УДК 624.014:621.311

В. Ю. Гриненчук
В.В. Швець

МОДУЛЬНЕ МЕТАЛЕВЕ ОГОРОДЖЕННЯ ДЛЯ ДОДАТКОВОГО ЗАХИСТУ ПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД ОСКОЛКОВОГО УРАЖЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано конструктивну схему модульного металевого огородження для локального додаткового захисту промислового та енергетичного обладнання від осколкового ураження. Розглянуто застосування сталевих кутиків, несучих профільних труб, верхнього захисного перекриття та окремих залізобетонних фундаментів. Для умовної трансформаторної установки потужністю 6300 кВА, класу напруги 35/10 кВ визначено основні геометричні параметри огородження. Наведено результати попередньої оцінки навантажень, матеріаломісткості, кінетичної енергії та імпульсу умовних уламків. Визначено переваги, обмеження та напрями подальшого дослідження запропонованого рішення.

Ключові слова: модульне огородження, металеві конструкції, протиосколковий захист, сталеві кутики, промислове обладнання, трансформатор.

Abstract

A modular metal enclosure is proposed for additional local protection of industrial and power equipment against fragment impact. The design combines steel angles, load-bearing hollow sections, an upper protective screen and separate reinforced-concrete foundations. The main geometric parameters are defined for a conditional 6300 kVA, 35/10 kV transformer installation. Preliminary estimates of structural loads, material consumption, kinetic energy and momentum of hypothetical fragments are presented. The advantages, limitations and further research needs of the proposed solution are identified.

Keywords: modular enclosure, steel structures, fragment protection, steel angles, industrial equipment, transformer.

Вступ

Пошкодження промислового та енергетичного обладнання внаслідок вибухів і руйнування конструкцій може відбуватися не лише через прямий вплив, а й через уламки, що рухаються з високою швидкістю. Для трансформаторних установок такі пошкодження становлять особливу небезпеку, оскільки можуть спричинити порушення роботи обладнання, витік масла та виникнення пожежонебезпечної ситуації. Тому актуальним є пошук конструктивних рішень локального додаткового захисту критично важливих елементів інфраструктури.

Традиційні залізобетонні бар’єри та габіонні огородження можуть забезпечувати значну масу й механічний опір, однак потребують вільної площі, підготовленої основи та ускладнюють подальший демонтаж. На діючих промислових майданчиках це не завжди можливо через наявність кабельних трас, трубопроводів, технологічних проходів і вимог до вентиляції обладнання.

Мета роботи - розробити та попередньо обґрунтувати конструктивну схему модульного металевого огородження для зменшення ризику осколкового ураження промислового обладнання в умовах обмеженого простору.

Основна частина

Запропоноване рішення належить до локальних захисних конструкцій і не призначене для протидії прямому влучанню ракети, безпілотного літального апарата або іншого боєприпасу. Його функція полягає у створенні додаткової механічної перешкоди для уламків за визначених умов застосування. Під час розроблення враховано необхідність поєднання захисної функції з можливістю монтажу поблизу обладнання, доступом для обслуговування та потенційним повторним використанням металевих елементів.

Конструктивна схема огородження. Як розрахунковий приклад прийнято умовну силову трансформаторну установку потужністю 6300 кВА, класу напруги 35/10 кВ, з габаритами основного корпусу 4300×2500×3400 мм. Огородження має внутрішній контур 7400×5000 мм і загальну висоту 4000 мм. У плані передбачено 11 бічних секцій, 13 основних та вхідних стійок і чотири внутрішні стійки для підтримування верхнього перекриття; загальна кількість стійок становить 17 шт.

Несучі елементи прийнято з квадратних профільних труб 200×200×10 мм зі сталі С345. Захисна поверхня утворюється горизонтальними рядами рівнополичних кутиків 140×140×14 мм. Відстань між вершинами сусідніх кутиків становить 65 мм. Таке компонування формує лускоподібну поверхню, що допускає можливість послідовної взаємодії уламка з кількома похилими полицями. У верхній частині передбачено замкнений пояс і систему балок, на які спираються кутики верхнього захисного екрана.

Для проходу персоналу передбачено вхід завширшки 1000 мм із додатковою захисною секцією, яка формує непрямий прохід. Кріплення стійок до фундаментів передбачено через опорні пластини та анкерні болти, а кутики до стійок приєднуються зварюванням. Конструкцію запропоновано встановлювати на окремих монолітних залізобетонних фундаментах із підколонниками 400×400 мм та розширеними підошвами 1600×1600×600 мм. Ці параметри мають попередній характер і потребують уточнення після отримання інженерно-геологічних даних та остаточних реакцій опор [4].

Таблиця 1 - Основні параметри запропонованого огородження

Показник	Прийняте значення
Внутрішні габарити огородження	7400×5000 мм
Загальна висота	4000 мм
Несучі стійки та балки	Профільна труба 200×200×10 мм, сталь С345
Захисні елементи	Кутик 140×140×14 мм, сталь С345
Крок вершин сусідніх кутиків	65 мм
Кількість стійок	17 шт.
Ширина технологічного входу	1000 мм

Попередня оцінка маси основних металевих елементів повного огородження становить близько 64,31 т. Значна матеріаломісткість є одним із головних обмежень запропонованого рішення та має враховуватися під час організації транспортування, монтажу й проєктування фундаментів.

Попереднє розрахункове обґрунтування. Для зовнішньої стійки заввишки 4,0 м прийнято умовну вантажну ширину 2,4 м. За двох розрахункових сценаріїв ефективного горизонтального тиску 0,5 та 1,0 кПа отримано горизонтальні сили 4,8 і 9,6 кН та згинальні моменти біля основи 9,6 і 19,2 кН·м. Відповідні напруження від згину становлять приблизно 20,9 і 41,9 МПа, а горизонтальні переміщення верхньої частини стійки - близько 4 і 8 мм. Зазначені значення є результатами спрощеної консольної моделі та не замінюють визначення нормативних навантажень для конкретного майданчика й повної перевірки просторової системи [1-3].

Оцінювання механічних параметрів уламків. Для попереднього аналізу розглянуто три умовні маси фрагментів - 1, 10 і 100 г за однакової швидкості 1800 м/с. Кінетичну енергію визначали за залежністю $\mathbf{E_k = mv^2/2}$, а імпульс - за формулою $\mathbf{p = mv}$. Отримані значення наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 - Механічні параметри умовних уламків за швидкості 1800 м/с

Показник	1 г	10 г	100 г
Маса, кг	0,001	0,010	0,100
Швидкість, м/с	1800	1800	1800
Кінетична енергія, Дж	1 620	16 200	162 000
Імпульс, кг·м/с	1,8	18	180

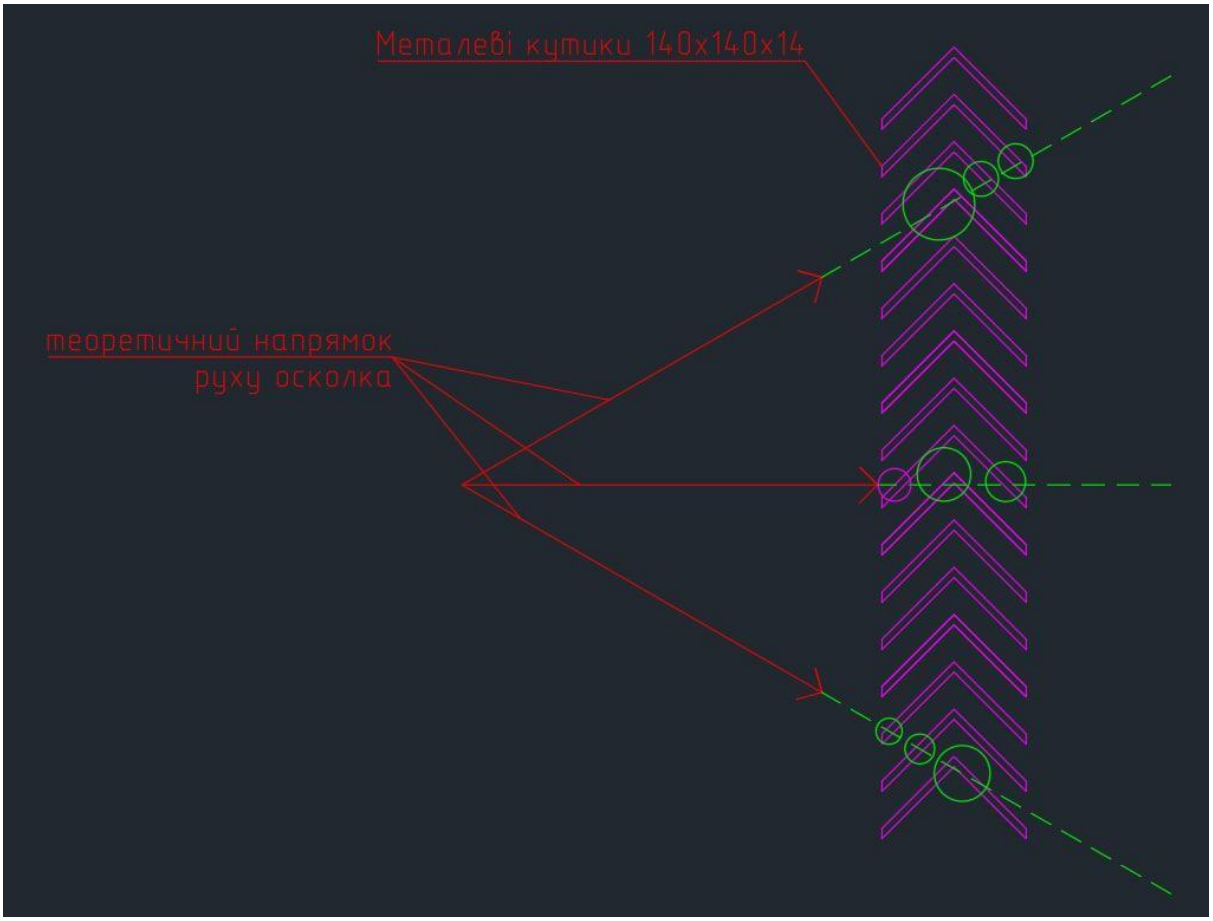


Рисунок 1 - Схема двох можливих контактів уламка з похилими полицями захисного кутика

На схемі показано геометричну можливість двох послідовних контактів уламка з похилими полицями. Така траєкторія можлива лише для окремих напрямків руху й не означає гарантованого затримання фрагмента. Під час взаємодії можливі відскок, ковзання, зміна напрямку, локальне руйнування кутика або самого уламка. Отже, енергетичні показники характеризують задані сценарії уламкового впливу, але не визначають частку енергії, яку реально поглинає конструкція.

Для оцінювання середньої сили використано співвідношення $F_{сер} = |\Delta p|/\Delta t$. За припущення повного гальмування за 20 мкс середня сила становила б 90, 900 і 9000 кН відповідно, а за 50 мкс - 36, 360 і 3600 кН. Така різниця свідчить про високу чутливість результату до тривалості контакту. Оскільки фактичний час взаємодії, деформації та швидкість уламка після першого контакту не визначені, ці величини слід трактувати лише як демонстрацію методики, а не як розрахункові зусилля для остаточного підбору перерізів і зварних швів.

Висновки

Запропоновано конструктивну схему модульного металевого огородження для додаткового локального захисту промислового обладнання від осколкового ураження. Для умовної трансформаторної установки розроблено просторову систему з бічними екранами та верхнім захисним перекриттям, основою якої є стійки з профільних труб 200×200×10 мм і сталеві кутики 140×140×14 мм із кроком вершин 65 мм.

Попередні розрахунки дали змогу оцінити власну масу основних елементів, навантаження на зовнішні стійки та механічні параметри уламків із масою 1, 10 і 100 г за прийнятої швидкості 1800 м/с. Основними потенційними перевагами рішення є можливість компонування під конкретний об’єкт, наявність відкритих проміжків для повітрообміну, локальна заміна елементів і можливість демонтажу з подальшим повторним використанням придатних деталей.

Водночас значна матеріаломісткість, великий обсяг зварювальних робіт і необхідність перевірки вентиляції, електричних відстаней, фундаментів та опорних вузлів обмежують готовність рішення до практичного впровадження. Виконані розрахунки не підтверджують стійкість огородження до високошвидкісних уламків. Подальші дослідження мають включати

динамічне чисельне моделювання або експериментальні випробування, уточнення геометрії захисної поверхні й перевірку температурного режиму трансформатора.

Список використаних джерел

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Зі змінами № 1 та № 2. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3875993677809583397?doc_type=2
2. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/2845802812636398798?doc_type=2
3. ДБН В.1.2-6:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Механічний опір та стійкість. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3881796666063324916
4. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. URL: https://e-construction.gov.ua/laws_detail/3873881846584444859

Гриненчук Володимир - магістрант факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця. e-mail: grinencukv516@gmail.com

Науковий керівник: Швець Віталій Вікторович - к.т.н., доцент, завідувач кафедри БМГА, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua

Hrynenchuk Volodymyr - Master's student, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia. e-mail: grinencukv516@gmail.com

Scientific supervisor: Shvets Vitaliy - Ph.D., head of the department of construction, urban economy and architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: v.shvets@vntu.edu.ua