



Державна служба України з
надзвичайних ситуацій
**Інститут державного
управління та наукових досліджень
з цивільного захисту**



**СТВОРЕННЯ НАУКОВО-
ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ
З ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ**



**РОБОТА НА ЗДОБУТТЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ ПРЕМІЇ УКРАЇНИ
ІМЕНІ БОРИСА ПАТОНА**

2024

АВТОРСЬКИЙ КОЛЕКТИВ РОБОТИ

БАЛЛО Ярослав В'ячеславович – кандидат технічних наук, старший дослідник, заступник начальника відділу нормативно-технічного забезпечення науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

ЄРЕМЕНКО Сергій Анатолійович – доктор технічних наук, професор, заступник начальника з навчальної роботи Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

КОВАЛЕНКО Віталій Володимирович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник заступник начальника Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту з наукової роботи.

КОРОБКО Богдан Олегович – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

НІЖНИК Вадим Васильович – доктор технічних наук, професор, начальник науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

ПРУСЬКИЙ Андрій Віталійович – доктор технічних наук, професор, начальник кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

СИДОРЕНКО Володимир Леонідович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

СІЗКОВ Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру протипожежного захисту Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Воєнні дії внаслідок агресивних дій росії в південно-східному регіоні України з 2014 року, що переросли в широкомасштабну війну на початку 2022 року проти України, виявили низку проблемних і досить актуальних питань, у тому числі в сфері цивільного захисту. Це пов'язане, у першу чергу, з бойовими діями, унаслідок яких із-за вибухів мін, снарядів, ракет та інших засобів вогневого ураження, що застосовувалися (застосовуються) з боку російських військ і незаконних збройних формувань на стороні росії, на неокупованій території нашої країни від вибухів і пожеж (як наслідок вибухів) ушкоджувалися (ушкоджуються) об'єкти будівництва різного функціонального призначення, у складі яких є й захисні споруди (житлові будівлі, бомбосховища наземного типу, громадські будівлі тощо), у тому числі об'єкти критичної інфраструктури.

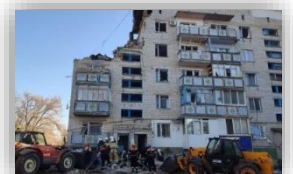
Постало **проблемне питання** щодо можливості подальшої експлуатації таких об'єктів, вирішення якого не можливо, як показали дослідження, без **комплексного оцінювання ефективності захисних споруд** у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру в результаті одночасності комбінованих впливів.



ПІДХОДИ ДО КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ

Існуючі підходи до оцінювання параметрів безпеки будівель, а також укриттів та споруд цивільного захисту подвійного призначення базувалися на принципі вибору окремого найбільш небезпечного чинника впливу та типу надзвичайної ситуації, на основі чого здійснювався загальний висновок про ефективність укриттів і споруд цивільного захисту або будівель цивільного призначення. Їхнє використання **не дозволяє проводити комплексне оцінювання** ефективності захисних споруд, що обумовлюється комбінованими негативними впливами.

Одночасність комбінованого впливу



Обґрунтовані необхідність і напрямки удосконалення існуючих підходів щодо комплексного оцінювання комбінованих негативних наслідків від аварій, катастроф, пожеж, що виникають, у тому числі, у результаті бойових дій: «**зовнішній вибух – пожежа**» або «**пожежа –**

внутрішній вибух», а також визначення можливості поновлення чи продовження експлуатації будівель різного функціонального призначення в результаті їхнього комплексного пошкодження внаслідок вибухів і пожеж.

Об'єкт дослідження – процес оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру.

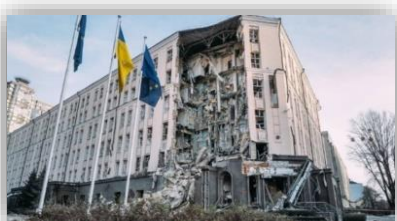


Предмет дослідження – методичний апарат оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру.



Мета роботи

Забезпечення комплексного оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру.



Науково-прикладна проблема роботи – проблема

комплексного оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, із прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру. Для розв'язання зазначеної науково-прикладної проблеми визначено основні показники будівель і споруд, пов'язані з їх суттєвими характеристиками, а саме:



Збереження несучої здатності конструкцій



Обмеження поширення пожежі



Забезпечення стійкості до зовнішнього вогневого впливу



Прогнозування сили вибуху



Забезпечення безпечної та безперешкодної евакуації людей



Наукова новизна отриманих результатів. Авторським колективом роботи одержано нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності забезпечують розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми щодо комплексного оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру, а саме:

вперше:

- розроблено метод математичного моделювання процесів надлишкового тиску вибуху та теплового опромінення для обґрунтування показників безпеки будівель і споруд, пов'язаних із їх суттєвими експлуатаційними характеристиками, які базуються на принципах «збереження несучої здатності конструкцій», «обмеження поширення пожежі», «прогнозування сили вибуху», «стійкості до зовнішнього вогневого впливу», «безпечної та безперешкодної евакуації людей», що створює наукове підґрунтя для комплексного оцінювання ефективності захисних споруд;
- розроблено математичну модель, що формалізує зв'язок між здатністю конструкцій захисних споруд зберігати свої захисні функції та параметрами імпульсних впливів від бойових снарядів, ракет і уламків, а також утвореного в об'ємі вибухопожежонебезпечного приміщення будинку надлишкового тиску вибуху в результаті можливого витoku небезпечних горючих газів;
- виявлено та формалізовано у вигляді регресійної поліноміальної залежності третього порядку закономірності зміни температури на суміжному об'єкті в залежності від відстані між цим об'єктом і полум'ям пожежі;
- розроблено метод оцінювання обмеження поширення пожежі по зовнішнім огорожувальними конструкціями будівель, який засновано на прямій індикації можливості утворення пожежі на суміжному будівельному об'єкті за величиною температури

нагріву матеріалів даного будівельного об'єкту, якщо величина цієї температури перевищує 80% від значення температури їх займання.

- розроблено комплекс програмно-алгоритмічного забезпечення для вирішення завдань комплексного оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового та техногенного характеру.

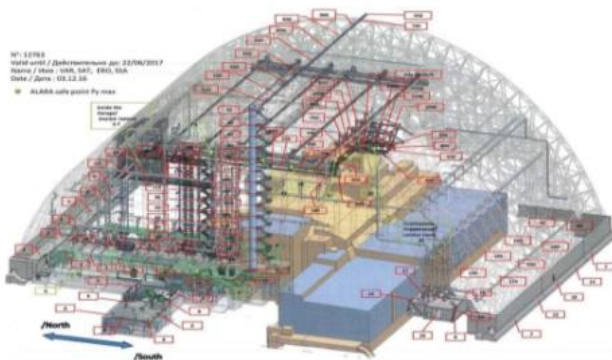
удосконалено:

- ✓ класифікацію небезпечних впливів на конструкції захисних споруд, відмінною рисою якої є врахування характеру виникнення та подальшого розвитку небезпечних впливів на конструкції захисних споруд від уражень військового та техногенного характеру;
- ✓ математичні моделі механічної взаємодії між елементами захисних укриттів, матеріалів конструкцій та основи, на яких вони встановлюються, а також моделі механічного впливу зовнішнього та внутрішнього вибуху, у тому числі військового характеру, на конструктивні елементи захисного укриття;
- ✓ науково-методичний апарат щодо обґрунтування конструктивних параметрів безпеки будівельних конструкцій захисних споруд цивільного захисту від зовнішніх та внутрішніх вибухових впливів, у тому числі військового характеру, відмінною рисою якого є новий підхід щодо опису критеріїв математичної моделі контактної взаємодії з будівельними конструкціями та врахування природи матеріалів пожежної навантаги в середині приміщень;
- ✓ науково-методичний апарат оцінювання небезпеки поширення пожежі в середині та ззовні об'єкту, а також на суміжні будівлі та споруди, відмінною рисою якого є застосування моделей газогідродинаміки, відтворених на базі сучасного програмного забезпечення FDS;

- ✓ науково-методичний апарат оцінювання суттєвих експлуатаційних характеристик для житлових та адміністративних будинків, а також споруд критичної інфраструктури та промислових підприємств з використанням розроблених довідникових таблиць за параметрами приміщень;
- ✓ фізичні моделі, що відтворюють фрагменти будівель захисних споруд для оцінювання їх суттєвих експлуатаційних характеристик при застосуванні різних параметрів вибуху, у тому числі військового характеру, теплоутворювальної здатності пожежної навантаги, коефіцієнту прорізів у зовнішніх огорожувальних конструкціях та тривалості теплового опромінювання;

отримало подальший розвиток:

- науково-прикладні засади оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення від пожеж, вибухів та уражень військового характеру;
- науково-прикладні засади прогнозування наслідків від пожеж і вибухів техногенного та військового характеру шляхом створення структурних схем-методів і методик натурних випробувань, що разом складають ієрархічну структуру та забезпечують механізми функціонування відповідної нормативної бази.



КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ КОМПЛЕКСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНИХ СПОРУД ВІД ПОЖЕЖ, ВИБУХІВ ТА УРАЖЕНЬ ВІЙСЬКОВОГО ХАРАКТЕРУ

**Забезпечення комплексного оцінювання ефективності
захисних споруд**

Обґрунтування науково-
методичного апарату
комплексного оцінювання
ефективності захисних
споруд

Фізичне моделювання
експериментальних
досліджень щодо
визначення ефективності
конструкції від уражень
різного характеру на
прикладі реальних
об'єктів або їх фрагментах

Розробка математичних
моделей та алгоритмів
для імітаційного
моделювання та
оцінювання параметрів

Створення лабораторій та
науково-випробувальної
бази

**Створення науково-
технічного комплексу з
цивільного захисту**

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕФОРМУВАННЯ ТА РУЙНАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ ПІД ЧАС ВИБУХІВ

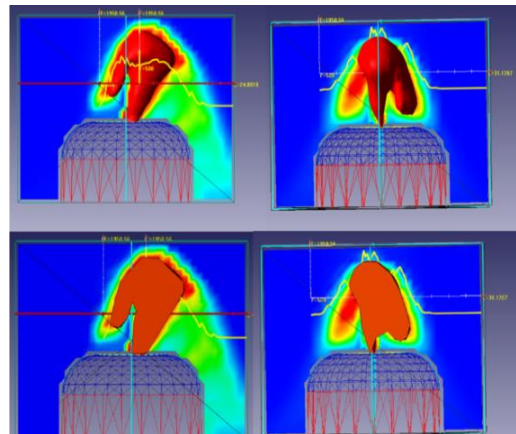
Деформування та руйнація елементів конструкцій будівель під час внутрішніх вибухів

Досліджено процеси деформування та руйнації елементів конструкцій будівель під час вибухів різних типів (зовнішніх і внутрішніх), у тому числі військового характеру;

у межах проведених досліджень *обґрунтовано* науково-методичний апарат визначення важливих для людини конструктивних параметрів приміщень безпеки у складі житлових і громадських будівель;

розроблено метод визначення параметрів легкоскидних конструкцій на основі математичних моделей газогідродинаміки та механіки деформованого тіла. Даний метод дозволяє більш точно визначати параметри легкоскидних конструкцій, що знижують тиск вибуху до безпечних меж за рахунок врахування таких чинників, як динаміка вибуху та критичні конструктивні параметри матеріалів легкоскидних конструкцій, що здатні чинити опір при високому тиску вибуху;

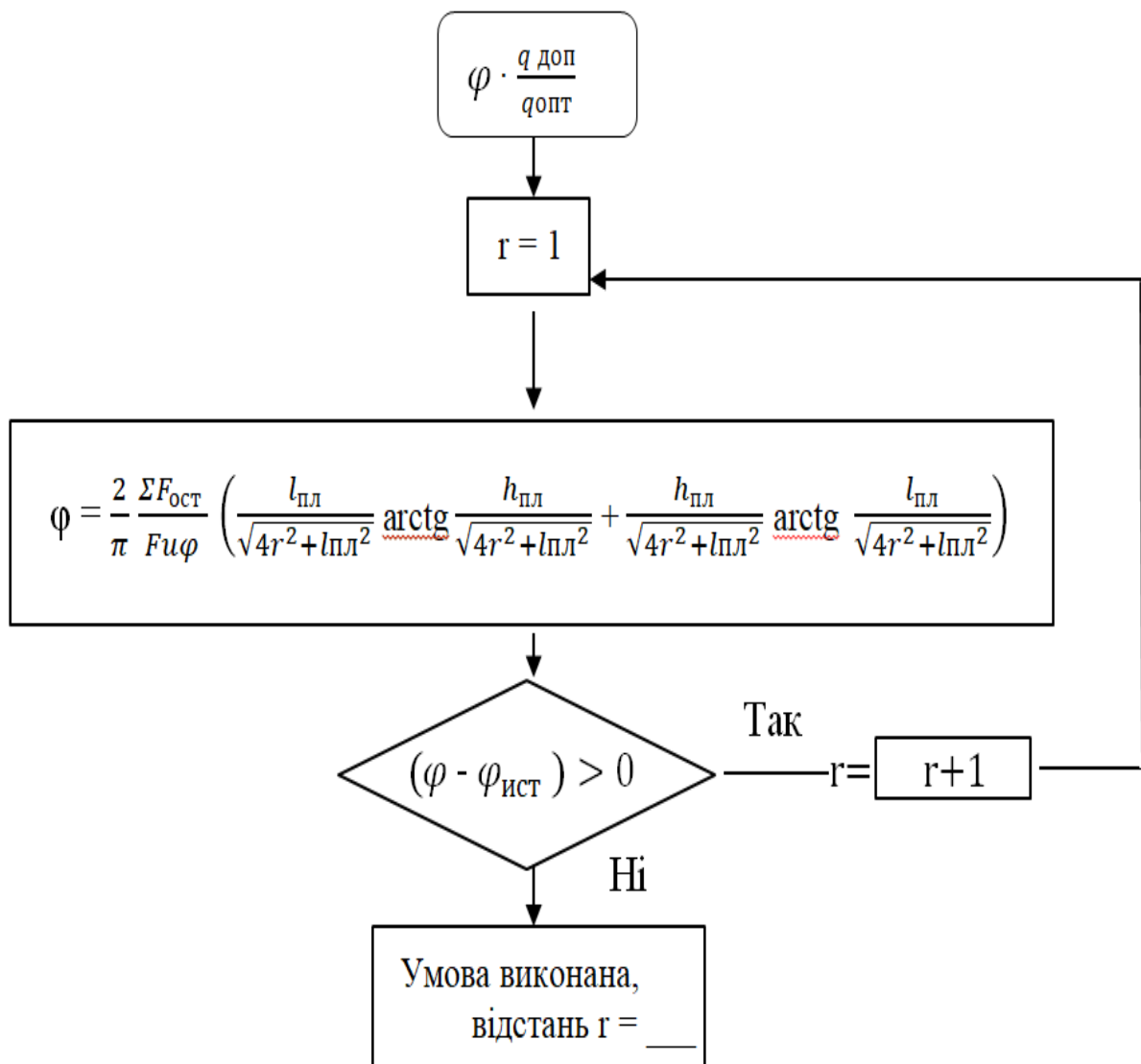
створено випробувальну установку для реалізації методу визначення параметрів легкоскидних конструкцій. Зазначений метод впроваджено у національному стандарті ДСТУ 9176:2022 «Пожежна безпека. Методи визначення параметрів легкоскидних конструкцій для приміщень та будинків. Основні положення».



Візуалізація моделі розвитку горіння ураженого біогазового ферментатору



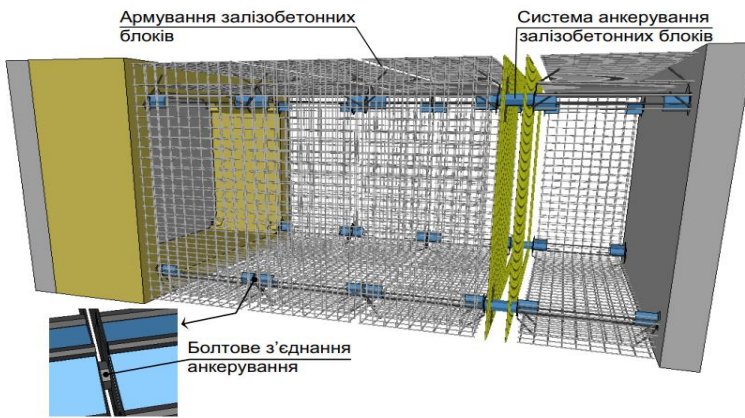
Експериментальна установка для випробувань легкоскридних конструкцій на надлишковий тиск вибуху



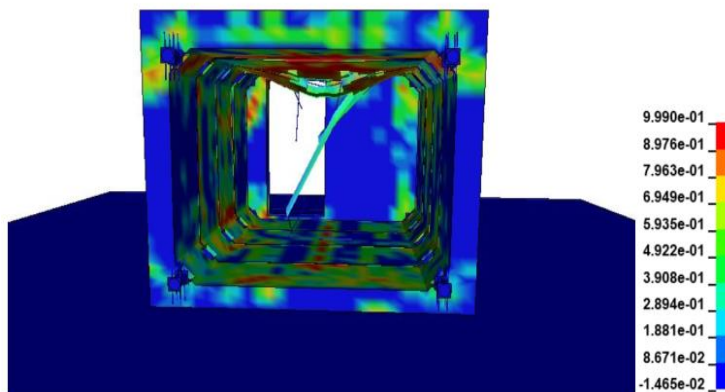
Алгоритм визначення безпечної відстані до суміжних об'єктів відносно ураженої споруди

Деформування та руйнація елементів конструкцій будівель під час зовнішніх уражень

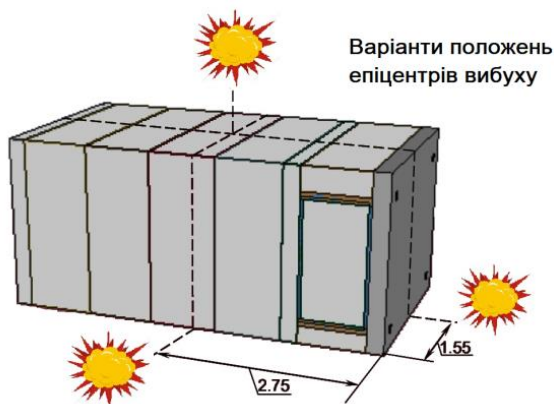
Моделювання поведінки захисних укриттів в умовах вибуху внаслідок бойових дій



Представлення результату моделювання захисного укриття



Візуалізація розподілення пластичних деформацій після прикладення тиску від вибухової хвилі



Виявлення найбільш небезпечного положення епіцентру вибуху для конструкції захисного укриття

розроблено математичну модель, що формалізує зв'язок між здатністю конструкцій захисних споруд зберігати свої захисні функції та параметрами імпульсних впливів від бойових снарядів, ракет і уламків, а також утвореного в об'ємі вибухопожежонебезпечного приміщення будинку надлишкового тиску вибуху в результаті можливого витoku небезпечних горючих газів;

удосконалено математичні моделі механічної взаємодії між елементами захисних укриттів, матеріалів конструкцій та основи, на яких вони встановлюються, а також моделі механічного впливу зовнішнього та внутрішнього вибуху, у тому числі військового характеру, на конструктивні елементи захисного укриття.

ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ ЗА РІЗНИХ УМОВ ЇЇ ВИНИКНЕННЯ

Для визначення температурного впливу (впливу потужності теплового потоку) від джерела теплового випромінювання, яким може бути пожежа в будинку, у тому числі внаслідок зовнішнього вибуху від застосування противником відповідних боєприпасів (снаряд, ракета, міна), на сусідні будинки та споруди в залежності від часу температурного впливу *розроблено* метод оцінювання протипожежних відстаней між об'єктами, який засновано на прямій індикації можливості утворення пожежі на суміжному будівельному об'єкті за величиною температури нагріву матеріалів даного будівельного об'єкту, якщо величина цієї температури перевищує 80 % від значення температури їх займання.



Установка для реалізації імітаційних випробувань з дослідження процесів теплового впливу факела вогнища пожежі на елементи суміжних об'єктів

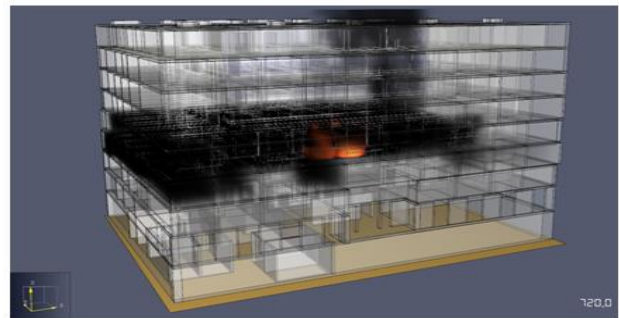
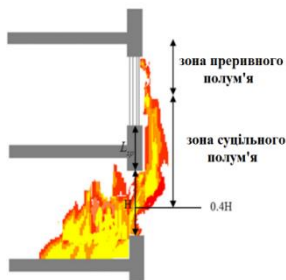
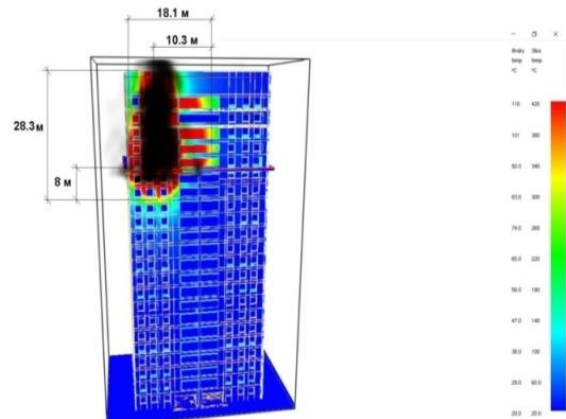
величиною температури нагріву матеріалів конструкції даного об'єкту. Зазначений вище метод впроваджено у національному стандарті **ДСТУ 9058:2020** Пожежна безпека. Визначення протипожежних відстаней між об'єктами розрахунковими методами. Основні положення.

Встановлено, що залежність зміни температури від відстані до осередку теплового випромінювання через віконний проріз будинку описується залежністю типу $\Theta(d)=a_0+a_1d+a_2d^2+a_3d^3$, при цьому визначені коефіцієнти даної регресії для значень температур.

Обґрунтовано критеріальну базу, що заснована на прямій індикації можливості утворення пожежі, у тому числі в результаті вогневих уражень на суміжному будівельному об'єкті за

ОЦІНЮВАННЯ НЕБЕЗПЕКИ ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ ПО ФАСАДАМ БУДІВЕЛЬ

Удосконалено науково-методичний апарат оцінювання небезпеки поширення пожежі в середині та зовні об'єкту, а також на суміжні будівлі та споруди, відмінною рисою якого є можливість застосування моделей газогідродинаміки відтворених на базі сучасного програмного забезпечення FDS.



Результати математичного моделювання процесу поширення пожежі зовнішніми огорожувальними конструкціями будівлі

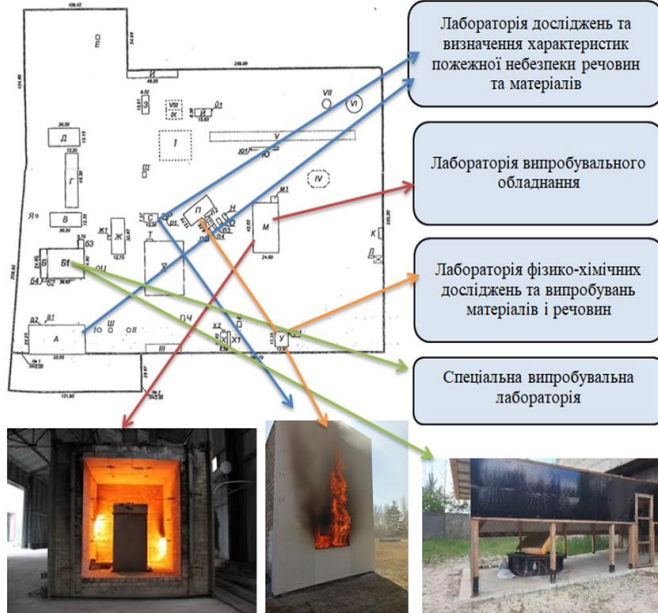
Розроблено метод прогнозування запобігання поширення пожежі по зовнішнім огорожувальним конструкціям зі створенням випробувальної установки, яка відрізняється від зарубіжних аналогів тим, що фрагмент фасадної системи влаштовано із можливістю відтворювати геометричні параметри фрагменту фасаду, форму та кути прилягання різних площин фасаду один до одного, кути ухилу у вертикальних та горизонтальних площинах.

Метод впроваджено у національному стандарті **ДСТУ 9192:2022** Пожежна безпека. Проектування висотних громадських будівель з умовною висотою від 100 м до 150 м.



Установка для реалізації імітаційних випробувань з дослідження процесів поширення пожежі по фасадам будівель

СТРУКТУРА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ З ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ



На основі розроблених математичних моделей та експериментальних методів оцінювання показників безпеки для будівель і споруд, пов'язаних із їхніми суттєвими експлуатаційними характеристиками, *створено* відповідну науково-випробувальну базу, як технічну складову Комплексу.

У процесі створення випробувальної бази Комплексу вирішено актуальне науко-

во-технічне завдання із створенням устаткування для випробування конструкцій та окремих будівельних матеріалів в умовах зовнішнього та внутрішнього вогневого впливу, а також впливу вибухів, що дозволило впровадити фізичне моделювання та оцінювання ефективності захисних споруд.

Організовано функціонування науково-випробувальних лабораторій за напрямками:

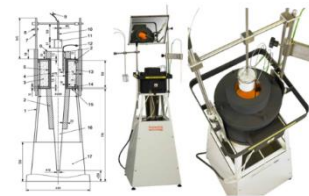
- **лабораторія досліджень та визначення характеристик пожежної небезпеки речовин і матеріалів** – для сертифікаційних випробувань та оцінки відповідності речовин і матеріалів;
- **лабораторія випробувального обладнання** – для випробувань елементів будівельних конструкцій на вогнестійкість;
- **лабораторія фізико-хімічних досліджень та випробувань матеріалів і речовин** – для випробувань з оцінки відповідності існуючих та нових будівельних матеріалів вимогам будівельних норм та національних стандартів;
- **спеціальна випробувальна лабораторія** – для проведення випробувань з оцінювання параметрів внутрішнього вибуху.

НАУКОВО-ДОСЛІДНЕ ТА СЕРТИФІКАЦІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ ЛАБОРАТОРІЙ КОМПЛЕКСУ

Для визначення суттєвих експлуатаційних характеристик та ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення створене випробувальне обладнання, що відповідає вимогам національних, регіональних та міжнародних нормативних документів.



Випробувальне обладнання лабораторій для випробувань елементів будівельних конструкцій і визначення характеристик пожежної небезпеки речовин та матеріалів



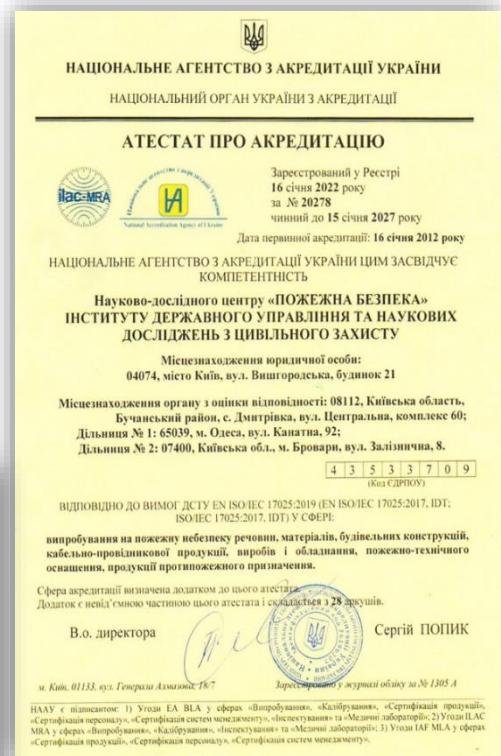
На теперішній час випробувальна база Комплексу забезпечує проведення випробувань з оцінювання ефективності захисних споруд та їх окремих конструктивних елементів за **460** методами випробувань, які стандартизовані в **32**-х національних стандартах. Для проведення оцінювання застосовуються **64** одиниці верифікованого випробувального обладнання. Для проведення вимірювань використовується **150** засобів вимірювальної техніки.

ТЕХНІЧНА СКЛАДОВА КОМПЛЕКСУ

Забезпечено повний цикл імітаційних випробувань та відповідного випробувального обладнання для оцінювання всіх базових елементів будівельних конструкцій (стін, колон, сходових площадок та маршів сходових кліток, міжповерхового перекриття та елементів покриттів) та лабораторного обладнання для визначення основних характеристик пожежної небезпеки будівельних матеріалів.



Установки для проведення імітаційних випробувань з прогнозування надзвичайних ситуацій на об'єктах енергетичної інфраструктури



Стандартизовано

методи випробувань, як передумову реалізації єдиного підходу з оцінювання відповідності та забезпечення точності результатів випробувань.



ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

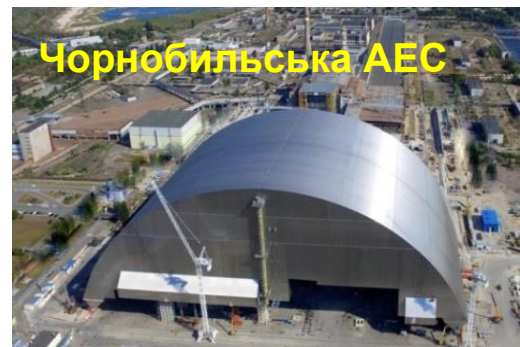
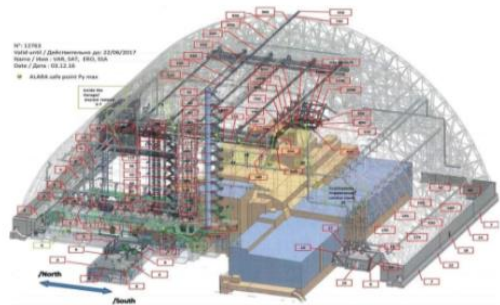
За допомогою складових Комплексу в інтересах виконання вимог безпеки та забезпечення цивільного захисту населення, у продовж 2014-2023 років **розроблено** більше **35** окремих прикладних концепцій протипожежного захисту і **визначено** рівень пожежної безпеки людей та індивідуального пожежного ризику зокрема для таких об'єктів національного значення, якими є: новий безпечний конфайнмент – споруда над зруйнованим унаслідок аварії четвертим енергоблоком Чорнобильської АЕС, Хмельницької АЕС, Національного культурно-мистецького та музейного комплексу «Мистецький арсенал» (м. Київ) і Національного спортивного комплексу «Олімпійський» (м. Київ).

Розроблено та **прийнято** **38** національних стандартів України і **19** Державних будівельних норм (ДБН), на підставі яких Мінінфраструктури **формує вимоги** до об'єктів будівництва різного функціонального призначення.

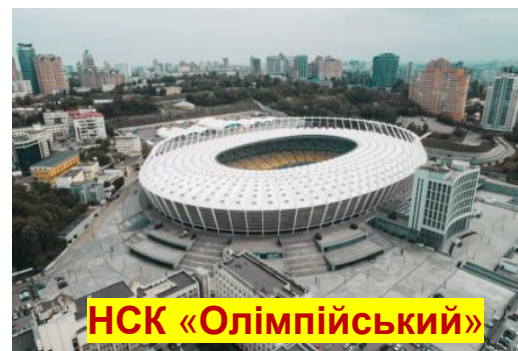
На теперішній час Комплекс також використовується для оцінювання пошкоджених вибухами і пожежами будівель на неокупованій території

України з наданням необхідних рекомендацій щодо подальшої їх експлуатації. Здійснювалися необхідні моделювання для теоретичного оцінювання протипожежного стану будівель Запорізької АЕС.

Пожежно-випробувальний полігон, на якому розташована науково-випробувальна база Комплексу, **отримав статус** «Науковий об'єкт, що становить національне надбання» відповідно до постанови КМ України від 10.11.2021 № 1206.



**Новий безпечний
конфайнмент**



НАУКОВЕ ЗНАЧЕННЯ РОБОТИ

Створення Науково-технічного комплексу з цивільного захисту дозволило забезпечити розв'язання низки актуальних науково-прикладних проблем щодо комплексного оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру. Комплекс призначений для проведення науково-прикладних досліджень і сертифікаційних випробувань у сфері цивільного захисту з використанням низки утворених спеціалізованих лабораторій, об'єднаних у єдиний комплекс, із різним за призначенням спеціалізованим обладнанням та устаткуванням.



ВИСНОВКИ

1. Вперше розроблено концептуальні засади комплексного оцінювання ефективності захисних споруд від пожеж, вибухів та уражень військового характеру.

2. Вперше розроблено метод математичного моделювання процесів надлишкового тиску вибуху та теплового опромінення для обґрунтування показників безпеки будівель і споруд, пов'язаних із їх суттєвими експлуатаційними характеристиками, які базуються на принципах «збереження несучої здатності конструкцій», «обмеження поширення пожежі», «прогнозування сили вибуху», «стійкості до зовнішнього вогневого впливу», «безпечної та безперешкодної евакуації людей», що створює наукове підґрунтя для комплексного оцінювання ефективності захисних споруд.

3. Вперше розроблено математичну модель, що формалізує зв'язок між здатністю конструкцій захисних споруд зберігати свої захисні функції та параметрами імпульсних впливів від бойових снарядів, ракет і уламків, а також утвореного в об'ємі вибухо-пожежонебезпечного приміщення будинку надлишкового тиску вибуху в результаті можливого витoku небезпечних горючих газів.

4. Вперше виявлено та формалізовано у вигляді регресійної поліноміальної залежності третього порядку закономірності зміни температури на суміжному об'єкті в залежності від відстані між цим об'єктом і полум'ям пожежі.

5. Вперше розроблено метод оцінювання обмеження поширення пожежі по зовнішнім огорожувальними конструкціями будівель, який засновано на прямій індикації можливості утворення пожежі на суміжному будівельному об'єкті за величиною температури нагріву матеріалів даного будівельного об'єкту, якщо величина цієї температури перевищує 80 % від значення температури їх займання.

6. Вперше розроблено комплекс програмно-алгоритмічного забезпечення для вирішення завдань комплексного оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної

інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового та техногенного характеру.

7. Удосконалено класифікацію небезпечних впливів на конструкції захисних споруд, відмінною рисою якої є врахування характеру виникнення та подальшого розвитку небезпечних впливів на конструкції захисних споруд від уражень військового та техногенного характеру.

8. Удосконалено математичні моделі механічної взаємодії між елементами захисних укриттів, матеріалів конструкцій та основи, на яких вони встановлюються, а також моделі механічного впливу зовнішнього та внутрішнього вибуху на конструктивні елементи захисного укриття.

9. Удосконалено науково-методичний апарат щодо обґрунтування конструктивних параметрів безпеки будівельних конструкцій захисних споруд цивільного захисту від зовнішніх та внутрішніх вибухових впливів, відмінною рисою якого є новий підхід щодо опису критеріїв математичної моделі контактної взаємодії з будівельними конструкціями та врахування природи матеріалів пожежної навантаги в середині приміщень.

10. Удосконалено науково-методичний апарат оцінювання небезпеки поширення пожежі в середині та ззовні об'єкту, а також на суміжні будівлі та споруди, відмінною рисою якого є застосування моделей газогідродинаміки, відтворених на базі сучасного програмного забезпечення FDS.

11. У результаті створення і застосування Комплексу забезпечено комплексне оцінювання ефективності захисних споруд у складі об'єктів будівництва різного функціонального призначення, у тому числі об'єктів критичної інфраструктури, з прогнозуванням наслідків для цих об'єктів від пожеж, вибухів та уражень військового характеру.

На теперішній час Комплекс використовується для оцінювання пошкоджених вибухами і пожежами будівель на неокупованій території України з наданням необхідних рекомендацій щодо подальшої їх експлуатації.

Ефект від провадження Комплексу підтверджується результатами співробітництва з провідними будівельними компаніями, зокрема Vinci Construction Bouygues Travaux Publics (Франція), архітектурним бюро GMP (Німеччина).

