



Звіт

***про роботу студентського наукового гуртка
кафедри будівництва***

“Комп’ютерне моделювання та конструювання будівель і споруд”

Київ, 2025

СКЛАД НАУКОВОГО ГУРТКА

1

Керівник гуртка:

к.т.н., доцент, Дмитренко Євген Анатолійович

Староста гуртка:

Студент гр. БЦІ - 2405м Комаров А. О.

Члени гуртка:

Студенти ОКР «Доктор філософії»:

Бакай Т. В., Денисенко Д. О.

Студенти ОКР «Магістр»:

Кондратюк А.В., Майстренко М. М., Охріменко Ю.В., Коломієць О.Ю., Цицюра М.О., Бобровник Н.Ю.,

Студенти ОКР «Бакалавр»:

Трочинський Д. О., Прокопенко А.Б., Дерека Л.О., Білик В.О., Колода В.С., Усенко Я.О., Бастило В.С., Суддя О.М.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ ТА МЕТА НАУКОВОГО ГУРТКА

2

Актуальність використання комп'ютерних технологій у робочому процесі сучасного спеціаліста у сфері промислового та цивільного будівництва важко переоцінити, адже вони дозволяють значно прискорити процес створення проектної документації, підвищити якість та точність проектних рішень, розширити можливості їх аналізу та досліджень, і, у кінцевому рахунку, зменшити терміни і вартість зведення будівель та споруд в цілому.

Велику популярність за кордоном і у нашій країні здобула **BIM (Building Information Modelling)** - технологія проектування та моніторингу будівельних об'єктів та споруд, яка має суттєві переваги перед традиційною CAD-технологією. Одним із вітчизняних програмних комплексів, який реалізує цю технологію є **ПК «ЛІРА-САПР»** (продукти «ЛІРА-САПР», «САПФІР-3D», «МОНОМАХ», «ЕСПРІ»).

Тому основною **метою** роботи наукового гуртка є вивчення новітніх методик моделювання та розрахунку будівель та споруд за допомогою програм сімейства «ЛІРА-САПР», дослідження нормативних методик розрахунку залізобетонних конструкцій і вирішення науково-практичних задач, пов'язаних із темою випускних кваліфікаційних робіт студентів.

Робота гуртка виконувалась у наступних напрямках:

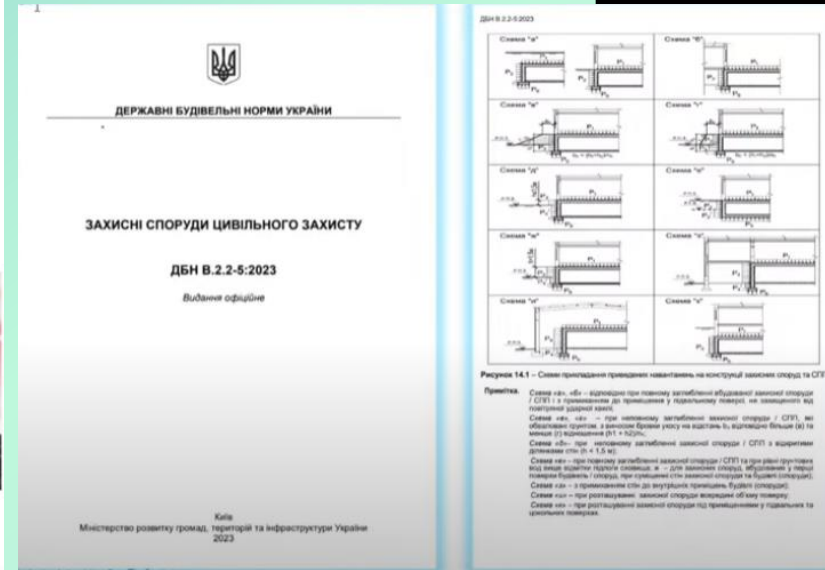
- 1. Розрахунок будівель та споруд подвійного призначення на вибухові впливи.*
- 2. Аналіз застосування вуглецевих полотен для підсилення існуючих залізобетонних конструкцій, які експлуатуються в агресивних середовищах.*
- 3. Аналітичний огляд експериментальних досліджень впливу захисного шару бетону на граничні напруження зчеплення з арматурою.*
- 4. Аналіз методів розрахунку будівельних конструкцій на дію вибухових навантажень.*

РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ВИБУХОВІ ВПЛИВИ

Ключові загрози



- На сьогодні найбільш вірогідною зброєю є безпілотний літальний апарат «Шахед-136»
- Найбільш небезпечною зброєю є крилаті ракети, а саме Кінджал та Калібр



Ключові загрози для захисних споруд об'єктів критичної інфраструктури

Нормативний документ, який регламентує розрахунок захисних споруд

ПРОЕКТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАГРОЗИ

Шахід 136	
Маса (кг)	200
Маса в момент удару (кг)	170
Довжина (мм)	3500
Маса боеголовки (кг)	50
Маса корпусу (кг)	50
Маса вибухової речовини (кг)	30
Еквівалент TNT (кг)	35
Casing Thickness (T_c)	0,03
Casing Diameter (T_o)	0,3
Shell Length (L)	0,6
Густина матеріалу боеголовки (кг/м ³)	2800
Форма носу боеголовки	овальна

X-22	
Маса (кг)	5780
Маса в момент удару (кг)	2500
Довжина (мм)	11650
Маса боеголовки (кг)	1000
Маса корпусу (кг)	2000
Маса вибухової речовини (кг)	630-900
Еквівалент TNT (кг)	693-990
Casing Thickness (T_c)	0,010
Casing Diameter (T_o)	0,920
Shell Length (L)	2,0
Густина матеріалу боеголовки (кг/м ³)	4500
Форма носу боеголовки	овальна

Визначення величини тиску та величини імпульсу

Шахед 136		X-22	
Explosive Type: TNT	Charge Weight (kg): 35	Explosive Type: TNT	Charge Weight (kg): 900
Range (m): 10	Calculate Blast Parameters	Range (m): 10	Calculate Blast Parameters
TNT Weight for Pressure (kg): 35.00	TNT Weight for Impulse (kg): 35.00	TNT Weight for Pressure (kg): 900.00	TNT Weight for Impulse (kg): 900.00
Incident Pressure (kPa): 111.18	Incident Impulse (kPa-ms): 298.36	Incident Pressure (kPa): 1259.12	Incident Impulse (kPa-ms): 2254.54
Reflected Pressure (kPa): 314.59	Reflected Impulse (kPa-ms): 717.74	Reflected Pressure (kPa): 7404.27	Reflected Impulse (kPa-ms): 8148.79
Time of Arrival (ms): 11.98	Positive Phase Duration (ms): 9.40	Time of Arrival (ms): 4.81	Positive Phase Duration (ms): 25.99
Shock Front Velocity (m/s): 474.67		Shock Front Velocity (m/s): 1155.99	

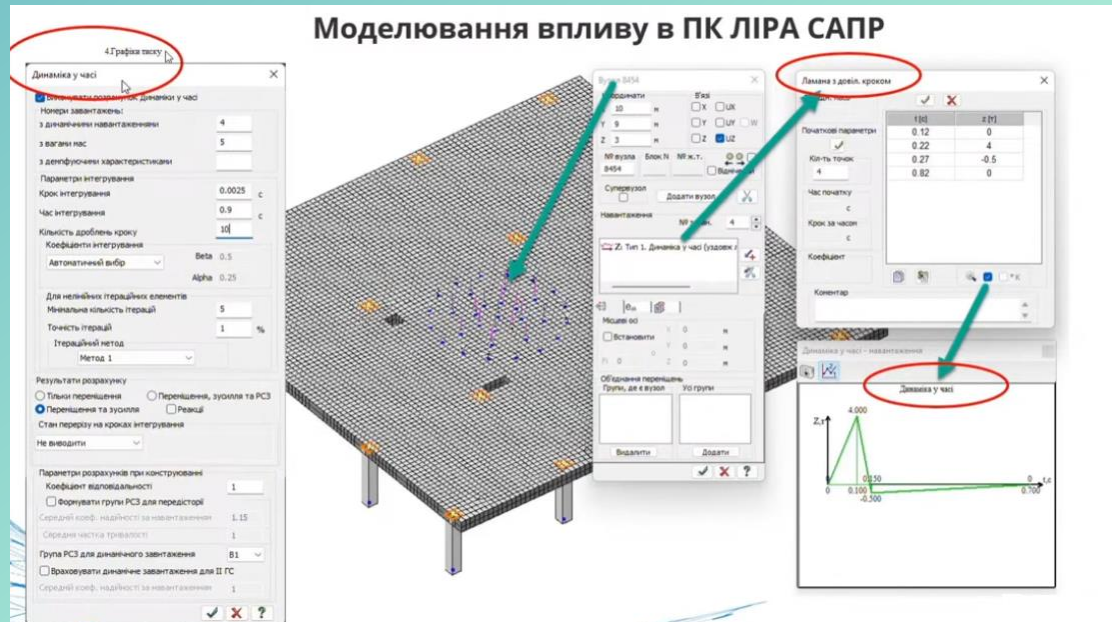
Проектні характеристики загроз при розрахунку захисних споруд

Визначення величин імпульсу та тиску від загроз, розрахованих за допомогою інженерних калькуляторів, представлених на сайті ООН

РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ВИБУХОВІ ВПЛИВИ

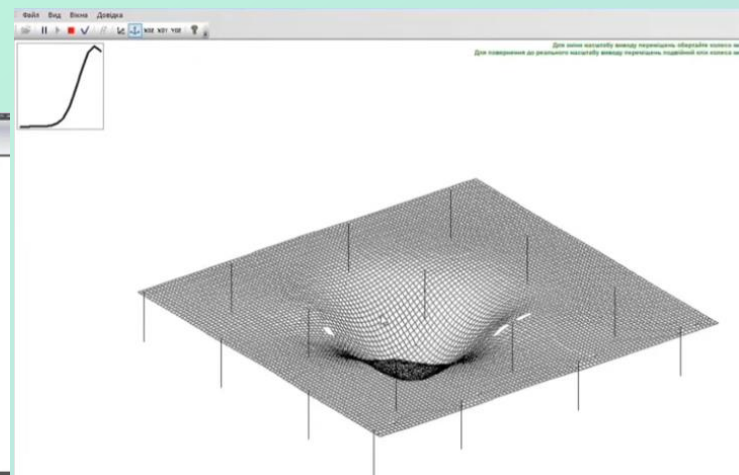
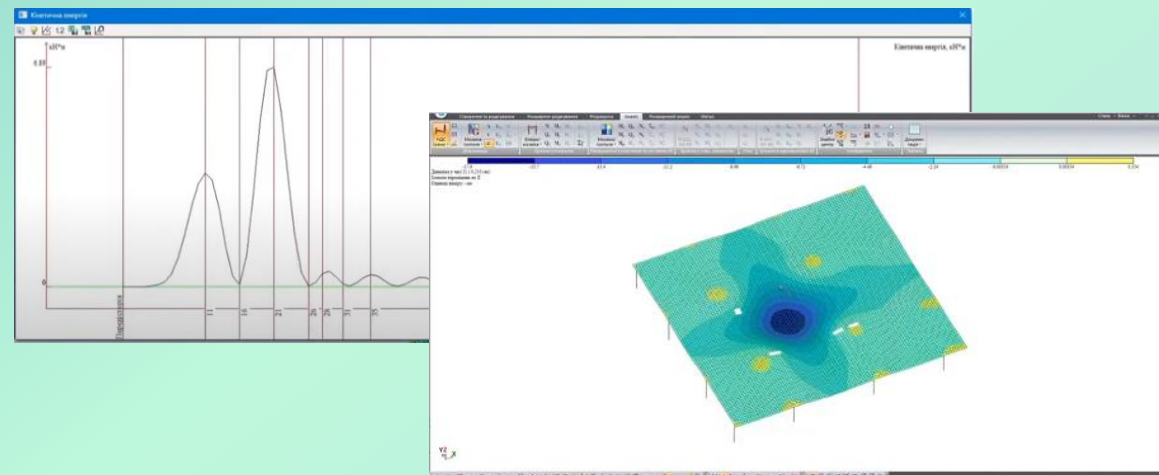
5

Моделювання впливу в ПК ЛІРА САПР



Навантаження від вибуху, прикладене на ділянку захисної споруди

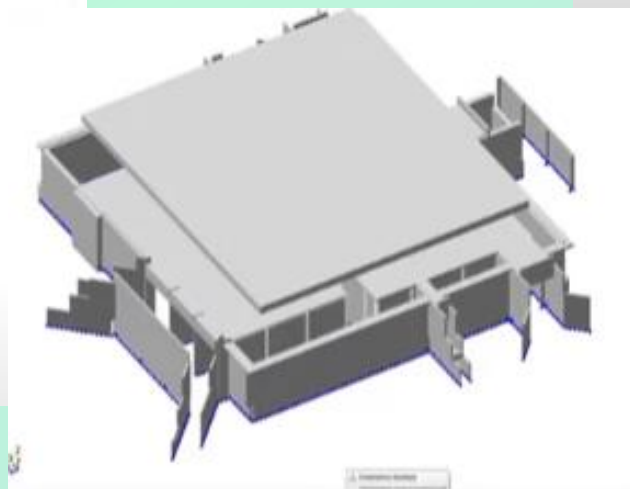
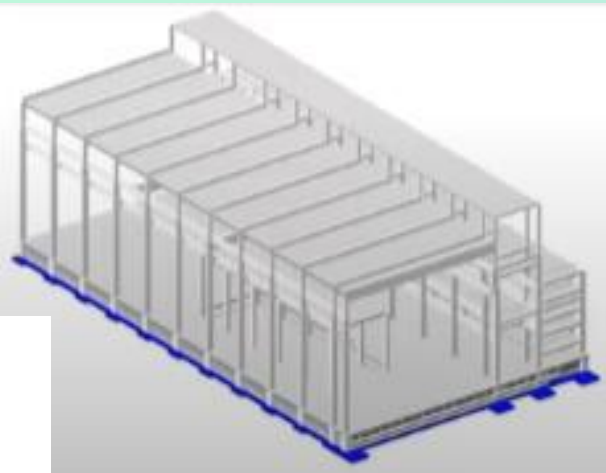
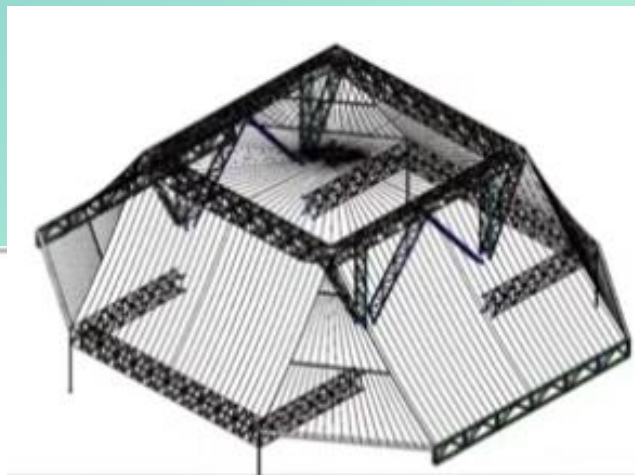
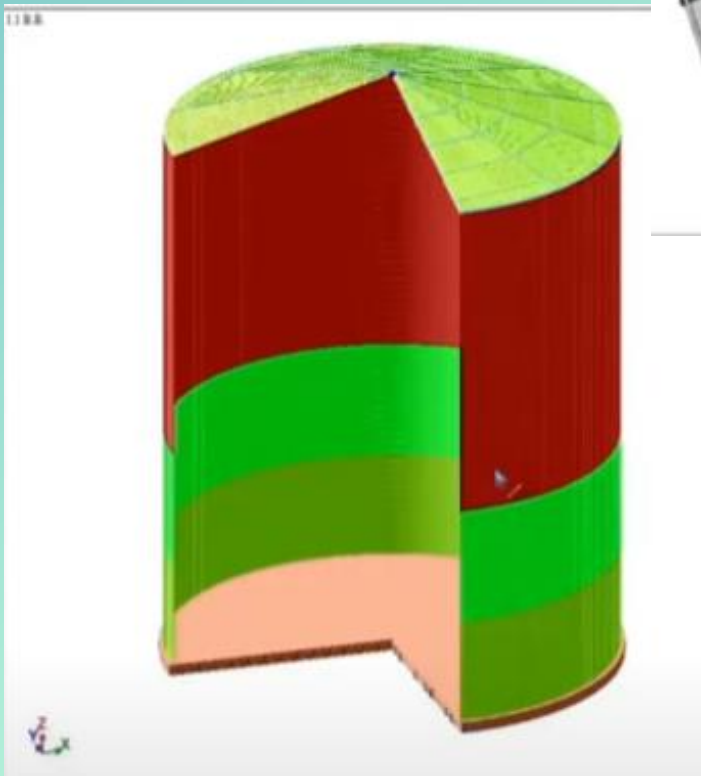
Моделювання впливу вибуху на захисну споруду в ПК «ЛІРА САПР»



Результати розрахунку захисної споруди в ПК «ЛІРА САПР»

РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ НА ВИБУХОВІ ВПЛИВИ

6



Об'єкти, розраховані із урахуванням впливу вибуху в ПК «ЛІРА САПР»

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ПОЛОТЕН ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

7

Реконструкція басейну: зовнішнє армування вуглеволокном залізобетонних балок та плит перекриття

Плита до підсилення



Балка до підсилення



Плита після підсилення



Балка після підсилення



АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВУГЛЕЦЕВИХ ПОЛОТЕН ДЛЯ ПІДСИЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ, ЯКІ ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ В АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

8

Випробування конструкцій

Балка до підсилення: 3.8 кН



Призма до підсилення: 280 кН



Балка після підсилення: 5.4 кН



Міцність на згин зросла на 42.1%

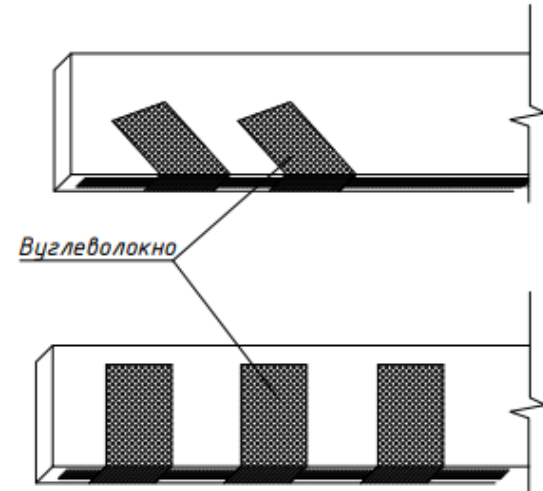
Призма після підсилення: 520 кН



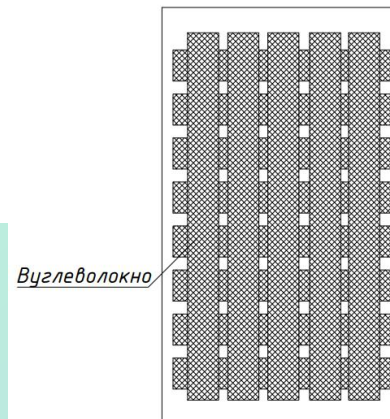
Міцність на стиск зросла на 85.7%

Принципові схеми підсилення

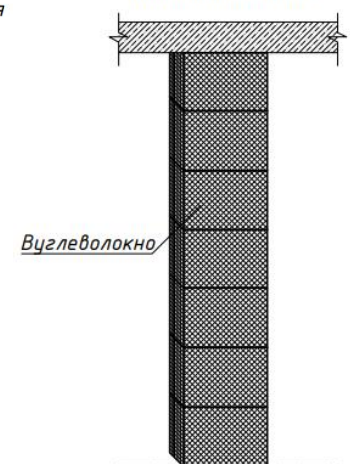
Підсилення балки



Підсилення плити перекриття

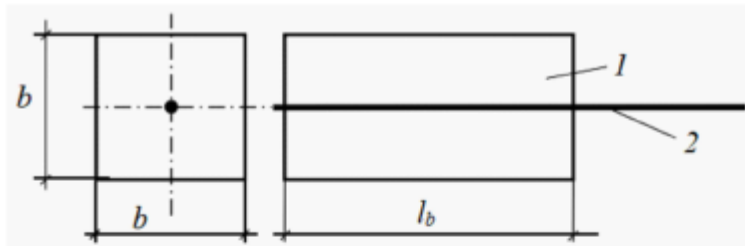


Підсилення колони



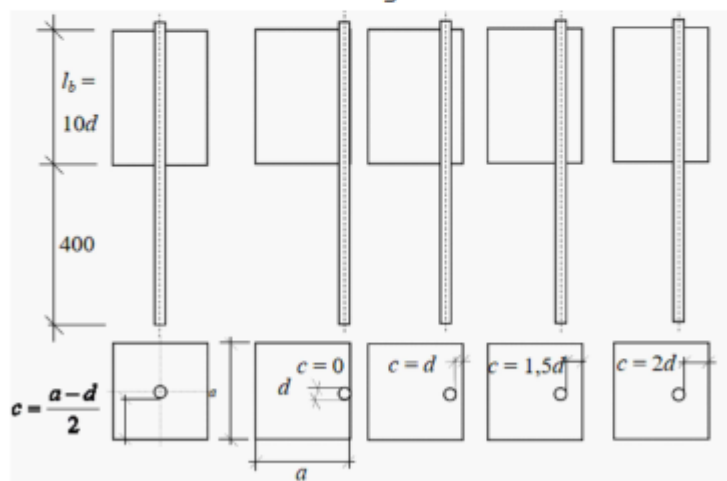
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЗАХИСНОГО ШАРУ БЕТОНУ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ З АРМАТУРОЮ

9

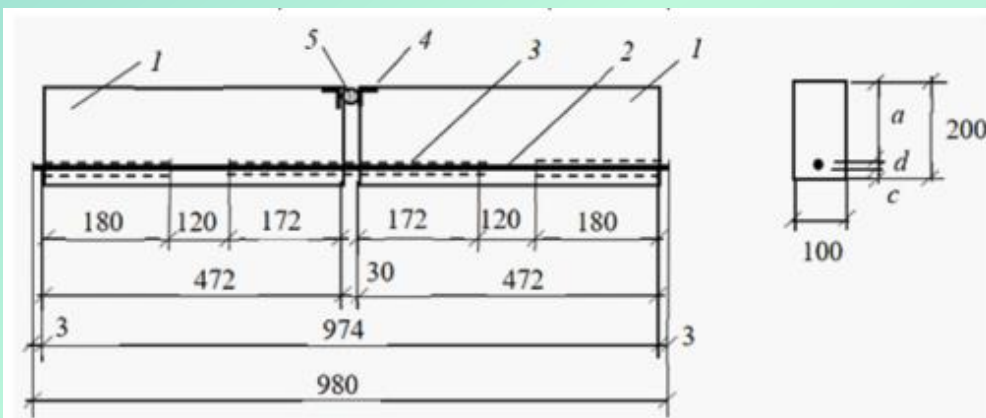


1 - бетонна призма; 2 - арматурний стержень

Конструктивна схема досліджуваних зразків у загальному вигляді



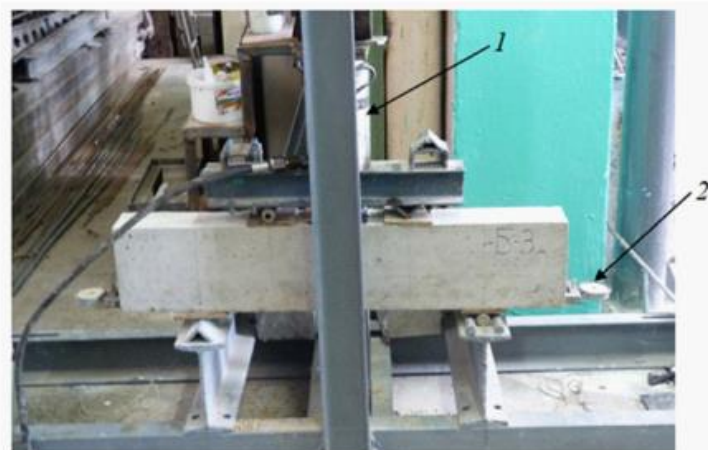
Конструктивні схеми дослідних зразків ($a = 100$ і 150 мм) третьої та четвертої серії досліджень



1 - бетонна напівбалка; 2 - арматурний стержень, зчеплення з бетоном якого досліджується;

3 - спеціальні пластикові трубки; 4 - закладні деталі;

5 - металевий циліндр; c - захисний шар бетону.

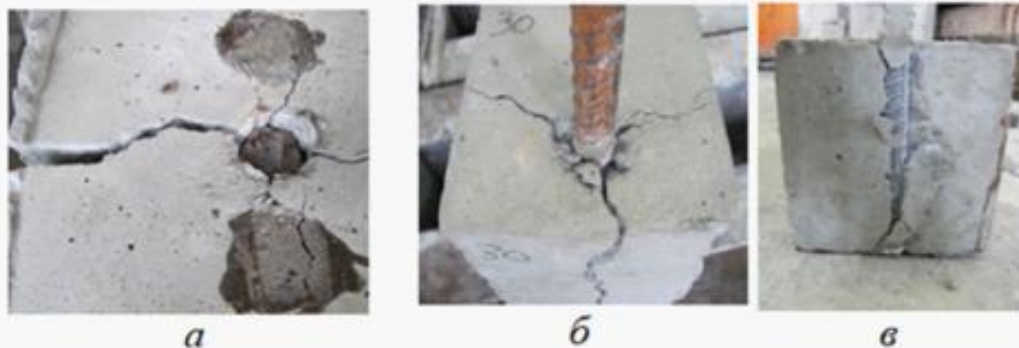


1 - домкрат; 2 - індикатор з цінною поділкою $0,001$ мм для вимірювання зміщення торця стержня в бетоні

Загальний вигляд випробування балок п'ятої серії досліджень в рамній установці

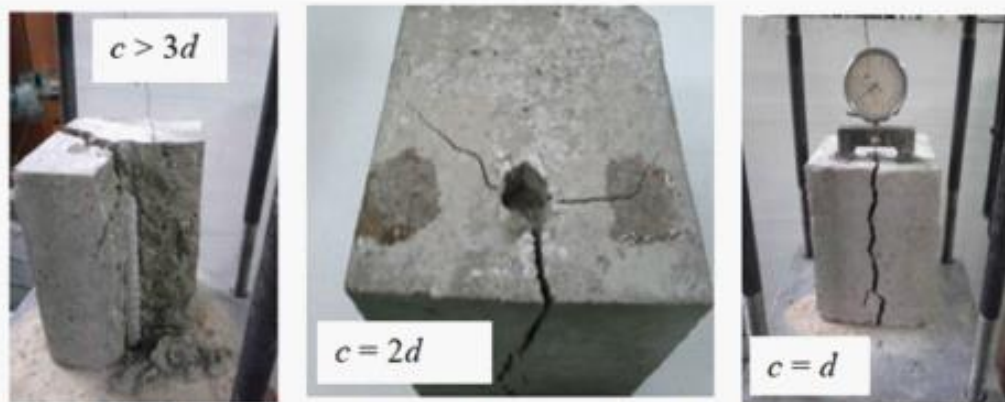
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЗАХИСНОГО ШАРУ БЕТОНУ НА ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ З АРМАТУРОЮ

10

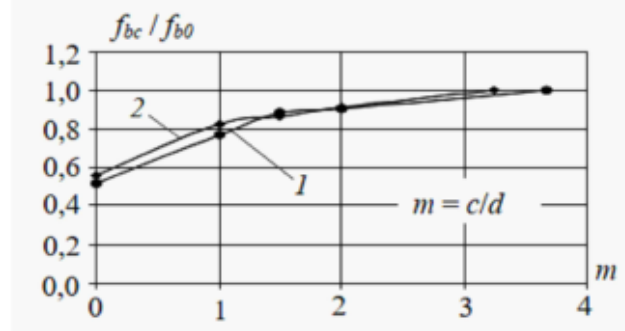


а) - $c > 3d$; б) - $c = 1,5d$; в) - $c = 0$

Характер руйнування зразків третьої серії з діаметром стержнів 20 мм

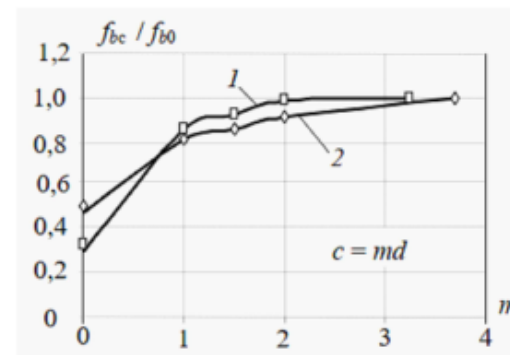


Характер руйнування зразків четвертої серії з діаметром стержнів 20 мм



1 - $d = 12$ мм; 2 - $d = 20$ мм

Залежність напружень зчеплення від товщини захисного шару бетону для третьої серії дослідів

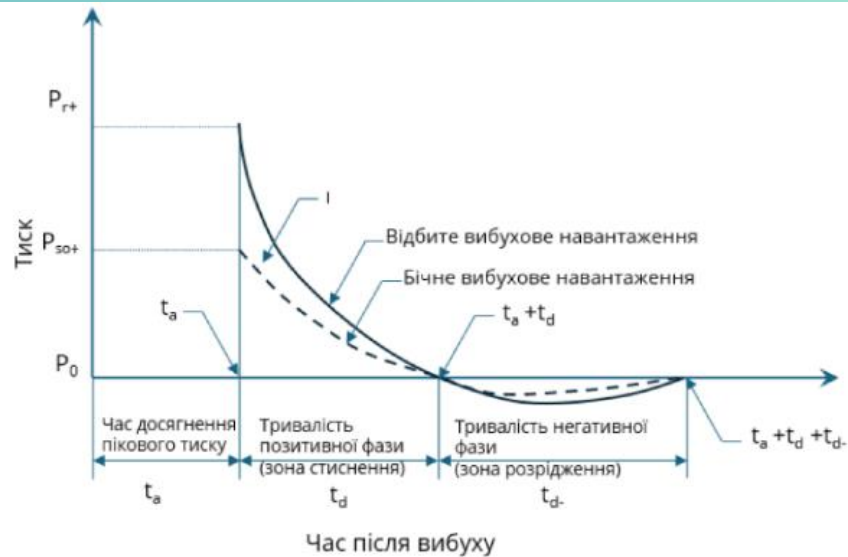


1 - діаметр стержнів $d = 20$ мм; 2 - те саме, $d = 12$ мм

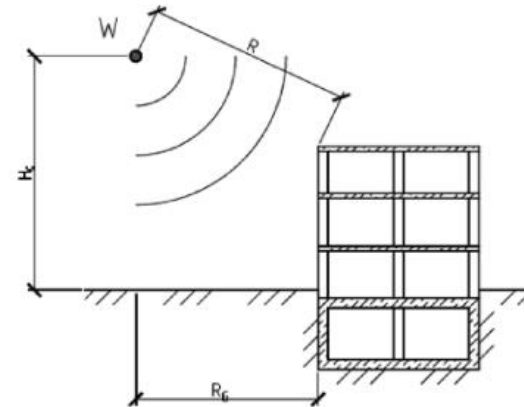
Залежність граничних напружень зчеплення f_{bc} від товщини захисного шару бетону $c = md$ (четверта серія)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ДІЮ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

11



Ідеалізований графік залежності зміни тиску вибухової хвилі в часі



До визначення параметрів діаграм рівнянь руху



Наслідки вибуху та прогресуючого руйнування будівлі внаслідок пошкодження несучих конструкцій, м. Ель-Худар, 1996 р.

$$\left\{ \begin{aligned} DEF_c &= \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_{sc}} \right)^{1,026\alpha_s} \rightarrow 30 \times 10^{-6} \leq \dot{\varepsilon} \leq (30 + 23i) c^{-1}; \\ DEF_c &= \eta \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon_{sc}} \right)^k \rightarrow (30 + 23i) \leq \dot{\varepsilon} \leq 300 c^{-1}, \end{aligned} \right.$$

де $\alpha_s = \frac{1}{5 + 9f_c / f_{c0}}$, $f_{c0} = 10$ МПа; $\varepsilon_{sc} = 30 \times 10^{-6} c^{-1}$, $\gamma_s = 10^{(6,15\alpha_s - 2)}$,
 $\eta = (1 - 0,3392i)\gamma_s$, $k = \frac{1 + 0,05i}{3}$, $i = \begin{cases} 0 - \text{бетон;} \\ 1 - \text{фібро бетон.} \end{cases}$

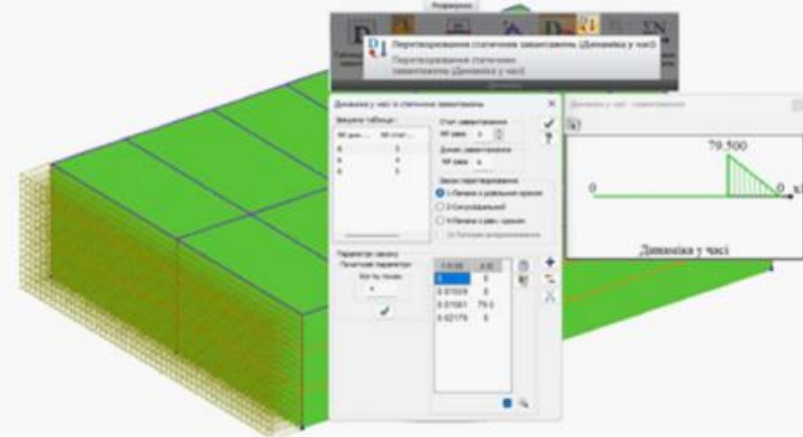
Розрахунок коефіцієнту динамічного зміцнення бетону згідно роботи Hansson[18]

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ДІЮ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

12

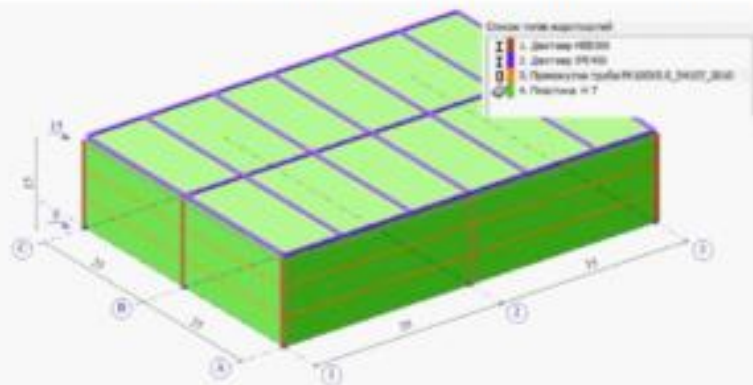


Руйнування будівлі вибуховим методом

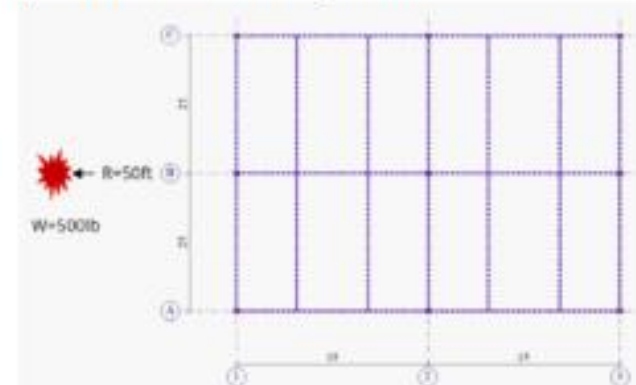


Перетворення статичного завантаження на фронтальну стіну в динамічне завантаження 6

Моделювання вибухового впливу прямим динамічним методом в ПК "ЛІРА САПР" для оцінки вибухостійкості будівлі



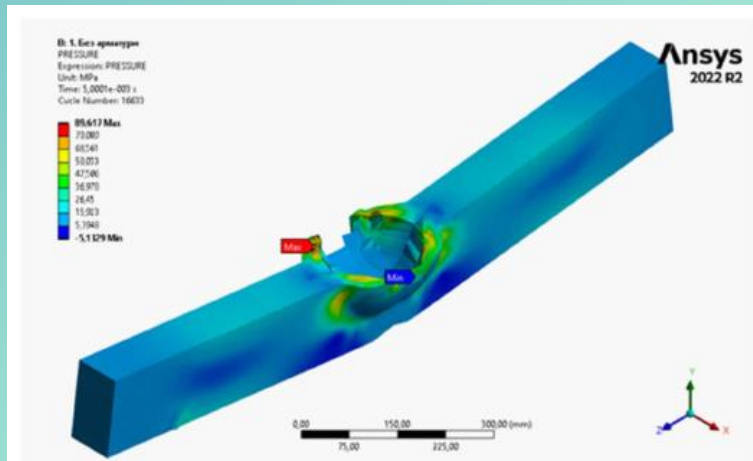
Розрахункова схема одноповірхової будівлі



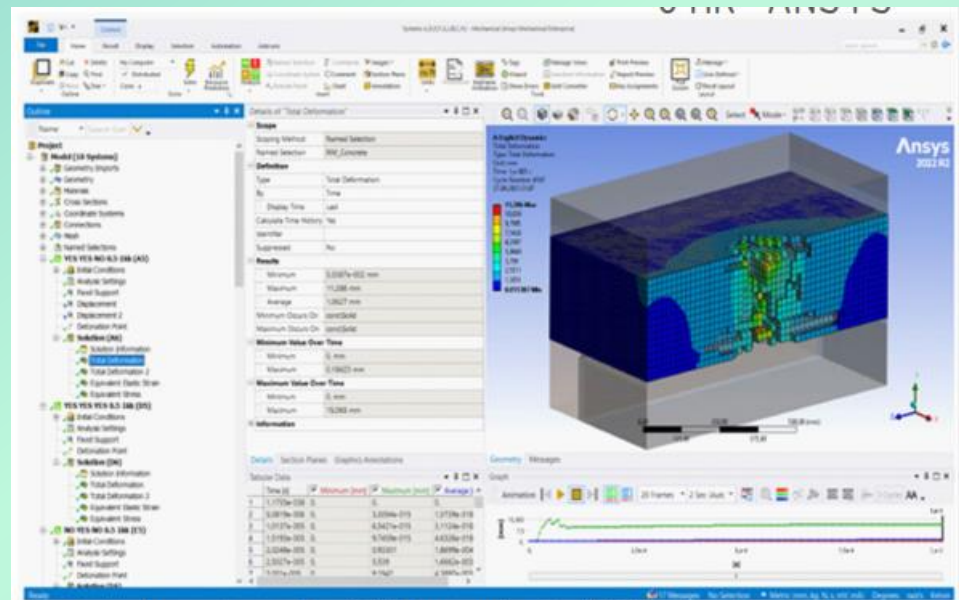
Вибух на відстані $R=50$ футів, вага заряду $W = 500$ фунтів

АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ДІЮ ВИБУХОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

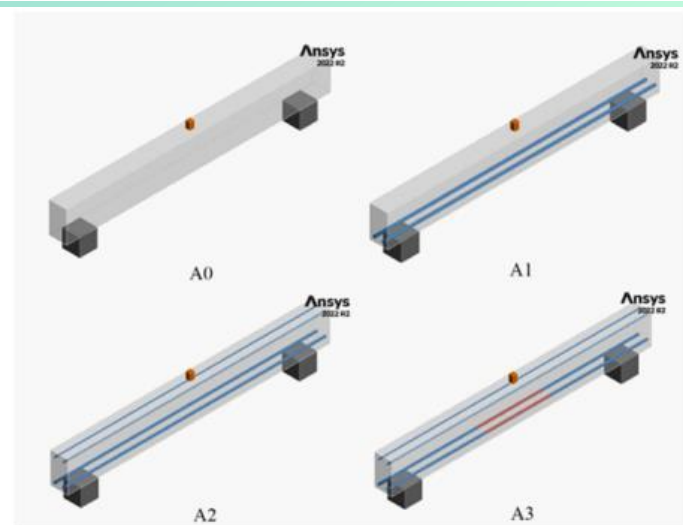
13



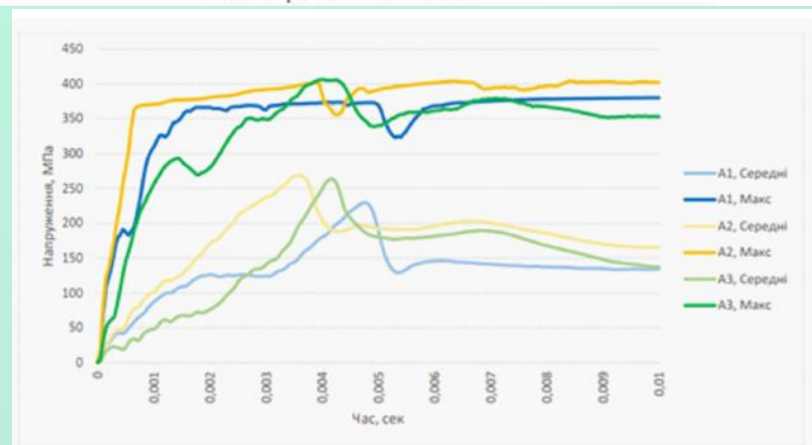
Тиск на поверхні балки А0 від дії вибухового навантаження, МПа



Інтерфейс модуля Explicit Dynamics в ANSYS Mechanical Enterprise 2022 R2



Варіації балки з різними типами армування (А0 – А3), досліджених у роботі [4]



Графік еквівалентних напружень в арматурі зразків А1 – А3, МПа

***СТУДЕНТСЬКИЙ НАУКОВИЙ ГУРТОК
“КОМП’ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА
КОНСТРУЮВАННЯ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД”***

18

Дякуємо за увагу!