

УДК 699.8; 69.059

¹ Д.О. Хохлін, ст. наук. співробітник, к.т.н. <https://orcid.org/0000-0002-0128-8515>;² М.О. Божинський, аспірант кафедри організації та управління будівництвом Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ, <https://orcid.org/0000-0002-8681-4675>.¹ ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва імені В.С. Балицького», м. Київ,² Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ,

ЗАСТОСУВАННЯ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД В УМОВАХ МОЖЛИВИХ ОБСТРІЛІВ НА ПРИКЛАДІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ВЕЛИКОПРОЛІТНОЇ ФЕРМИ

Анотація. Для розробки пропозицій щодо захисту будівель і споруд в умовах можливих обстрілів проведено узагальнення та аналіз науково-технічних робіт НДІБВ та враховано принципи та засади, наведені у діючих нормах. Представлені пропозиції можуть бути використані для розробки національних будівельних норм і стандартів щодо захисту будівельних об'єктів від можливих обстрілів. Виділено три групи об'єктів за ризиком влучань від обстрілів залежно від ступеня ризику: найбільший ризик (1-а група), підвищений (2-а група) та помірний (3-я група). Запропоновані підходи (з перевагами та недоліками) щодо захисту будівельних об'єктів від обстрілів включають: прямий розрахунок на влучання від обстрілу з врахуванням найбільш ймовірних та несприятливих варіантів; застосування прямих конструктивних вимог, що з високою ймовірністю забезпечать загальну живучість об'єкта або конструкції після влучання під час обстрілу; загальне резервування несучої здатності шляхом, як правило, збільшення коефіцієнтів надійності. Розглянуто їх застосування залежно від групи ризику та класів відповідальності будівельного об'єкта. Для 1-ї групи застосовується комплекс усіх наведених заходів; для 2-ї групи – обов'язкові мінімальні конструктивні вимоги; для 3-ї групи особливі вимоги відсутні. Для наочного прикладу розглянуто великопролітну конструкцію покриття промислової споруди з 1-ї групи, яка підлягає сценарію пошкодження від влучання засобу ураження. У процесі узагальнення результатів обстежень і досліджень, проведених НДІБВ, зібрано статистичні дані про типи великопролітних залізобетонних конструкцій покриття промислових споруд. Встановлено, що залізобетонні ферми довжиною 24 м є значно поширеними, і їх обрано для розгляду як приклад застосування запропонованих підходів до захисту. На основі узагальнення результатів обстежень визначено сценарій пошкодження ферми, який передбачає повну або часткову втрату одного з елементів (стійки або розкосу) внаслідок влучання снаряду в конструкції покриття. Наведено підходи до розробки захисту несучих конструкцій, адаптовані для розглянутої 24-метрової залізобетонної ферми, що зазнала втрати елемента після влучання.

Ключові слова: обстріл, аварія, будівельний об'єкт, будівельна конструкція, великопролітна залізобетонна ферма, захист, живучість, ліквідація наслідків.

Вступ

Особливості сучасної збройної агресії Росії проти України показують, що цілями ракетних та інших ударів можуть стати будь-які будівлі та споруди незалежно від їх призначення. Продовження війни та ризики повторних бойових дій після її завершення робить надзвичайно актуальним проектування будівель і споруд на різних етапах циклу їх існування (від нового будівництва до відновлення та реконструкції) з врахуванням потенційних влучань від різноманітних обстрілів.

Одними з найбільш постраждалих від обстрілів є промислові об'єкти, адже часто є осередками важливих виробництв, ремонтно-відновлювальних процесів, критичною інфраструктурою тощо. Для споруд таких об'єктів характерним є застосування великопролітних конструкцій (в т.ч. залізобетонних), оскільки вимагаються значні вільні простори для забезпечення ефективних технологічних процесів виробництва. Несучі конструкції великопролітних покриттів одними з перших зазнають пошкоджень від влучань при обстрілі, враховуючи їх розташування та велику площу. При цьому влучання призводять

до значних пошкоджень та втрати елементів несучих конструкцій та аварійного технічного стану, бо виникають розрахункові умови та характеристики конструкцій не передбачені проектом. Наслідком аварійного технічного стану є обов'язкове припинення експлуатації ділянки можливого руйнування до моменту відновлення конструкцій.

Дослідження ефективності заходів захисту конструкцій від обстрілів, а також ліквідації наслідків можливої аварії потребує проведення математичного моделювання та розрахунків. Ці розрахунки слід проводити на основі певного типу конструкцій з конкретними конструктивними рішеннями та виокремленими видами аварійних пошкоджень, відповідно до визначених сценаріїв їх утворення. Це є необхідним з метою уникнення розгляду занадто широкого кола конструктивних рішень досліджуваних конструкцій та їх аварійних пошкоджень.

Матеріали і методи досліджень

Нові будівельні норми з забезпечення надійності [1] приділяють суттєву увагу забезпеченню живучості будівельних об'єктів (БО), передбачаючи розра-

хункові та конструктивні принципи врахування аварійних впливів різної природи в залежності від класу відповідальності БО. Водночас ці вимоги (природно для ДБН) є достатньо загальними та потребують відповідних уточнень для певних умов, однією з яких є підвищений ризик влучань від обстрілів (РВО).

Наразі ДП «НДІБВ» набуло широкий досвід обстежень будівель і споруд, зокрема промислових, які постраждали від обстрілів та бойових дій, а також у науково-технічному супроводі захисту від обстрілів, що дозволяє виокремити певні принципи такого захисту. На жаль, конкретні детальні матеріали та звіти, як правило, не можуть бути наведені з міркувань безпеки.

Слід зазначити, що існуючі промислові споруди на території України відрізняються великим розмаїттям конструктивних рішень несучих конструкцій, що перекривають поперечні прольоти, як за довжиною, так і за конструктивними особливостями. Як правило, це залізобетонні або сталеві конструкції у вигляді балок або ферм [2,3 та ін.]. Наведена література концентрується на описі можливих архітектурно-будівельних і конструктивних рішень, але, як правило, залишається незрозумілим розповсюдження тих чи інших рішень на певних територіях. Це створює проблему обґрунтування виділення найбільш поширених типів конструкцій для більш ефективних досліджень, таких як заходи їх захисту або ліквідації аварій.

Методи досліджень полягають у використанні аналізу загальної та спеціальної будівельної літератури та нормативних документів; натурних обсте-

жень об'єктів, пошкоджених при обстрілах; методів якісної та кількісної обробки отриманих результатів дослідження.

Мета роботи

Метою даної роботи є розробка основних положень щодо організації конструктивного захисту будівельних об'єктів від можливих обстрілів, що розглянуто на прикладі великопролітної залізобетонної ферми.

Виклад основного матеріалу

Для розробки пропозицій було узагальнено та проаналізовано науково-технічні роботи, виконані НДІБВ [4,5 та ін.] (на жаль, неможливо навести широкий перелік робіт з міркувань безпеки), а також враховано принципи та засади, наведені у діючих ДБН [1]. Наведені нижче пропозиції можуть бути застосовані для розробки національних будівельних норм і стандартів щодо захисту БО від можливих обстрілів.

Насамперед доцільно виділити групи БО з РВО залежно від ступеня цього ризику. Умовно всі БО можна розділити на три групи: найбільший ризик влучань (1-а група), підвищений (2-а група) та помірний (3-я група).

До 1-ї групи пропонується віднести всі військові об'єкти, промислові об'єкти військово-оборонного комплексу, БО класів відповідальності СС-2 та СС-3 в зоні бойових дій та прифронтових ділянках (з високою ймовірністю влучання), а також БО критичної інфраструктури.

Таблиця 1

Узагальнені підходи захисту будівельних об'єктів при наявності ризику влучань від обстрілів (можуть бути застосовані як для окремих несучих конструкцій, так і конструктивної системи в цілому)

| Підхід щодо розробки захисту | Опис | Переваги | Недоліки |
|-------------------------------------|---|---|--|
| На основі прямого розрахунку | Захист розробляється на основі прямого розрахунку на влучання від обстрілу (наприклад, удару типової ракети) з врахуванням різних сценаріїв влучання. Він може бути виконаний з використанням прикладення навантаження від прямого удару засобом ураження на різних ділянках БО (враховуються найбільш ймовірні та невігідні варіанти), а також врахування вторинних впливів, що можуть діяти на різних етапах сценарію влучання. | Дозволяє найбільш обґрунтовано розробити конструктивні заходи захисту. | Висока трудомісткість і складність застосування. |
| Застосування конструктивних вимог | Захист впроваджується через застосування обов'язкових мінімальних конструктивних вимог, що з високою ймовірністю забезпечать загальну живучість БО після влучання під час обстрілу. Обов'язкові мінімальні конструктивні вимоги щодо забезпечення загальної живучості БО після влучання під час | Помірна трудомісткість та складність застосування. Конструктивні заходи можуть бути уніфіковані для різного виду конструктивних систем шляхом | Менша обґрунтованість захисту для конкретного об'єкту у випадку відсутності прямого розрахунку на влучання від обстрілу. |

| | | | |
|--|---|--|---|
| | <p>обстрілу мають на меті максимальне збереження загальної цілісності конструктивної системи та запобігання її прогресивному руйнуванню. Це дозволяє отримати час на евакуацію людей та цінного обладнання, а також залишає більше можливостей для ефективної ліквідації наслідків можливої аварії, відновлення БО та навіть обмеженої експлуатації пошкоджених ділянок. Можуть включати, наприклад, збільшення мінімально допустимих перерізів конструкцій та армування, обов'язкове застосування певних видів нерозрізних та статично невизначених конструктивних схем/систем, в яких вимикання окремих несучих елементів не призведе до загального руйнування, застосування захисних елементів, що гасять і розподіляють удари від влучань тощо.</p> | <p>виконання науково-дослідних та конструкторських робіт з розрахунковим обґрунтуванням, як це вже зроблено для будівництва і споруд в умовах, наприклад, можливих землетрусів [6] або прогресуючого руйнування [7].</p> | |
| <p>Загальне резервування несучої здатності</p> | <p>Загальне резервування несучої здатності, наприклад, шляхом збільшення коефіцієнтів надійності за відповідальністю. Більш вибіркоче резервування щодо певних конструкцій відноситься скоріше до виконання прямих конструктивних вимог.</p> | <p>Є найбільш простим та універсальним заходом.</p> | <p>Не є ефективним при застосуванні окремо від інших заходів, представлених вище, адже не враховує конкретні сценарії влучань від обстрілів, деякі конструктивні особливості змінених розрахункових схем пошкоджених конструкцій та передбачає суцільне збільшення несучої здатності конструкцій незалежно від ступеню їх участі у захисті від обстрілів.</p> |

До 2-ї групи пропонується включати всі промислові БО, які не увійшли до 1-ої групи, всі БО класу відповідальності СС-3, що не увійшли до 1-ої групи, а також об'єкти класу СС-1 в зоні бойових дій та прифронтових ділянках (з високою ймовірністю влучання).

До 3-ї групи відносяться всі інші об'єкти.

Щодо можливих підходів захисту БО та їх кон-

струкцій при наявності РВО пропонуються такі основні, представлені у табл. 1.

Розподіл застосовуваних заходів для груп БО з РВО можна запропонувати наступний.

Для 1-ї групи:

- прямий розрахунок на влучання від обстрілів (пропонується застосовувати лише для БО класу

Розповсюдження типів великопролітних залізобетонних конструкцій покриття розглянутих промислових споруд (зазначена кількість будівельних об'єктів)

| Розташування | Ферма 18 м | Ферма 24 м | Балка 12 м | Балка 18 м |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Київ та Київська область | 28 | 47 | 8 | 18 |
| Черкаси | 5 | 3 | 0 | 2 |
| Кременчук | 7 | 10 | 0 | 4 |
| Дніпро | 12 | 16 | 3 | 9 |
| Павлоград | 6 | 9 | 0 | 0 |
| Запоріжжя | 16 | 14 | 5 | 6 |
| Нікополь | 1 | 4 | 0 | 0 |
| Херсон | 3 | 7 | 2 | 3 |
| Миколаїв | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Полтава | 14 | 10 | 1 | 5 |
| Загалом | 92 | 121 | 19 | 47 |

відповідальності СС-3, оскільки це досить трудомісткий процес);

- застосування обов'язкових мінімальних конструктивних вимог залежно від класу відповідальності БО;

- застосування коефіцієнтів надійності як для класу СС-3 для БО незалежно від їх фактичного класу відповідальності (додаткове резервування несучої здатності).

Для 2-ї групи: застосування обов'язкових мінімальних конструктивних вимог залежно від класу відповідальності БО.

Для 3-ї групи особливі вимоги відсутні.

Для наочного прикладу можна розглянути певний вид великопролітної конструкції покриття промислової споруди, яка піддається певному сценарію утворення пошкоджень від влучання засобу ураження.

Серед найбільш розповсюджених великопролітних залізобетонних і сталевих конструкцій для звуження обсягів досліджень обрано залізобетонні конструкції. В процесі узагальнення результатів обстежень і досліджень, проведених НДІБВ, було зібрано статистичні дані щодо типів великопролітних залізо-

бетонних конструкцій покриття промислових споруд. Результати узагальнення отриманих даних з групуванням за регіонами наведено у табл. 2. Вони хоча й не є повністю репрезентативними для всієї території України, все ж дозволяють зробити висновок про значне розповсюдження залізобетонних ферм довжиною 24 м.

Крім того, розгляд конструкцій з найбільшими прольотами є особливо актуальним, зважаючи на те, що зона ураження від їх руйнування є суттєво більшою (мінімум на 33% для ферм довжиною 24 м у порівнянні з іншими розглянутими конструкціями). Отже, доцільно розглянути приклад застосування запропонованих підходів захисту на великопролітній залізобетонній фермі довжиною 24 м.

На основі узагальнення результатів обстежень визначено сценарій пошкодження ферми, який передбачає повну або часткову втрату одного з елементів, наприклад, стійки або розкосу, внаслідок влучання снаряду в конструкції покриття (рис. 1). Загальне руйнування такої конструкції може призвести до суттєвих наслідків, враховуючи значну довжину прольоту, та значних витрат ресурсів при ліквідації наслідків такої аварії. Значно більш ефективним є використання частини цих ресурсів на обґрунтований превентивний захист ферми до настання аварійної ситуації, що мінімізує ризик її остаточного руйнування, втрати життів, здоров'я людей та матеріальних ресурсів на ділянці потенційного обрушення.

Підходи щодо розробки захисту, наведені у табл. 1 та адаптовані для 24-метрової залізобетонної ферми, яка зазнала втрати елемента після обстрілу, представлені у табл. 3.

Висновки

1. Виділено 3 групи будівельних об'єктів за ризиком влучань від обстрілів залежно від ступеня такого ризику.

2. Сформульовано узагальнені підходи щодо захисту будівельних об'єктів у випадку наявності ризику від обстрілів і розглянуто їх особливості, переваги та недоліки.

3. Розглянуто застосування запропонованих підходів щодо захисту залежно від групи ризику влучань від обстрілів та класів відповідальності буді-



Рис. 1. Приклад пошкодження 24-метрової залізобетонної ферми, яка зазнала втрати елемента після обстрілу.

Таблиця 3

Підходи розробки захисту несучих конструкцій від обстрілів на прикладі 24-метрової залізобетонної ферми (сценарій пошкодження – втрата розкосу або стійки)

| Підхід щодо розробки захисту | Опис | Переваги | Недоліки |
|---|--|--|---|
| На основі прямого розрахунку | Прямий розрахунок ферми на всі варіанти втрати конструктивного елемента з врахування симетричності конструкції. Розрахунки мають бути проведені у нелінійній постановці з можливістю кількох ітерацій для підбору найбільш ефективного за витратами варіанту захисту. | Дозволяє найбільш обґрунтовано розробити конструктивні заходи захисту. | Висока трудомісткість і складність нелінійних ітераційних розрахунків |
| Застосування конструктивних вимог | Застосування мінімальних конструктивних вимог до залізобетонних елементів ферми (класу бетону, діаметрів і кроків арматури, її анкерування, геометричних перерізів елементів тощо), підсилення у порівнянні з наведеними у нормах, стандартах та ін. документації. Ступінь такого підсилення має бути визначений на основі досвіду проектування та експлуатації подібних ферм та (або) цілеспрямованих досліджень. | Відносно простий та пристосований для масового використання | Менша обґрунтованість захисту несучої конструкції для конкретного об'єкту у випадку відсутності прямого розрахунку на влучання від обстрілу |
| Загальне резервування несучої здатності | Застосування максимальних значень коефіцієнтів надійності може бути доцільним для ферм споруд класів відповідальності СС-2 (навіть чи споруда з великопролітними фермами буде мати клас відповідальності СС-1). У такому випадку елементи досліджуваної залізобетонної ферми будуть розраховані з використанням коефіцієнта надійності за відповідальністю $\gamma_n = 1,25$ замість 1,10. | Найбільш простий варіант | Основною небезпекою ізольованого використання такого підходу є неврахування при конструюванні елементів залізобетонної ферми змінених розрахункових схем у випадках втрати окремих стійок або розкосів, зокрема з точки зору анкерування армування. Цей підхід є дієвим лише у поєднанні з іншими наведеними підходами. |

вельного об'єкта.

4. Зібрано статистичні дані щодо типів великопролітних залізобетонних конструкцій покриття промислових споруд. Виявлено значне розповсюдження залізобетонних ферм довжиною 24 м, які й обрано для розгляду як приклад застосування запропонованих підходів захисту.

5. На основі узагальнення результатів обсте-

жень визначено сценарій пошкодження ферми, який передбачає повну або часткову втрату одного з елементів, наприклад, стійки або розкосу, внаслідок влучання снаряду в конструкції покриття.

6. Представлено приклад адаптації сформульованих підходів до розробки захисту від обстрілу для розглянутої 24-метрової залізобетонної ферми, за сценарієм втрати елемента після влучання.

Література

1. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2-14:2018. – [На заміну ДБН В.1.2-14:2009; Чинні від 2019-01-01]. – К.: Укрархбудінформ, 2018. – 30 с.
2. Roof Construction Manual. Pitched roofs. Eberhard Schunck, Hans Jochen Oster, Rainer Barthel, Kurt KieЯl. – Walter de Gruyter, 2013. ISBN 3034615639, 9783034615631. – 449 p.
3. Phillips, A. (1992). *The Best in Industrial Architecture*. Японія: Rotovision.
4. Звіт про науково-технічну роботу «Обстеження житлового будинку за адресою: м. Ірпін, вул. Северинівська, 136» (Попередній) / В.С. Романов, В.О. Басанський, М.О. Божинський та ін. – К.: НДІБВ. – 2022. – 30 с.
5. Звіт про науково-технічну роботу «Обстеження житлового будинку за адресою: м. Ірпін, вул. Соборна 1-А, літ. 3» (Попередній) / В.С. Романов, В.О. Басанський, М.О. Божинський та ін. – К.: НДІБВ. – 2022. – 47 с.
6. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2014. – Офіц. вид. – [На заміну ДБН В.1.1-12:2006; Чинні від 2014-10-01]. – К.: Укрархбудінформ: Мінрегіон України, 2014. – 110 с.
7. Висотні будівлі. Основні положення: ДБН В.2.2-41:2019. – Офіц. вид. – [На заміну ДБН В.2.2-24:2009; Чинні від 2020-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2019. – 53 с.

References

1. *General Principles of Reliability and Structural Safety of Buildings and Structures: DBN V.1.2-14:2018*. – [Replaces DBN V.1.2-14:2009; from 1st January 2019]. – Kyiv: Ukrarchbudinform, 2018. – 30 p. [in Ukrainian].
2. Schunck, E., Oster, H. J., Barthel, R., & KieЯl, K. (2013). *Roof Construction Manual. Pitched roofs*. – Berlin: Walter de Gruyter. ISBN 3034615639, 9783034615631. – 449 p.
3. Phillips, A. (1992). *The Best in Industrial Architecture*. – Japan: Rotovision.
4. Report on Scientific and Technical Work "Examination of a Residential Building at the Address: Irpin, Severynivska Street, 136" (Preliminary) / Romanov V.S., Basanskyi V.O., Bozhynskyi M.O., et al. – Kyiv: NDIBV, 2022. – 30 p.
5. Report on Scientific and Technical Work "Examination of a Residential Building at the Address: Irpin, Soborna Street 1-A, Building Z" (Preliminary) / Romanov V.S., Basanskyi V.O., Bozhynskyi M.O., et al. – Kyiv: NDIBV, 2022. – 47 p.
6. *Construction in Seismic Areas of Ukraine: DBN V.1.1-12:2014*. – [Replaces DBN V.1.1-12:2006; from 1st October 2014]. – Kyiv: Ukrarchbudinform: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014. – 110 p. [in Ukrainian].
7. *High-Rise Buildings. Basic Provisions: DBN V.2.2-41:2019*. – Official edition. – [Replaces DBN V.2.2-24:2009; from 1st January 2020]. – Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2019. – 53 p. [in Ukrainian].

¹ D.O. Khokhlin Ph.D., Senior Scientific Researcher of the , <https://orcid.org/0000-0002-0128-8515> ;

² M.O.Bozhynskyy , Graduate student of the Department of Organization and Construction Management of the Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, <https://orcid.org/0000-0002-8681-4675>,

¹ State Enterprise "Scientific Research Institute of Building Production named after V.S. Balytskyi", Kyiv

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv,

**APPLICATION OF BASIC PRINCIPLES OF BUILDINGS AND STRUCTURES PROTECTION
IN THE CONDITIONS OF POSSIBLE SHELLINGS BY THE EXAMPLE
OF REINFORCED CONCRETE LONG-SPAN TRUSS**

Abstract. For developing recommendations for the protection of buildings and structures under the threat of potential shelling, a summary and analysis of the scientific and technical work conducted by the SRIBP has been carried out, taking into account the principles and guidelines outlined in current regulations. The proposed recommendations can be used to develop national building codes and standards for the protection of building objects from potential shelling.

Three groups of objects have been identified based on the risk of shelling, depending on the level of risk: highest risk (Group 1), increased risk (Group 2), and moderate risk (Group 3). The proposed approaches (with their advantages and disadvantages) for protecting construction objects from shelling include: direct calculation for shelling impacts, considering the most likely and unfavorable scenarios; application of direct structural requirements that will most likely ensure the overall survivability of the object or structure after being hit during shelling; general reserve of load-bearing capacity, usually by increasing reliability coefficients. Their application has been considered depending on the risk group and the responsibility classes of the construction object. For Group 1, a comprehensive set of all the mentioned measures is applied; for Group 2, mandatory minimum structural requirements; for Group 3, there are no specific requirements.

As an example, a large-span roof structure of an industrial building from Group 1, which is subject to a damage scenario from a projectile impact, has been considered. During the summary of inspection and research results conducted by SRIBP, statistical data on types of large-span reinforced concrete roof structures of industrial buildings have been collected. It has been established that 24-meter-long reinforced concrete trusses are significantly widespread, and they have been selected for consideration as an example of applying the proposed protection approaches. Based on the summary of inspection results, a damage scenario for the truss has been defined, which involves the complete or partial loss of one of the elements (diagonal and vertical web members) due to a projectile impact on the roof structure. Approaches to developing protection for load-bearing structures, adapted for the 24-meter reinforced concrete truss in question, which has sustained element loss after impact, are presented.

Key words: shelling, accident, building facility, building structure, reinforced concrete long-span truss, protection, survivability, consequences liquidation.