS Structural Analysis Guide, ANSYS, Inc.: Canonsburg, PA 2004.
10. Civil code of Ukraine.
11. State building regulations B.2.2-5: 2023 “Protective structures civil protection”.
12. DSTU-H B EN 1993-1-2:2012 Projection steel structures of steel structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures for fire resistance.– C.: Ukrarchbuildinform, 2012. – 77 p.

Serhiy POZDIEIEV,¹ Ph.D (ORCID: 0000-0002-9085-0513),
Alina NOVHORODCHENKO,¹ Ph.D (ORCID: 0000-0003-2347-093X),
Taras SHNAL,² Ph.D (ORCID: 0000-0002-4226-9513),
Roman YAKOVCHUK,³ Ph.D (ORCID: 0000-0001-5523-5569),
Nazarii TUR³ (ORCID: 0000-0002-0557-5351),

¹*Cherkassy Institute of Fire Safety of National University of Civil Defense of Ukraine,*

²*Lviv Polytechnic National University,*

³*Lviv State University of Life Safety*

MATHEMATICAL MODELING OF CALCULATION SCHEMES OF MODULAR PROTECTIVE SHELTER STRUCTURES

The article presents the results of mathematical modeling of the impact of the explosion and the corresponding stress-strain state in reinforced concrete blocks of protective structures. The subject of the research is the impact of the explosion from possible shelling on reinforced concrete structures of modular shelters. The purpose of the work is to establish the safety of the developed protective shelters in the conditions of an explosion during aerial attacks. To fulfill this goal, the following research tasks were set: to analyze approaches to modeling the behavior of reinforced concrete structures under explosion conditions; to substantiate mathematical models of the behavior of reinforced concrete structures under explosion conditions; to develop a methodology and, in accordance with the methodology, conduct a numerical experiment on the effect of an explosion on reinforced concrete structures of a ground shelter; to establish the main regularities and peculiarities of the behavior of reinforced concrete structures of ground shelter in the conditions of an explosion. The following methods were used in the study: a comprehensive analysis of the assessment of the consequences of an overpressure explosion of military means of destruction; methods of mathematical modeling based on the explicit method of integration of dynamics equations and equations of the stress-strain state of a solid body when they are approximated by the method of finite elements in a nonlinear formulation. After conducting the calculations, the results were obtained, which allow to investigate the mechanisms of destruction or loss of integrity of shelter structures and to establish the relationship of these aspects with ensuring the performance of its protective functions under the influence of an explosion. To study the mechanisms of destruction or loss of integrity, the impact of the explosion was investigated. The scientific novelty of the research lies in the substantiation of the criteria that characterize the consequences of explosions caused by military means of defeat and a methodology for substantiating the structural parameters of reinforced concrete building structures is proposed structures of ground protective structures developed shelters of the block type. The determined pressure according to these parameters can be used to study its effect on structures. After carrying out the calculations, the main results were obtained, which allow to investigate the mechanisms of destruction or loss of integrity of shelter structures and establish the relationship of these aspects with ensuring the performance of its protective functions under the influence of an explosion.

Keywords: Reinforced Concrete Structures, Modular Protective Shelter, Stress-Strain State, Mathematical Modeling.