

НАЦІОНАЛЬНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ



# ***Звіт***

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

***“Комп’ютерне моделювання та конструювання будівель і споруд”***

***Київ, 2024***

# *СКЛАД НАУКОВОГО ГУРТКА*

1

## **Керівник гуртка:**

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

## **Староста гуртка:**

Студент гр. БЦІ - 2307м(д) Момотюк Д. С.

## **Члени гуртка:**

### **Студенти ОКР «Магістр»:**

Маслига І. О., Бочков М. С., Цуман А. В., Власюк Я.О., Гонтар О.В.,

### **Студенти ОКР «Бакалавр»:**

Карпушин О. О., Кириченко М. В., Ігнатенко І. Ю., Богач Д. В.,  
Майстренко М. М., Головка І. Ю., Олійник Я. В., Трочинський Д. О.,  
Прокопенко А.Б.

# **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. Аналіз застосування високоточних скінченних елементів із додатковими вузлами на сторонах в розрахункових моделях будівель та споруд.*
- 2. Аналіз варіантів моделювання плоских балкових ребристих перекриттів із монолітного залізобетону при розрахунку будівель та споруд методом скінченних елементів.*
- 3. Розрахунок на стійкість проти прогресуючого обвалення із використанням ПК «ЛІРА САПР».*
- 4. Розрахунок захисних будівель та споруд на вибухові впливи.*

# АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ДОДАТКОВИМИ ВУЗЛАМИ НА СТОРОНАХ В РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЯХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

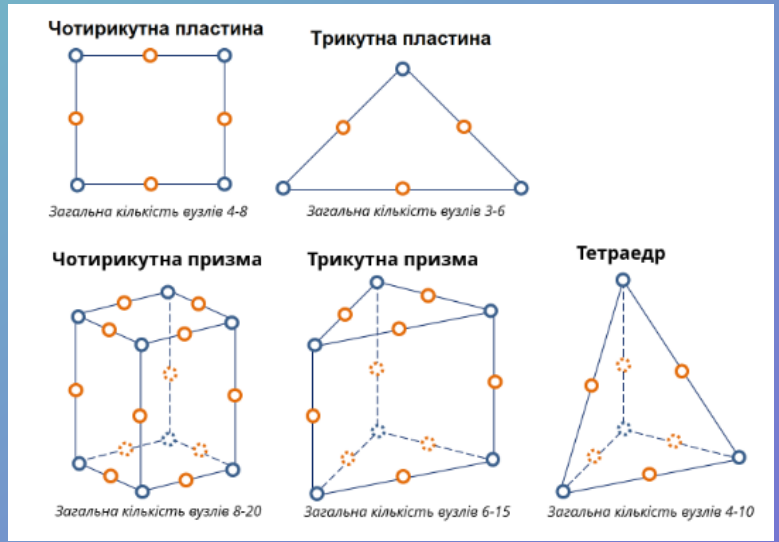


Рис. 1 Типи СЕ з проміжними вузлами

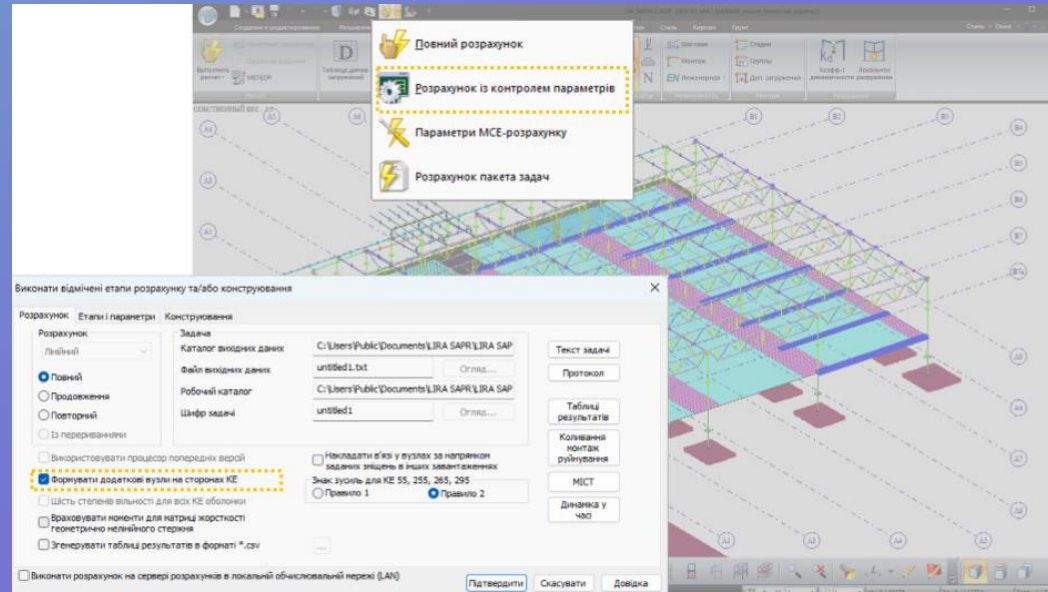


Рис.2 Опція Формувати додаткові вузли на сторонах СЕ

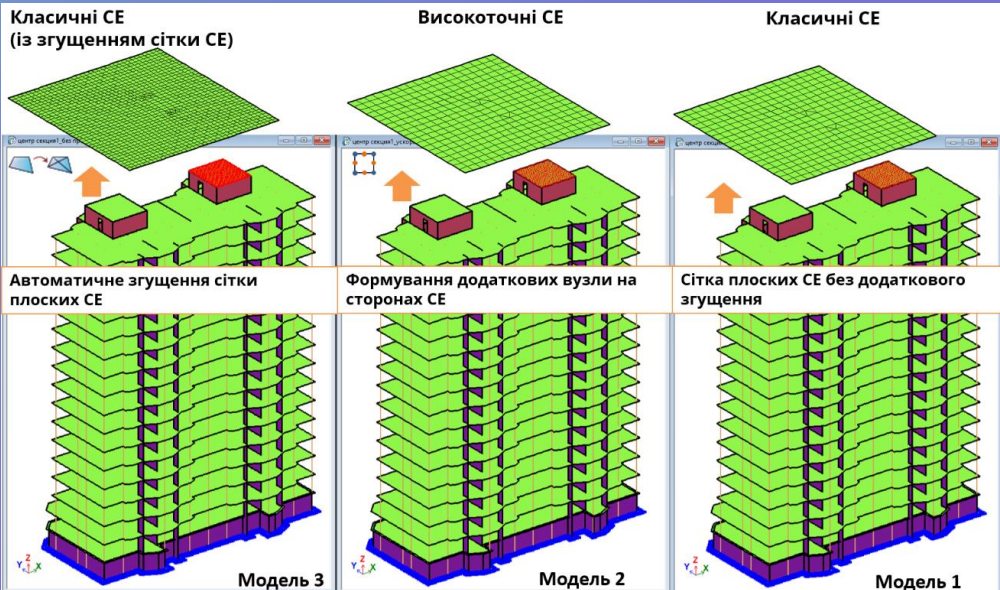


Рис. 3 Порівняння розрахункових моделей:

- класичні СЕ зі згущенням сітки,
- СЕ з додатковими вузлами на сторонах,
- класичні СЕ без згущення сітки.

# АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ДОДАТКОВИМИ ВУЗЛАМИ НА СТОРОНАХ В РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЯХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

5

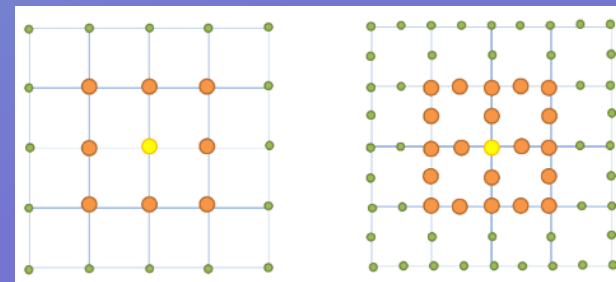
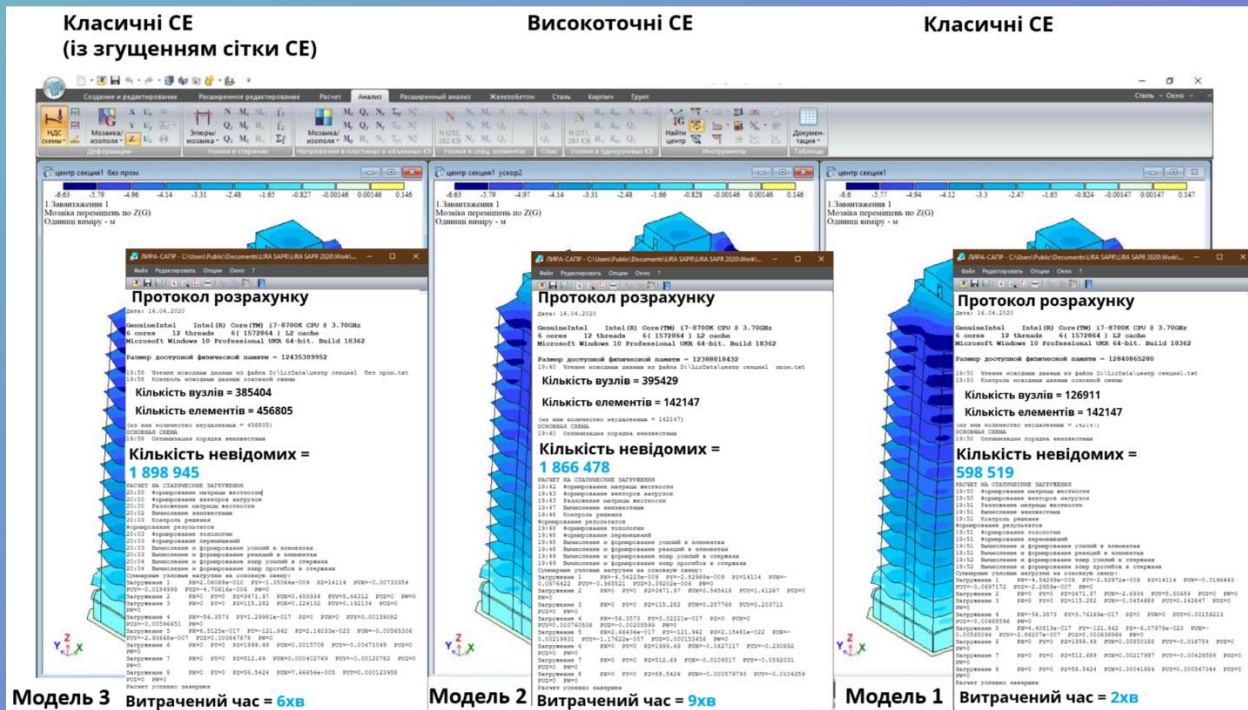


Рис. 6 Включення додаткових вузлів в АЖТ

Рис. 4 Протоколи розрахунку при порівнянні розрахункових моделей

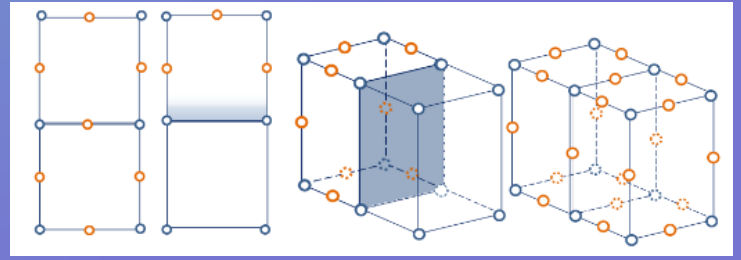


Рис. 5 Автоматична генерація на серединах ребер скінченних елементів додаткових вузлів в випадку прилягання стержнів

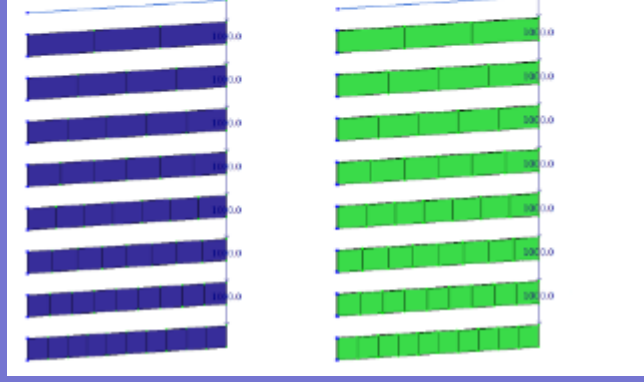
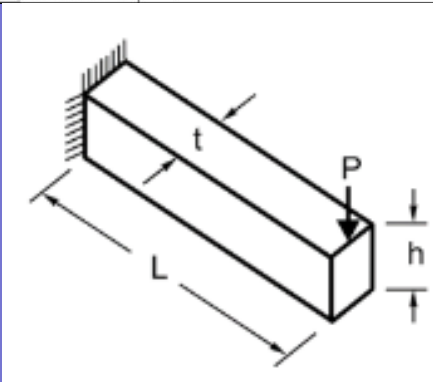


Рис. 7 Визначення деформованого стану консольної балки від впливу зосередженої поперечної сили (вихідні дані)

**Мета:** Визначення деформованого стану консольної балки від впливу зосередженої поперечної сили.  
**Вихідні дані:**  
 E = 3.0 · 10<sup>7</sup> Па-модуль пружності,  
 ν = 0.0 - коефіцієнт Пуассона,  
 L = 10.0 м - довжина балки;  
 t = 0.1 м - ширина поперечного перерізу балки;  
 h = 1.0 м - висота поперечного перерізу балки;  
 P = 1000 Н - значення зосередженої сили

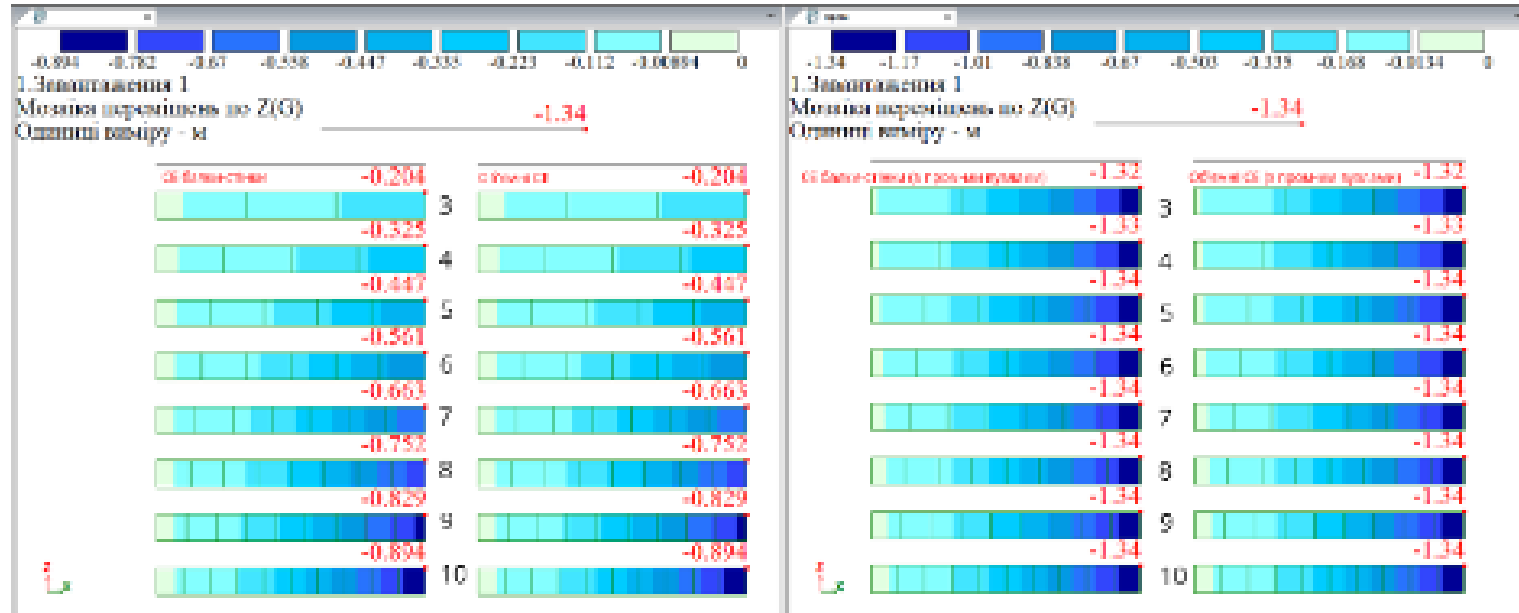
**Аналітичне рішення:**  
 Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В., Довідник з опору матеріалів. - Київ: Наук. думка, 1988, стор. 263.

При аналітичному рішенні переміщення z вільного торця балки з урахуванням впливу поперечного зсуву від дії зосередженої поперечної сили визначається за такою формулою:

$$z = \frac{4 \cdot P \cdot L^3}{5 \cdot E \cdot t \cdot h^3} \left( 1 + \frac{P \cdot (1 + \nu) \cdot h^2}{2 \cdot L^2} \right) = 1,34 \text{ (м)}$$

# АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОТОЧНИХ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ДОДАТКОВИМИ ВУЗЛАМИ НА СТОРОНАХ В РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЯХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

6



Шукана величина	SE сітка з розмірами	Тип SE (прямокутний SE плоскої задачі (Балка-Стіна), чотирикутна (Проста))	Аналітичне рішення	Результати розрахунку (ГІРА-САПР власні SE)	Похибка (власні SE), %	Результати розрахунку (ГІРА-САПР високоточні SE)	Похибка (високоточні SE), %
Прогини Мілі, м	1x3	25,36	1,34	0,504	64,776	1,32	1,4825
	1x4	25,36	1,34	0,325	75,746	1,34	0
	1x5	25,36	1,34	0,447	66,542	1,34	0
	1x6	25,36	1,34	0,561	58,134	1,34	0
	1x7	25,36	1,34	0,663	50,522	1,34	0
	1x8	25,36	1,34	0,752	43,581	1,34	0
	1x9	25,36	1,34	0,829	38,134	1,34	0
	1x10	25,36	1,34	0,894	33,264	1,34	0

Рис. 8 Визначення деформованого стану консольної балки від впливу зосередженої поперечної сили (результати розрахунків, переміщення)

# АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОСКИХ БАЛКОВИХ РЕБРИСТИХ ПЕРЕКРИТТІВ ІЗ МОНОЛИТНОГО ЗАЛІЗОБЕТОНУ ПРИ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД МСЕ

7

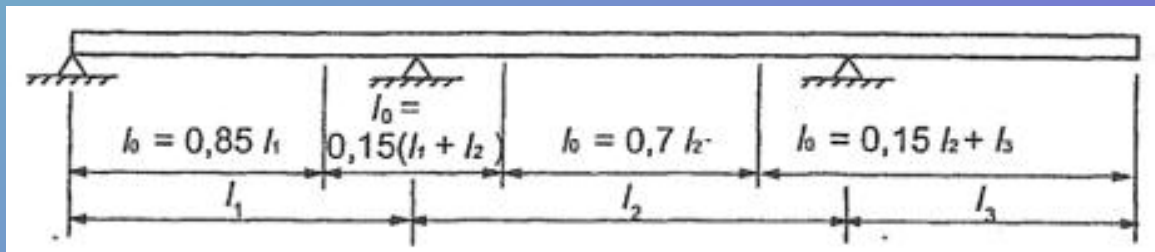


Рис. 9 Визначення  $l_0$  для обчислення ефективної ширини звису

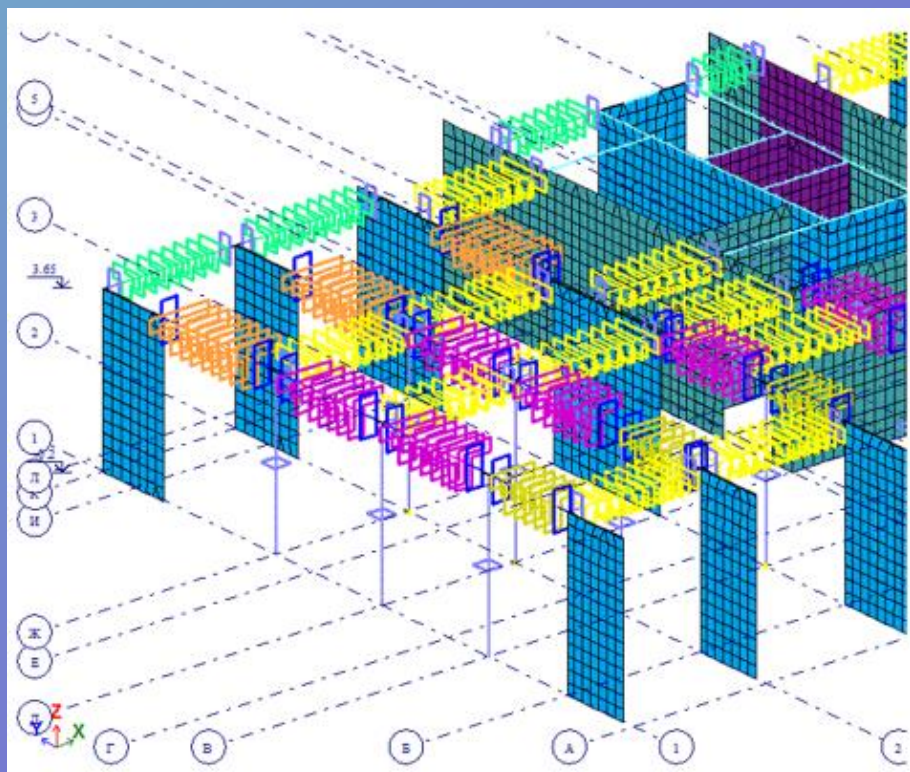


Рис. 10 Переріз монолітних балок (з урахуванням роботи ребра як тавра) в аксонометрії

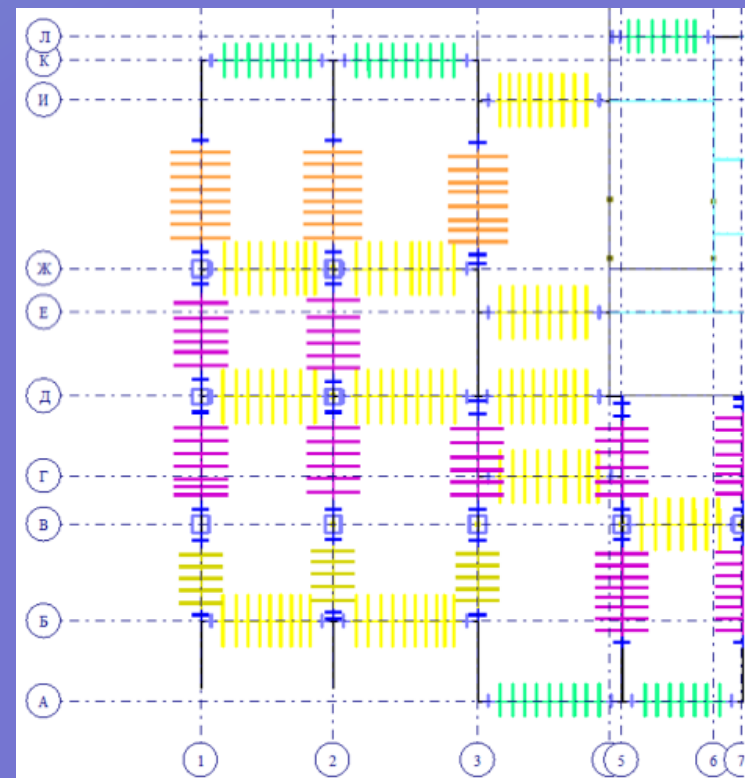


Рис. 11 Переріз монолітних балок (з урахуванням роботи ребра як тавра) на плані



# АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОСКИХ БАЛКОВИХ РЕБРИСТИХ ПЕРЕКРИТТІВ ІЗ МОНОЛИТНОГО ЗАЛІЗОБЕТОНУ ПРИ РОЗРАХУНКУ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД МСЕ

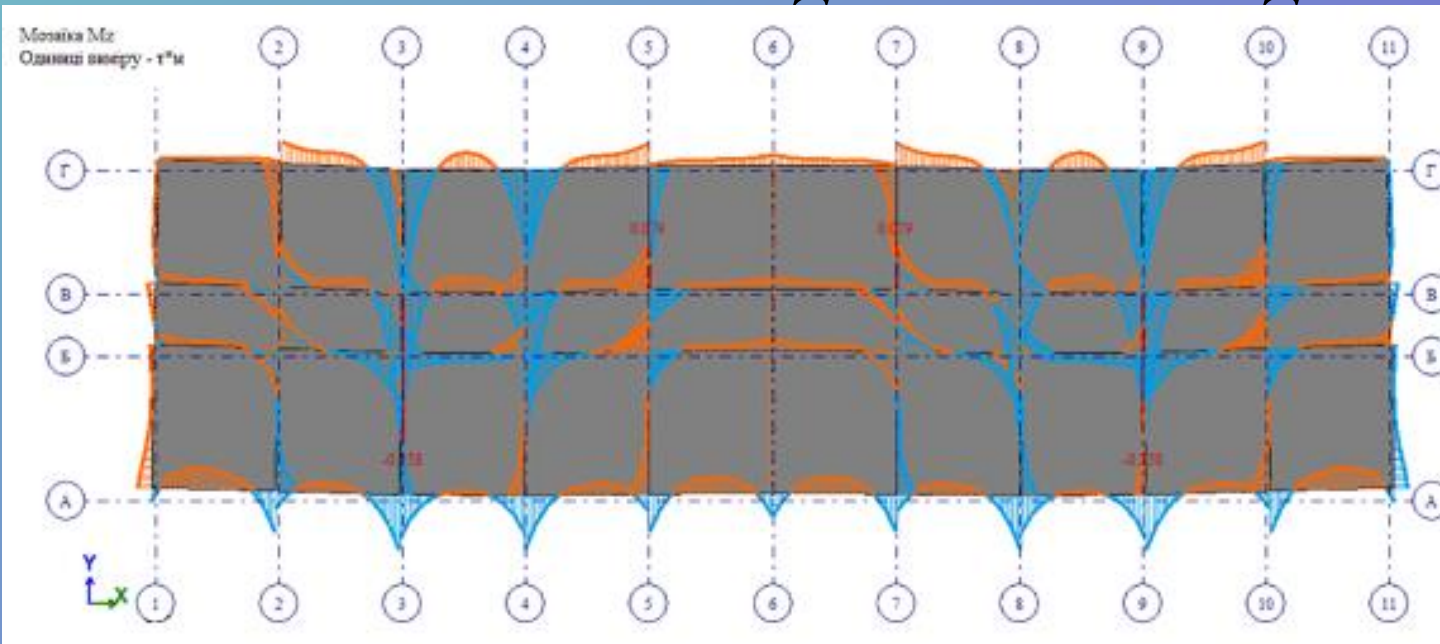
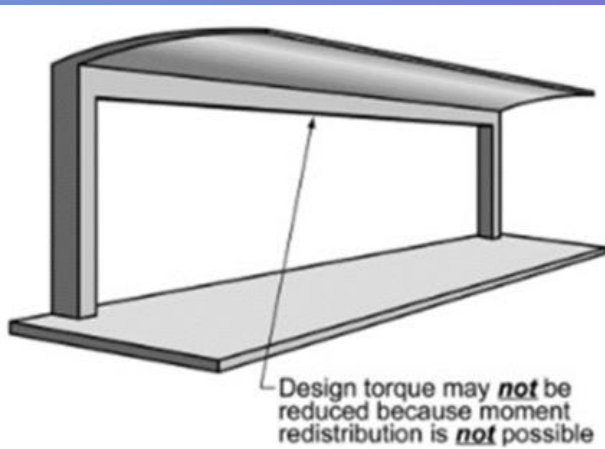
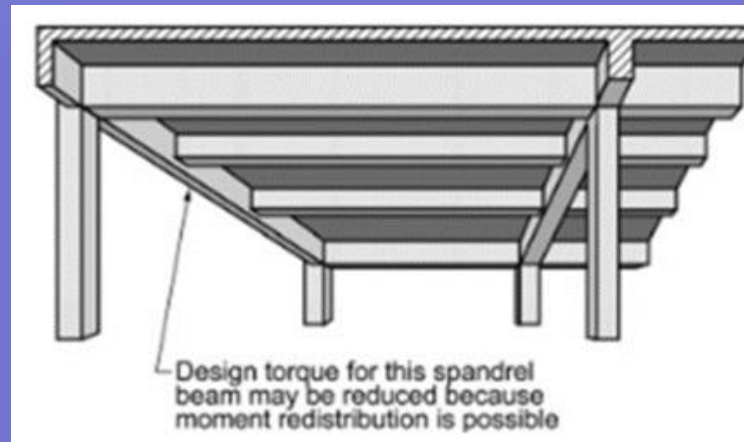


Рис. 12 Епюра  $M_z$  у балках таврового перерізу від згину диска перекриття у горизонтальній площині



а)



б)

Рис. 13 Фрагмент перекладу норм EN (для Республіки Казахстан):

а) несна здатність конструкції залежить від несної здатності балки на кручення;  
 б) несна здатність конструкції в цілому не залежить від несної здатності на кручення балок перекриття.

# РОЗРАХУНОК НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПК «ЛІРА САПР»

9

Англія, 1968 р.

Обвалення фасаду великопанельного будинку Ronan Point



Ситуація стала поштовхом до виникнення теми прогресуючого обвалення. Конструктивна схема будівлі не мала властивість багатозв'язності.

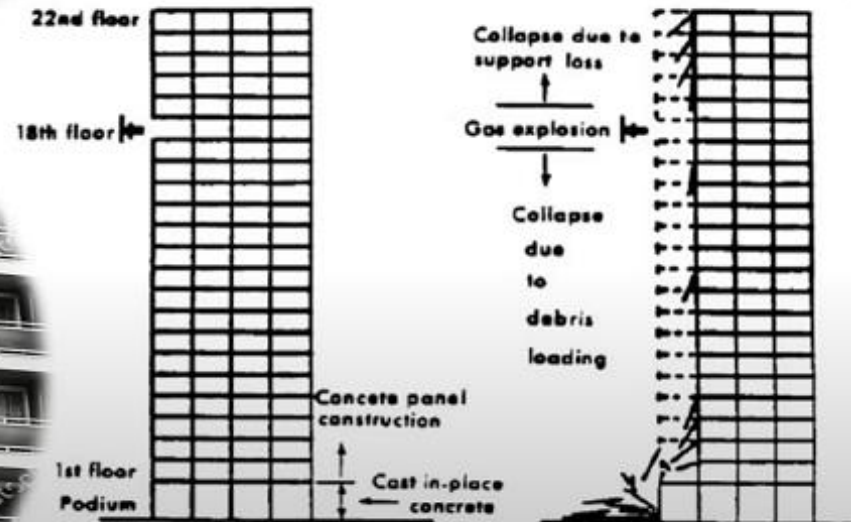


Рис. 14 Приклад руйнування нового багатоповерхового житлового будинку “Ronan Point” внаслідок прогресуючого обвалення (причина – вибух газу в одній із квартир) у 1968 році в Англії

# РОЗРАХУНОК НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПК «ЛІРА САПР»

# 10

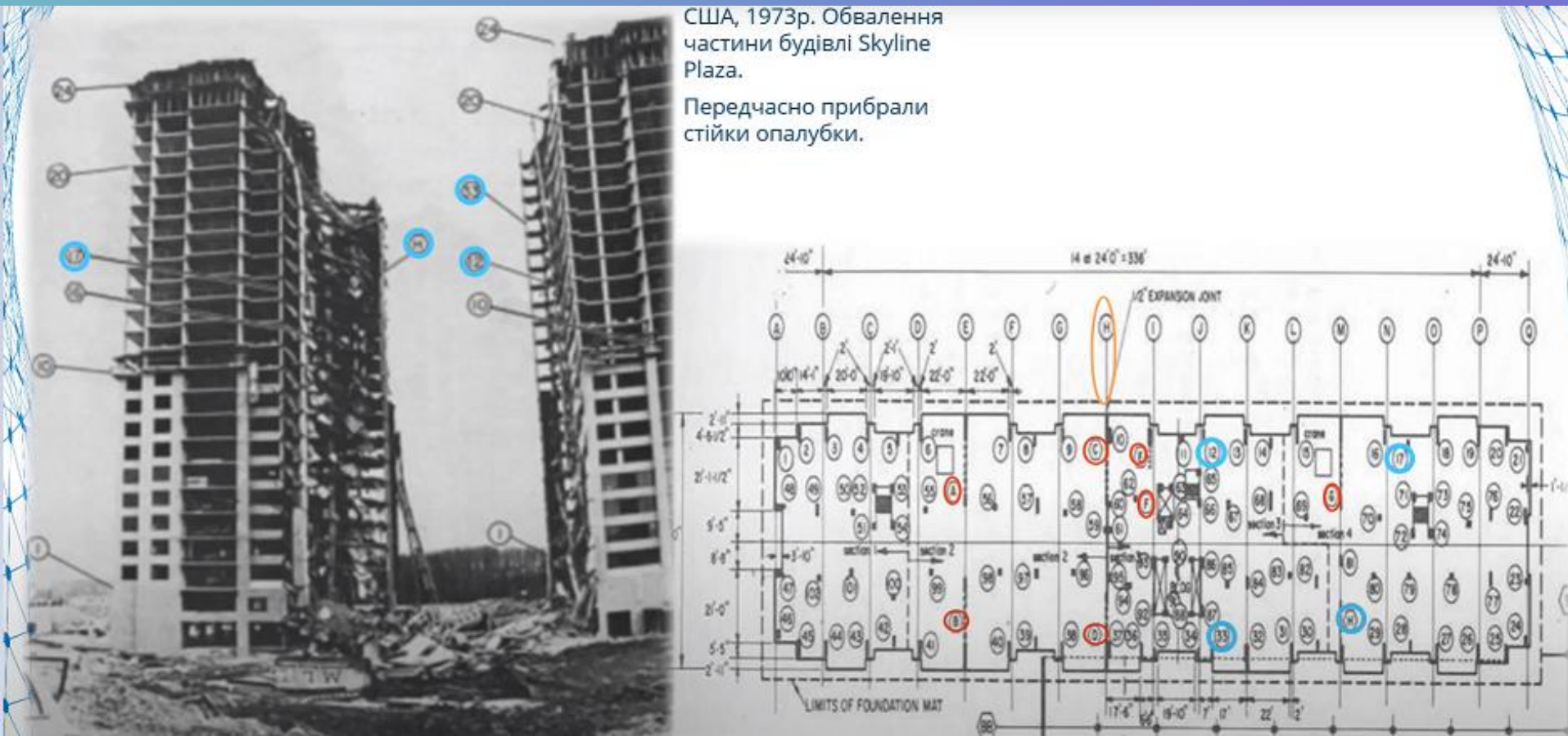


Рис. 15 Приклад руйнування частини багатопверхового житлового будинку “Skyline Plaza” внаслідок прогресуючого обвалення на стадії монтажу у 1973 році в США

# РОЗРАХУНОК НА СТИЙКІСТЬ ПРОТИ ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПК «ЛІРА САПР»

11



США, 1987 р.

Руйнування L'Ambiance Plaza.

Обвалення кількох перекриттів будівлі, які монтувалися методом підйому перекриттів та поверхів

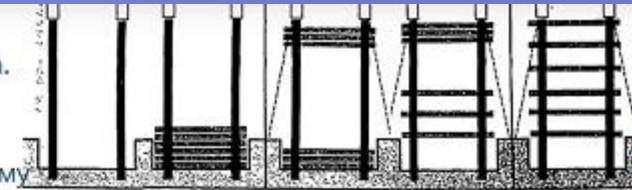


Fig. 1 A typical 18-in. slab placed on a formwork and supported by a steel deck. The concrete is cast in place. The steel deck is then removed. Fig. 2 The slabs are then poured one at a time. The slabs are supported by the steel deck. Fig. 3 In a two-story, some of the slabs are cast in place. The slabs are supported by the steel deck. Fig. 4 The upper slab is cast in place. The slabs are supported by the steel deck. Fig. 5 The top slabs are cast in place. The slabs are supported by the steel deck.

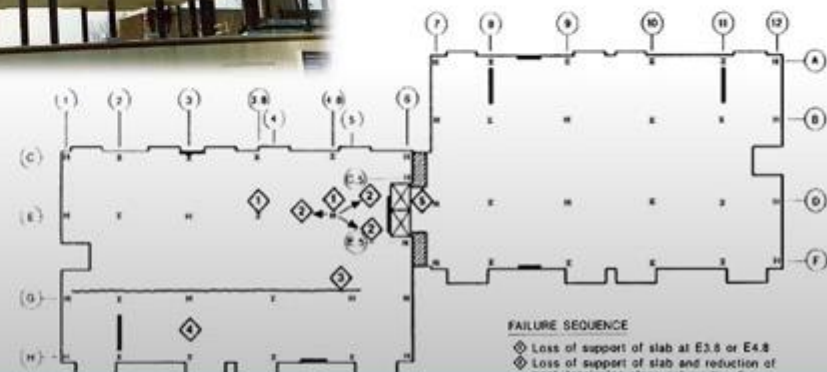
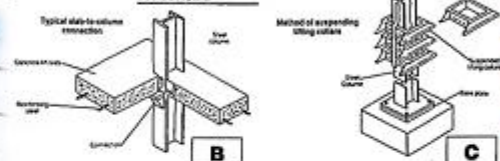
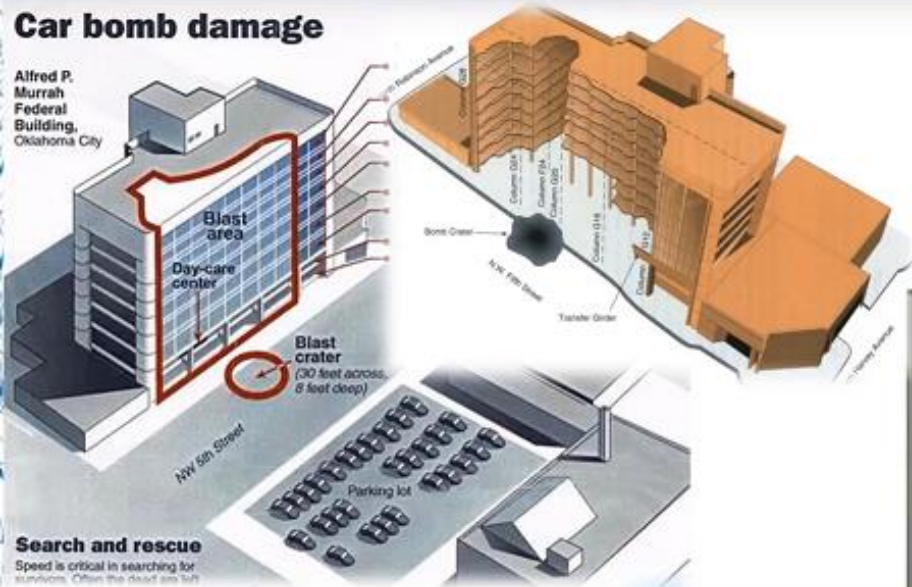


Рис. 16 Приклад руйнування частини багатоповерхового житлового будинку “L'Ambiance Plaza” внаслідок прогресуючого обвалення на стадії монтажу у 1987 році в США

**Car bomb damage**

Alfred P. Murrah Federal Building, Oklahoma City



**Оклахома, США, 1995 г.  
Murrah Office Building.**

Обвалення від теракту  
федеральної будівлі



Рис. 17 Приклад руйнування багатоповерхової офісної будівлі “Murrah Office Building” внаслідок теракту у 1995 році в США

# РОЗРАХУНОК НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПК «ЛІРА САІР»

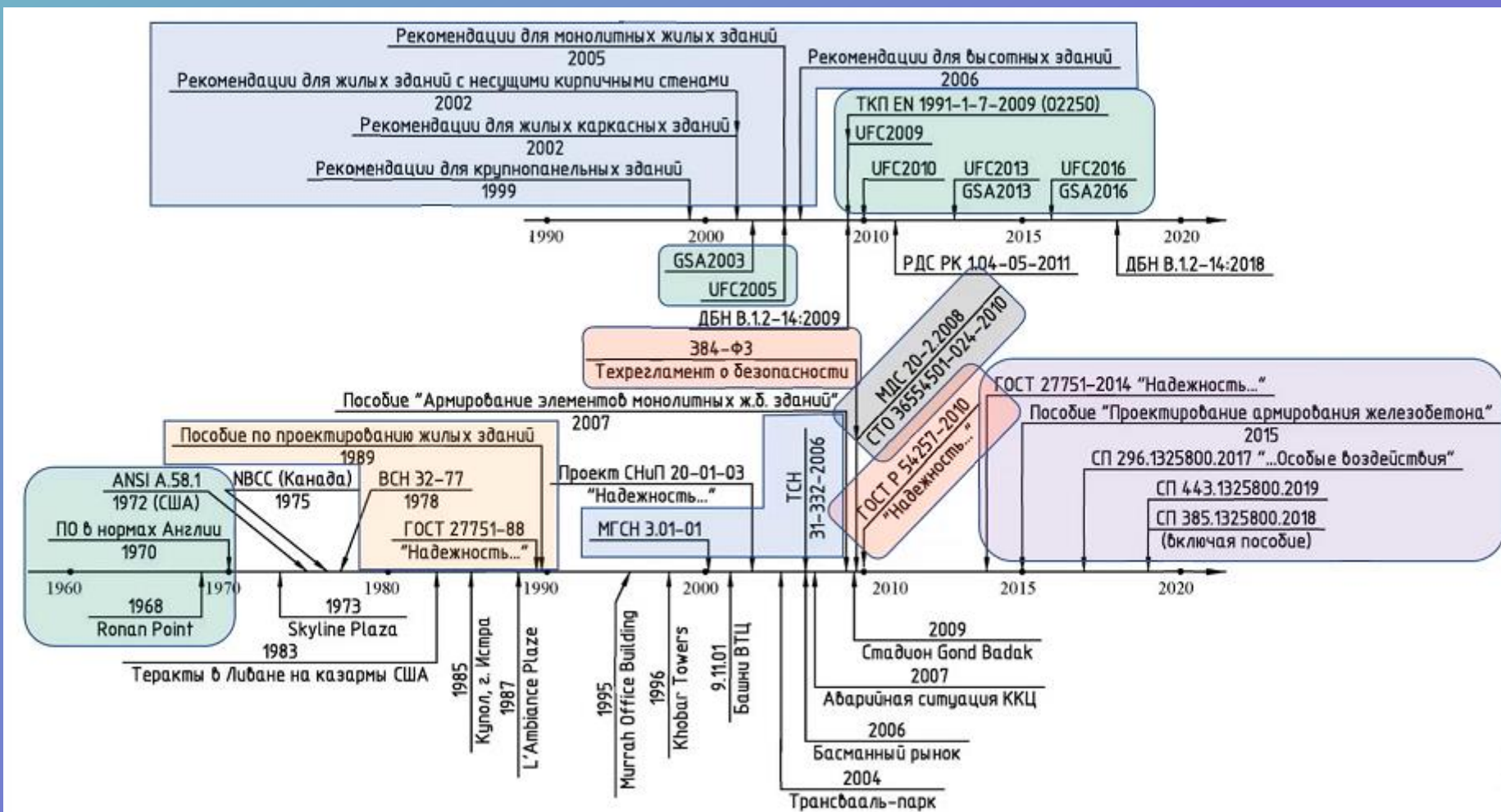


Рис. 18 Нормативна база, присвячена темі розрахунків стійкості будівель та споруд внаслідок прогресуючого обвалення

# РОЗРАХУНОК НА СТІЙКІСТЬ ПРОТИ ПРОГРЕСУЮЧОГО ОБВАЛЕННЯ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПК «ЛІРА САПР»

# 14

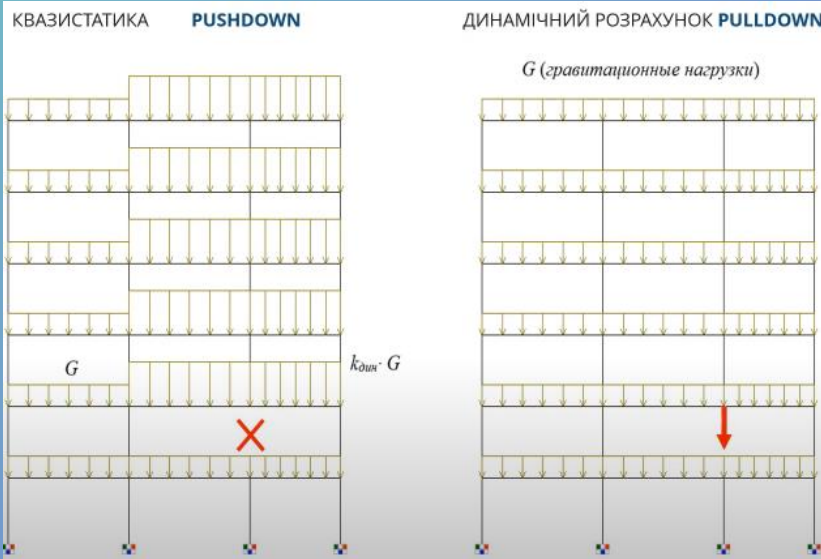


Рис. 19 Підходи щодо розрахунків стійкості будівель проти прогресуючого обвалення

## Вимоги до розрахункових моделей

1. Розрахункова модель, розрахункова схема і метод розрахунку визначаються кожному разі індивідуально, і залежить від виду (характеру) проектних рішень споруди та вихідних даних для проектування.  
**Слід враховувати: просторову роботу, геометричну, фізичну (пластичність, повзучість та ін.), генетичну (послідовність зведення) та інші види нелінійності.**
2. Для розрахунку споруд захисту проти прогресуючого обвалення слід використовувати **просторову розрахункову модель, в якій враховується взаємодія з ґрунтовою основою.**
3. У розрахунковій моделі доцільно **враховувати** включення в роботу елементів, які при нормальній експлуатації споруди є **нетримальними**.
4. Під час розрахунку захисту споруд проти прогресуючого обвалення слід передбачати можливість поетапного розрахунку.
5. У розрахунковій моделі споруди слід враховувати реальну діаграму роботи матеріалу конструкцій та їх стиків
6. Для розрахунку на захист від прогресуючого обвалення слід використовувати квазістатичний чи динамічний метод.
7. При великих прогинах **перекриттів** слід розглядати їхню роботу як роботу **елементів висячої системи**.

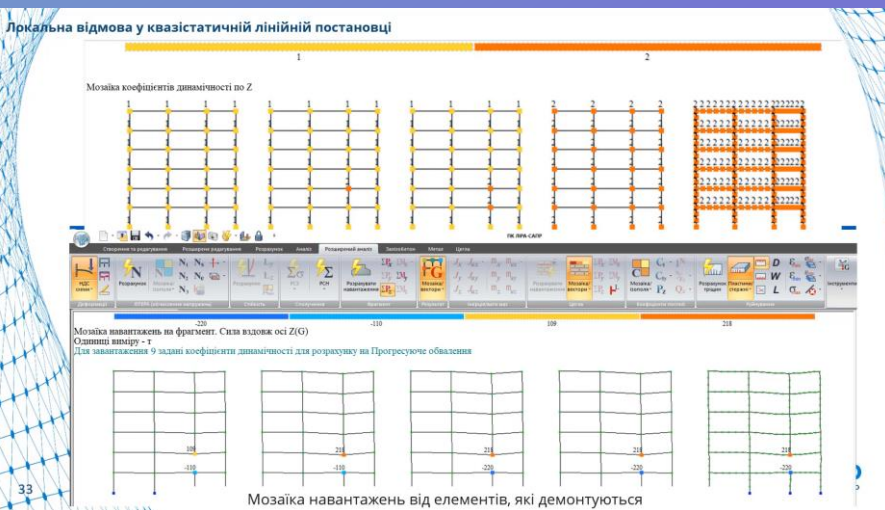


Рис. 20 Приклад квазістатичного розрахунку при локальній відмові елемента у лінійні постановці

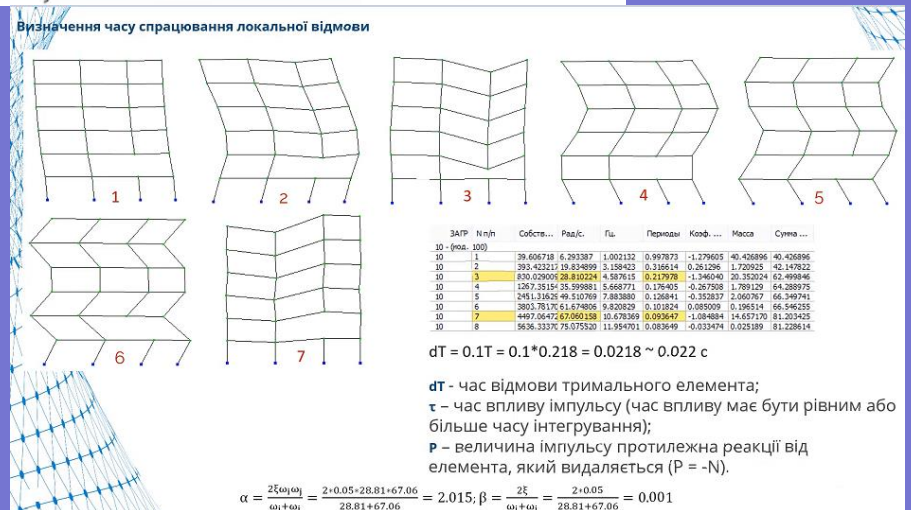


Рис. 21 Визначення часу спрацювання локальної відмови

# РОЗРАХУНОК ЗАХИСНИХ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД НА ВИБУХОВІ ВПЛИВИ

# 15

## Ключові загрози



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



Рис. 22 Ключові загрози для захисних споруд об'єктів критичної інфраструктури

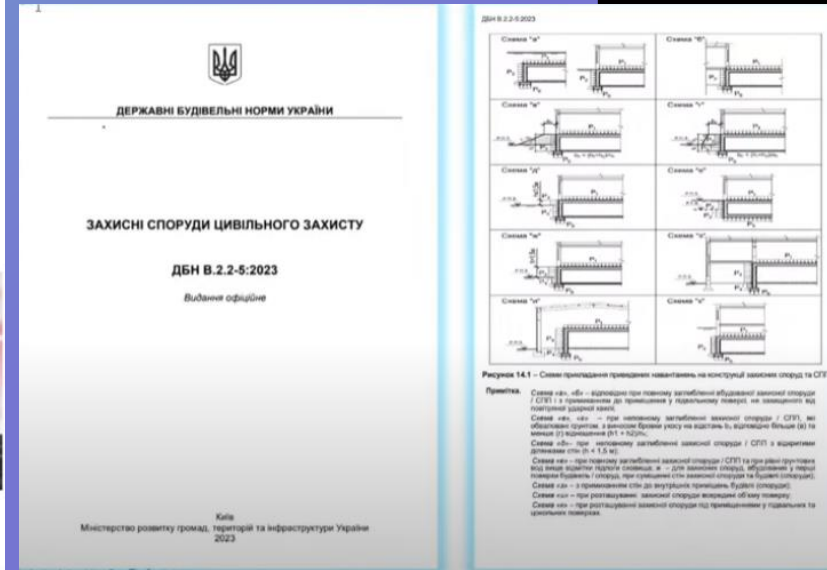


Рис. 23 Нормативний документ, який регламентує розрахунок захисних споруд

## ПРОЕКТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАГРОЗИ

Шахід 136	
Маса (кг)	200
Маса в момент удару (кг)	170
Довжина (мм)	3500
Маса боєголовки (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 боєголовки ( $\text{кг/м}^3$ )	2800
Форма носу боєголовки	овальна

X-22	
Маса (кг)	5780
Маса в момент удару (кг)	2500
Довжина (мм)	11650
Маса боєголовки (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 боєголовки ( $\text{кг/м}^3$ )	4500
Форма носу боєголовки	овальна

Рис. 24 Проектні характеристики загроз при розрахунку захисних споруд

## Визначення величини тиску та величини імпульсу

### Шахед 136

Explosive Type: TNT

Charge Weight (kg): 35

Range (m): 10

Calculate Blast Parameters

TNT Weight for Pressure (kg):	35.00	TNT Weight for Impulse (kg):	35.00
Incident Pressure (kPa):	111.18	Incident Impulse (kPa-ms):	298.36
Reflected Pressure (kPa):	314.59	Reflected Impulse (kPa-ms):	717.74
Time of Arrival (ms):	11.98	Positive Phase Duration (ms):	9.40
Shock Front Velocity (m/s):	474.67		

### X-22

Explosive Type: TNT

Charge Weight (kg): 900

Range (m): 10

Calculate Blast Parameters

TNT Weight for Pressure (kg):	900.00	TNT Weight for Impulse (kg):	900.00
Incident Pressure (kPa):	1259.12	Incident Impulse (kPa-ms):	2254.54
Reflected Pressure (kPa):	7404.27	Reflected Impulse (kPa-ms):	8148.79
Time of Arrival (ms):	4.81	Positive Phase Duration (ms):	25.99
Shock Front Velocity (m/s):	1155.99		

Рис. 25 Визначення величин імпульсу та тиску від загроз, розрахованих за допомогою інженерних калькуляторів, представлених на сайті ООН



## Моделювання впливу в ПК ЛІРА САПР

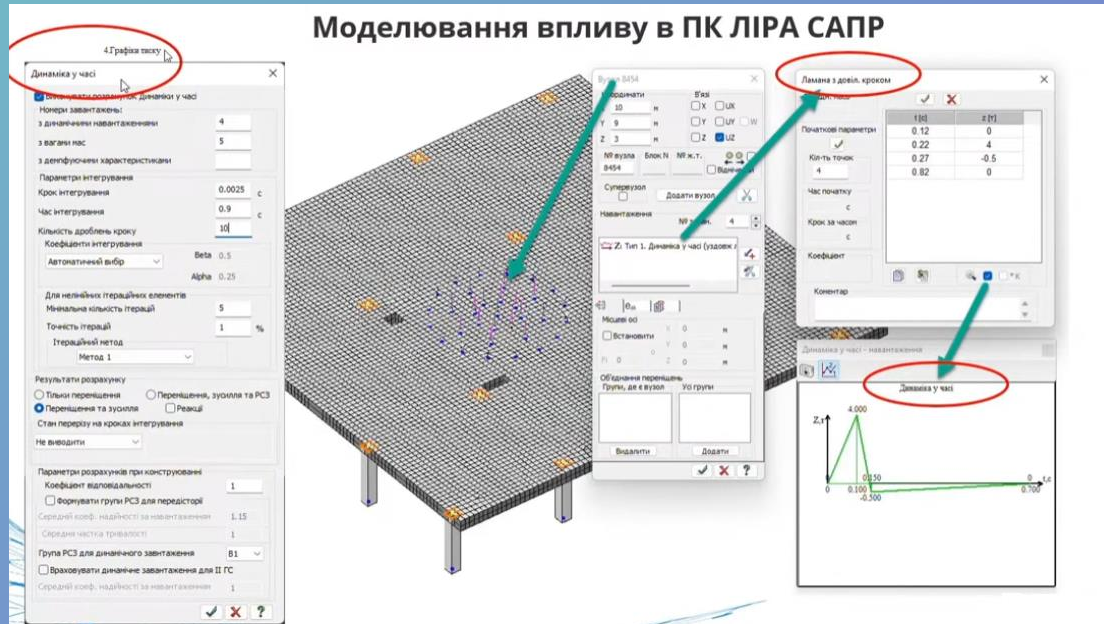


Рис. 26 Навантаження від вибуху, прикладене на ділянку захисної споруди

Рис. 25 Моделювання впливу вибуху на захисну споруду в ПК «ЛІРА САПР»

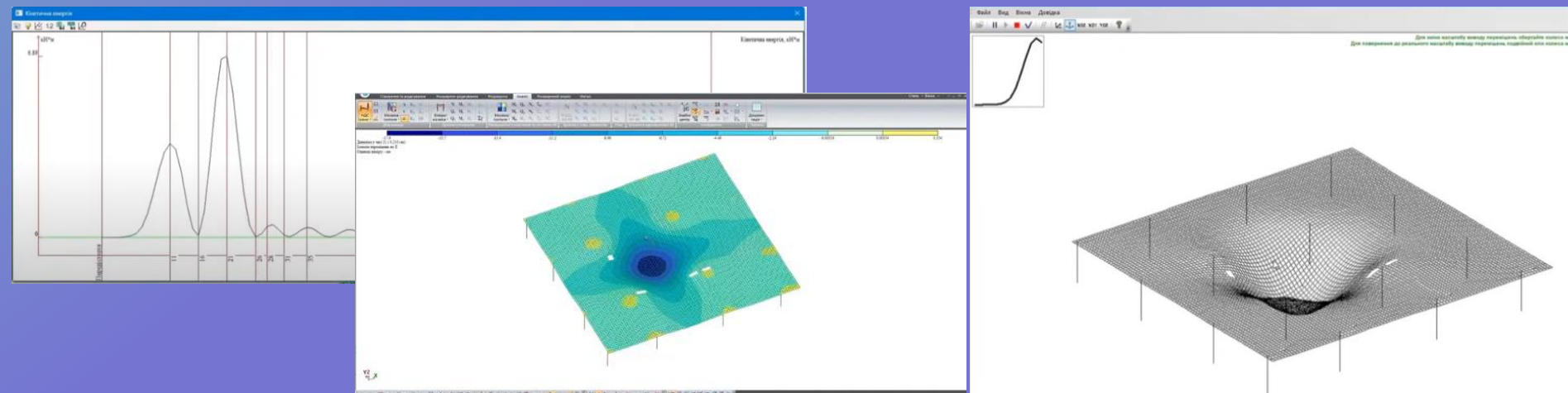


Рис. 27 Результати розрахунку захисної споруди в ПК «ЛІРА САПР»

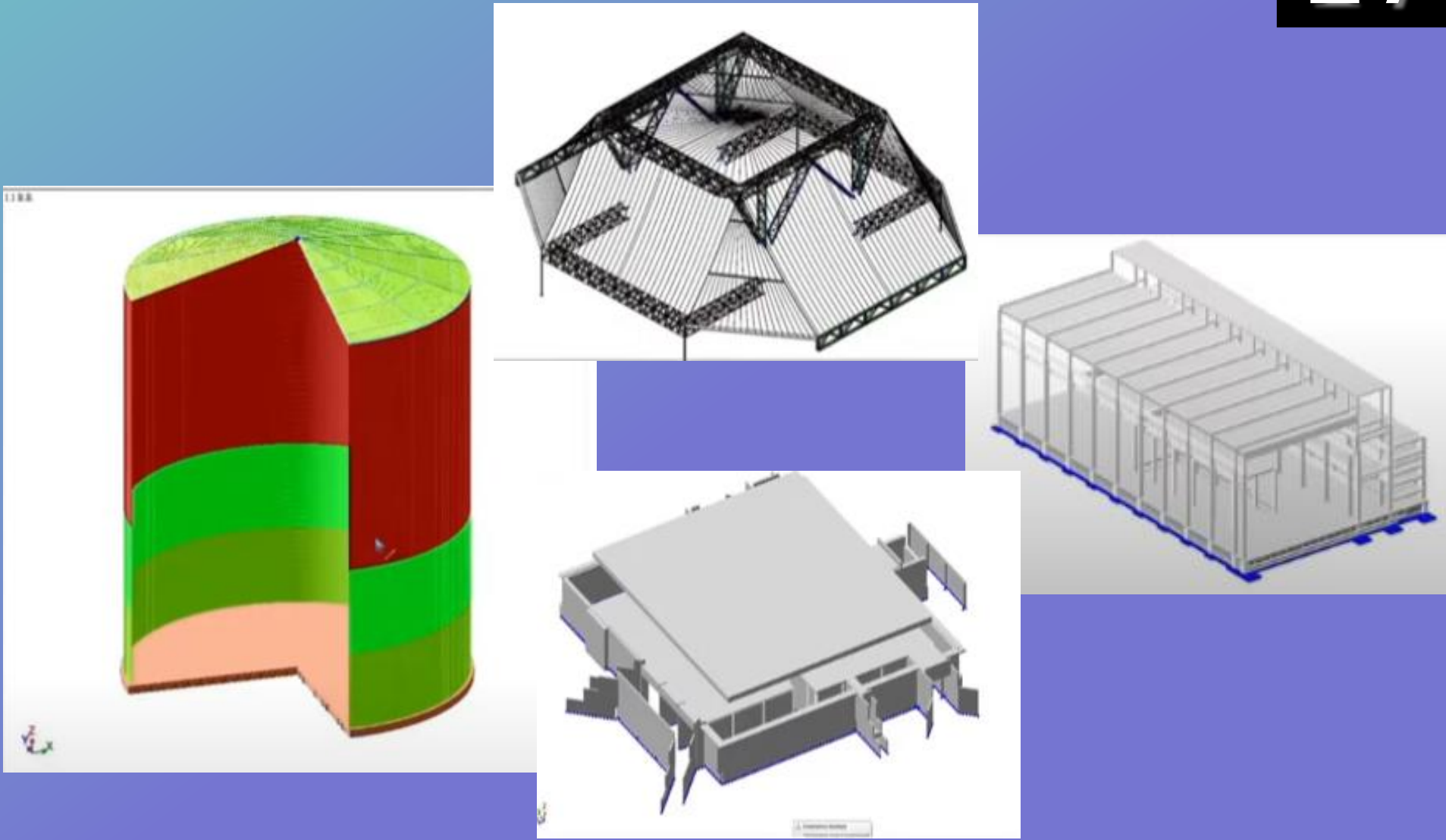


Рис. 28 Об'єкти, розраховані із урахуванням впливу вибуху в ПК «ЛІРА САПР»

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

**18**

**Дякуємо за увагу!**