

# **Конструктивні заходи підвищення сейсмостійкості багатоповерхових житлово-громадських каркасно- монолітних будівель**

Вінницький національний технічний університет

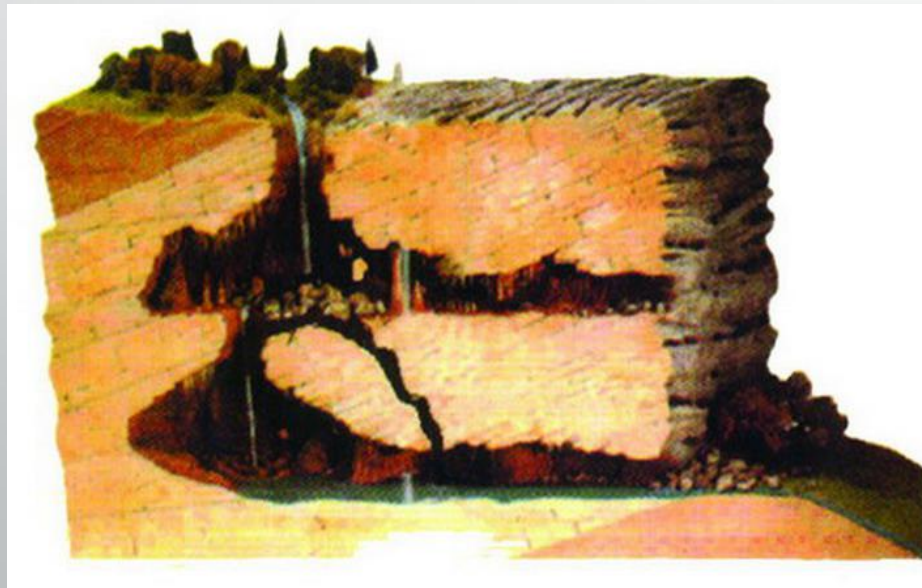
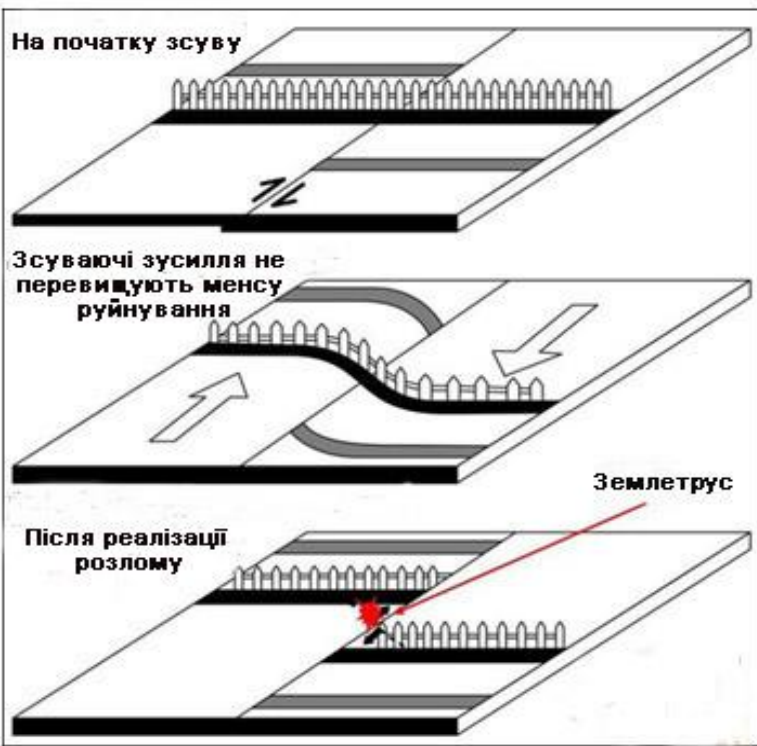
# ЗЕМЛЕТРУС

це - короткотривалі, раптові струси земної кори, викликані різними можливими причинами і як наслідок виникнення сейсмічних хвиль.

Залежно від причин і місця виникнення, землетруси поділяються на:

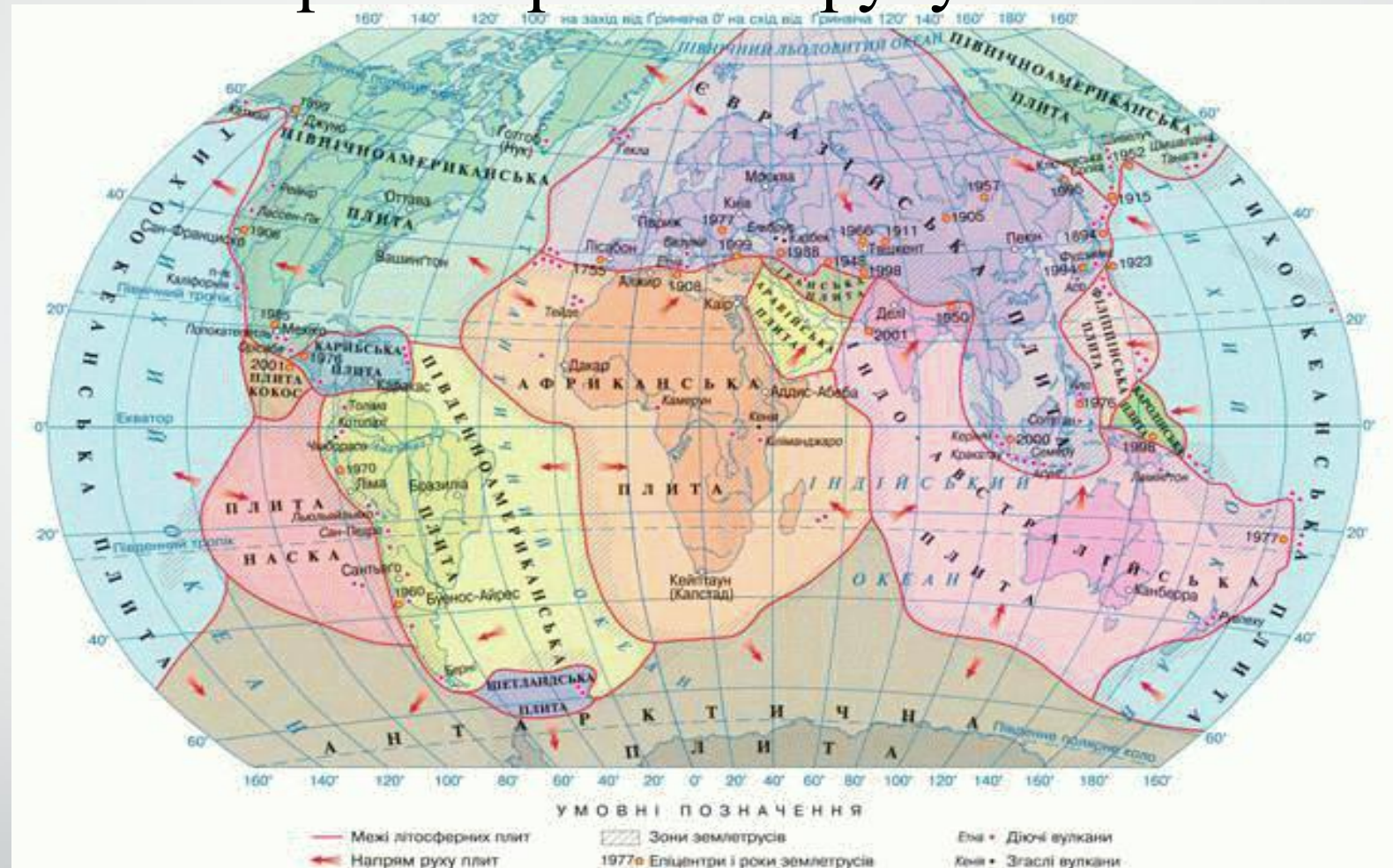
- Тектонічні;
- Вулканічні;
- Техногенні.

В даний час дуже важливо знати основні причини і наслідки, терміни щодо землетрусів, оскільки близько 40 відсотків населення живе в зонах сейсмічного руху та відповідно небезпеки.



# Назва, габарити та конфігурація літосферних плит та ймовірні напрямки їх руху

Масивні тектонічні плити розташовані, як шматочки головоломки в глибині землі. Коли плита мігрує по одній з ліній розломів, по їх межі контакту то на поверхні планети відбувається раптовий розрив, який ми відчуваємо як землетрус.



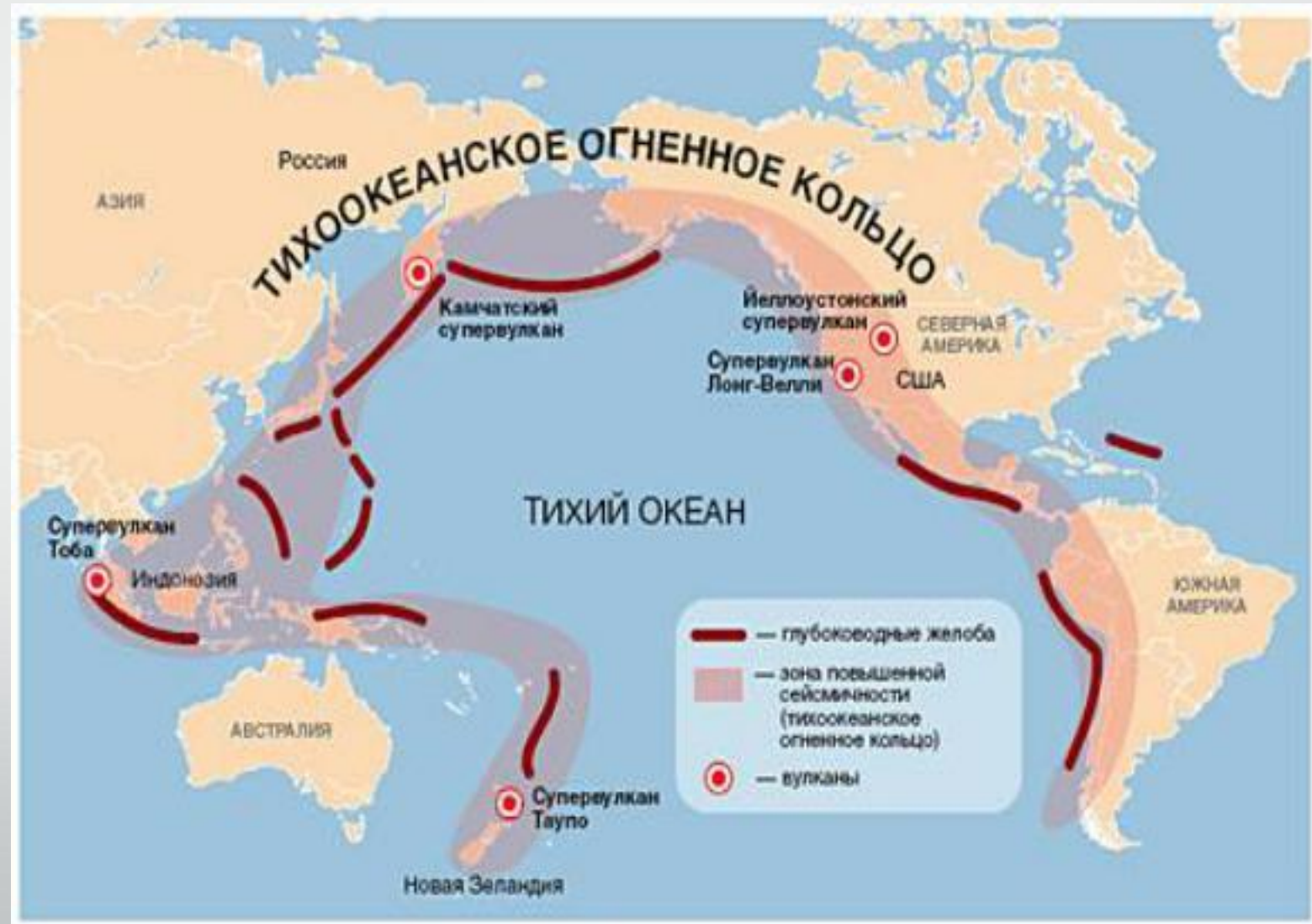
# Тектонічні землетруси

Більшість осередків землетрусів виникає в земній корі на глибині 30-40 км під поверхнею Землі. Найбільш активні зони щодо землетрусів - Тихоокеанський пояс, що проходить уздовж майже всього узбережжя Тихого океану

## Тихоокеанське вогняне кільце ( Тихоокеанський сейсмічний пояс)

452 ВУЛКАНА

75% УСІХ ВУЛКАНІВ ПЛАНЕТИ

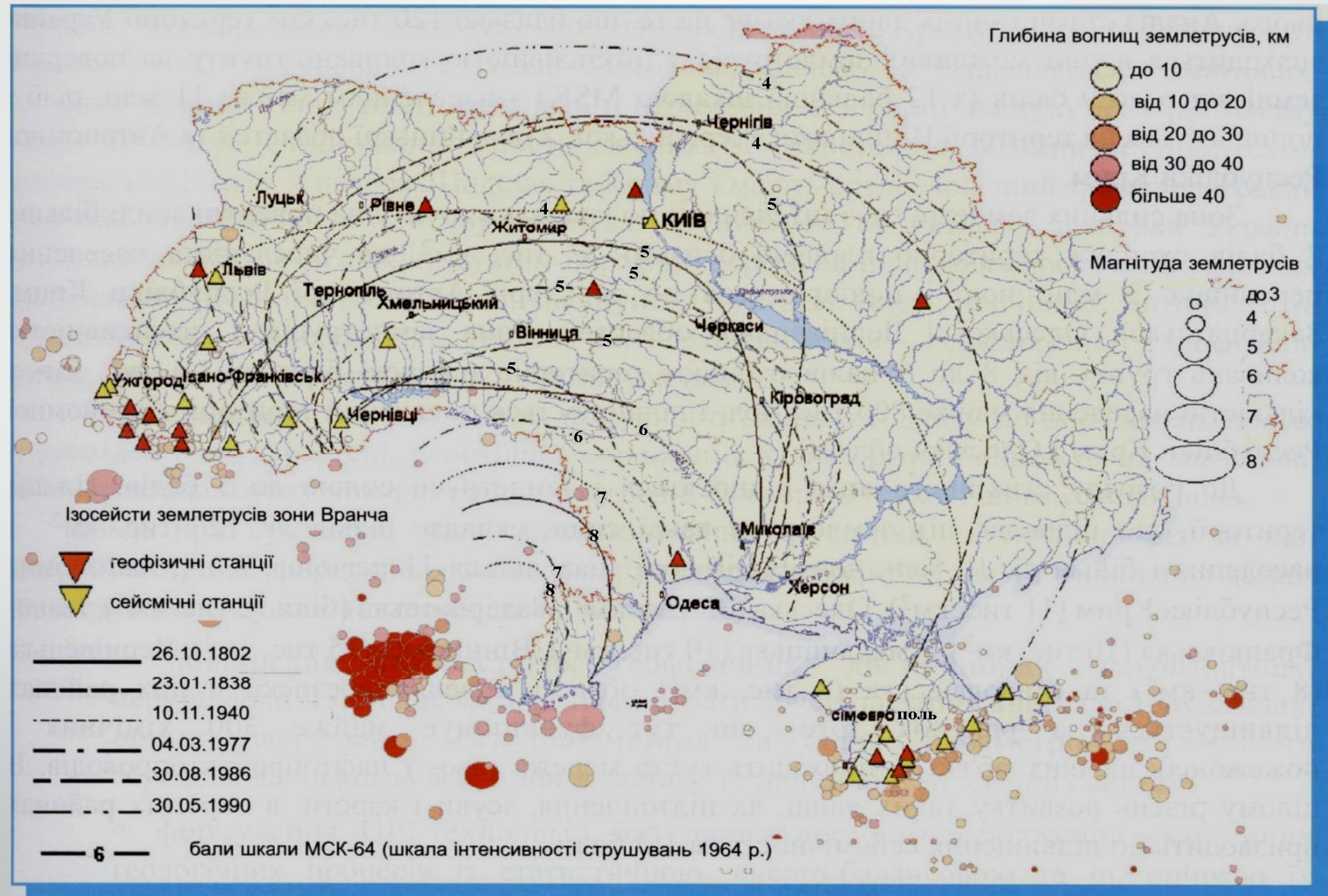






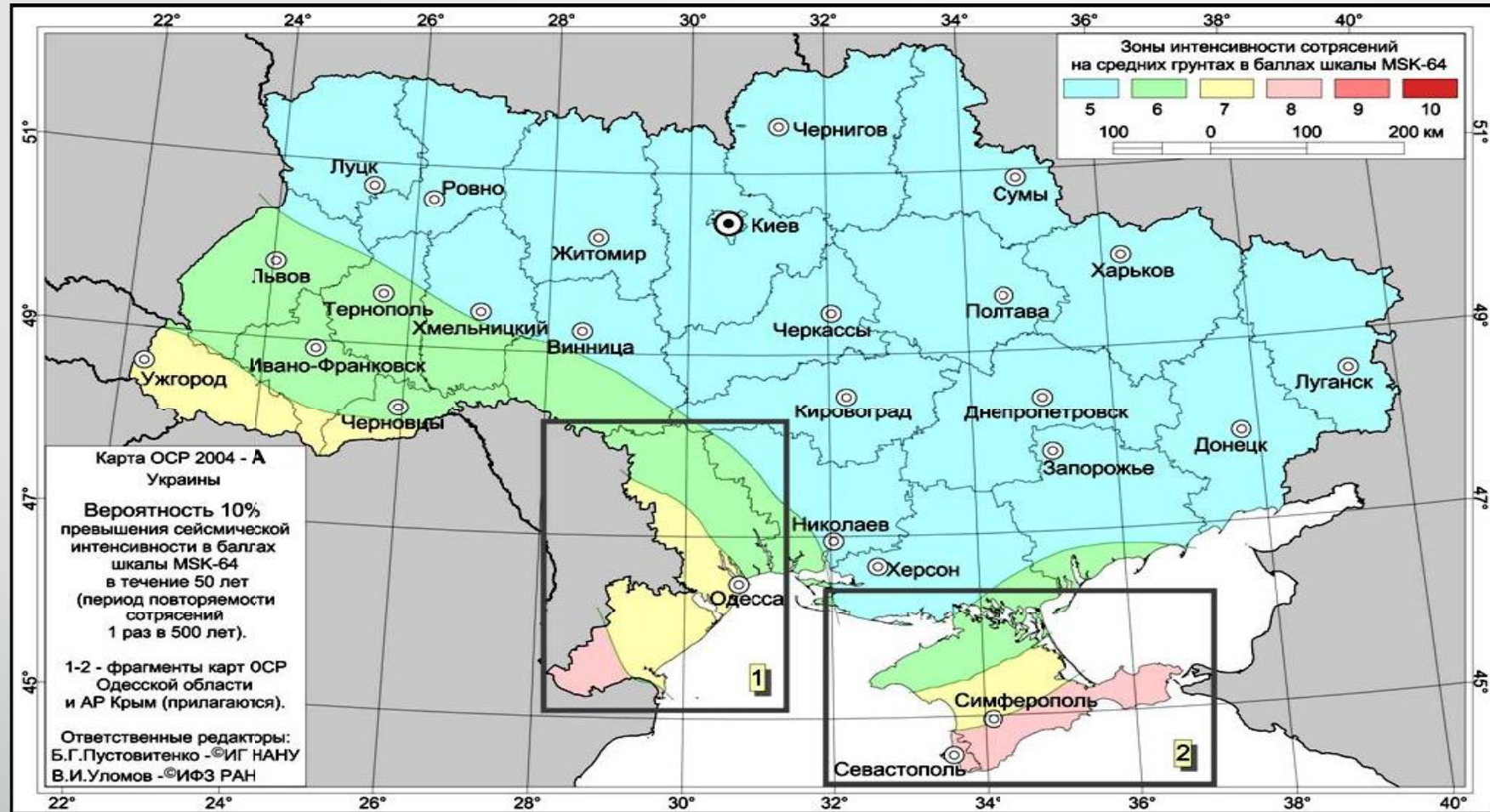
# Сейсмічна небезпека в Україні

З о н и  
в и н и к н е н н я  
с ей с м і ч н и х  
п о д і й н а  
т е р и т о р і ї  
У к р а ї н и



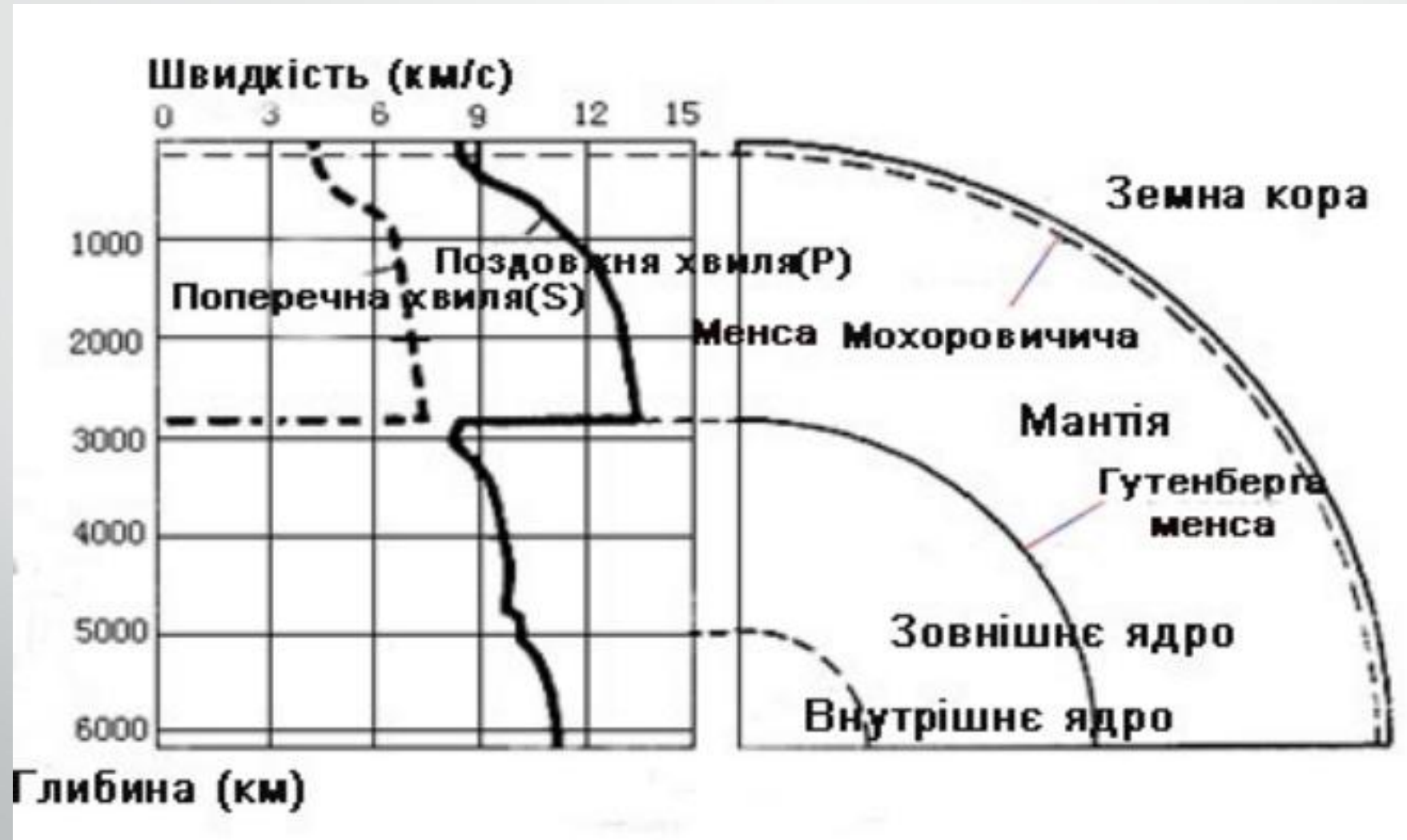


# Сейсмічна небезпека в Україні

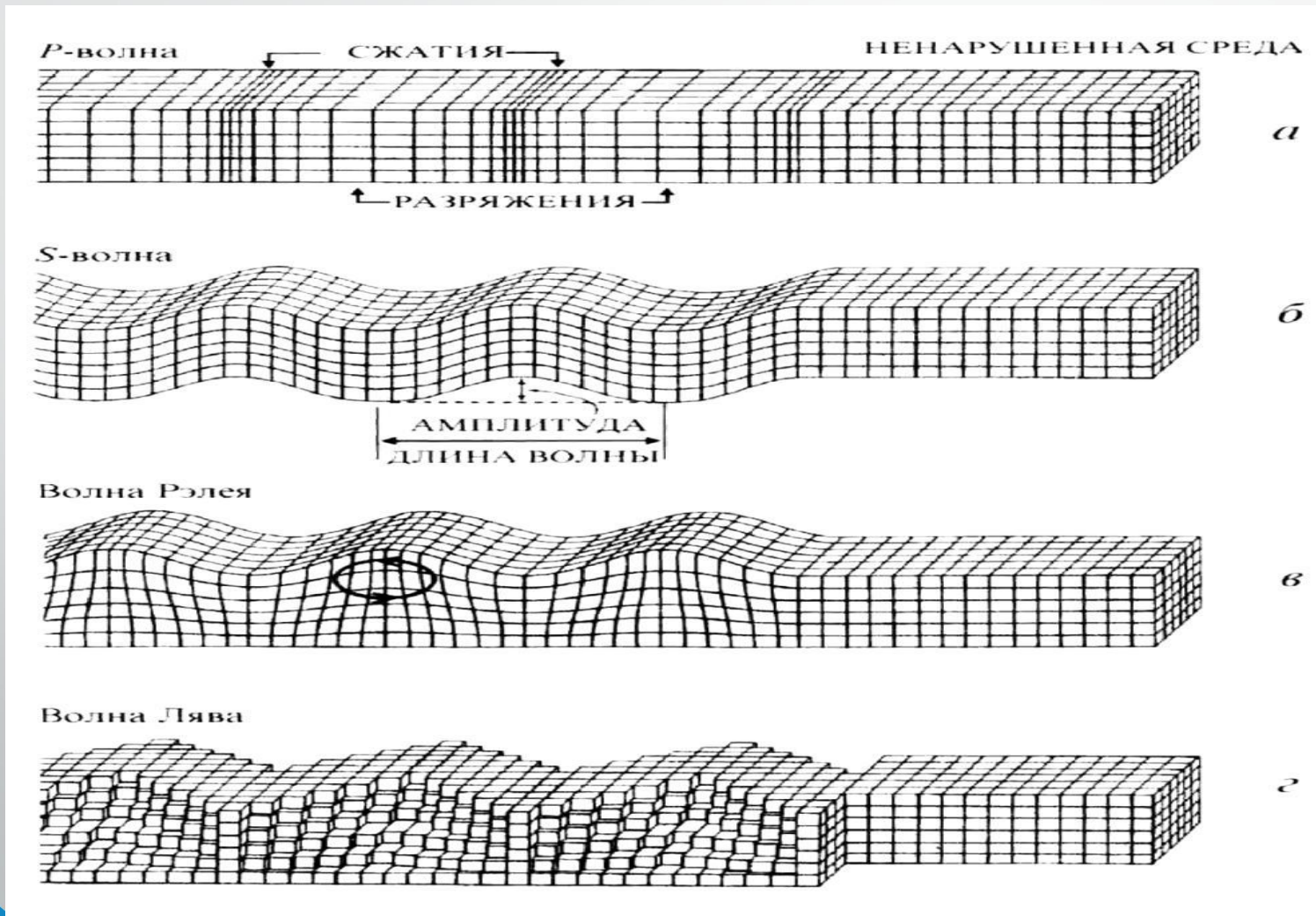


Карта загального сейсмічного районування території України ЗСР 2004 А

# Об'ємні сейсмічні хвилі і поширення їх в внутрішній структурі Землі

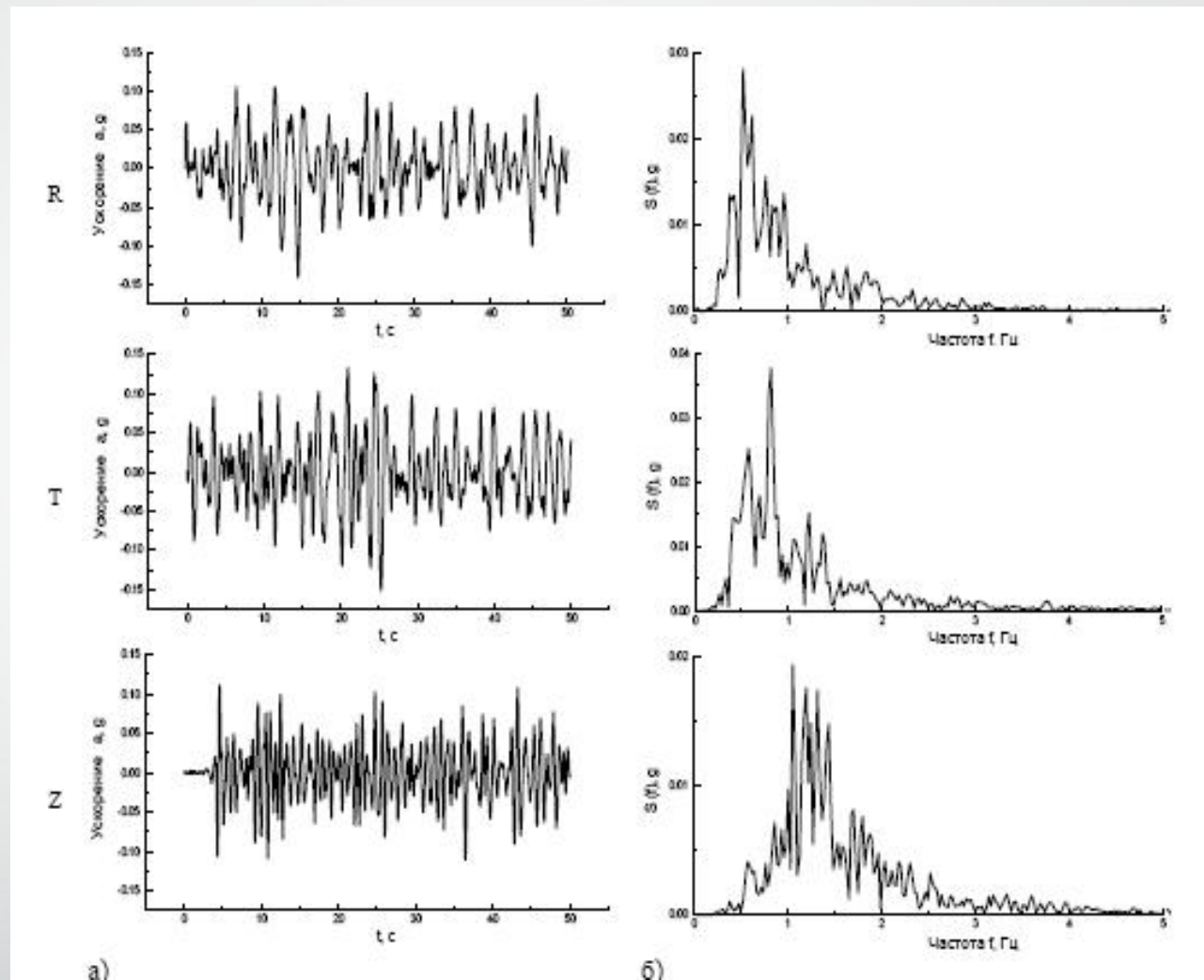


# Коливальні рухи ґрунту при розповсюдженні сейсмічних хвиль



Характер зміщення ґрунту для різних типів сейсмічних хвиль

Графіки (а) та спектри реакції  
(б) трикомпонентної  
розрахункової  
акселерограми vb8 із  
комплекту,  
рекомендованого ДБН  
В.1.1-12 [1]:  
зверху вниз - радіальна (R),  
тангенціальна (T) та  
вертикальна (Z) складові



## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Застосування сейсмосахисту регламентовано європейськими і національними нормативними документами:

- EN 1998-1: 2004 Eurocode 8;
- ДБН В.1.1-12: 2014 «Будівництво в сейсмічних районах України».

ДБН В.1.1-12:2014 року, що передбачає проектування сейсмостійких конструкцій із заданим рівнем забезпечення безпеки, включає в себе розділ «Проектування систем сейсмоізоляції»

Сейсмоізоляція є одним з ефективних засобів сейсмосахисту будівель, яка інтенсивно розвивається після руйнівного землетрусу в Кобе (Японія, 1995 г.) у багатьох країнах - Китай, США, Нова Зеландія, Італія, Росія.

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

**Сейсмічний захист** - підвищення сейсмостійкості будівель та споруд з використанням спеціальних конструктивних елементів і/або пристроїв для здатності протистояти розрахунковому сейсмічному впливу без повного руйнування і з мінімальними людськими жертвами.

**Сейсмічний захист дозволяє:**

- забезпечити збереження будівель і споруд при землетрусах і техногенних впливах;
- знизити кошторисну вартість будівництва;
- зменшити матеріаломісткість будівель і споруд;
- знизити трудомісткість будівництва;
- розширити сферу застосування типових серій шляхом забудови районів з підвищеною сейсмічністю, збільшення висоти будівлі при використанні тих же конструкцій.



**Традиційні методи сейсмозахисту** передбачають:

- планувальні рішення будівель слід приймати простої конфігурації, симетричними в плані;
- зниження маси конструкцій і елементів;
- збільшення міцності використовуваних матеріалів і жорсткості конструкцій;
- додаткове армування стін, вузлів сполучення елементів;
- попереднє напруження несучих конструкцій.

У разі інтенсивних сейсмічних впливів (8 балів і вище) традиційні методи можуть виявитися надмірно витратними, а в деяких випадках - і недостатніми.

**Спеціальні методи сейсмозахисту** передбачають використання конструктивних систем, пристроїв і елементів, що служать для зниження сейсмічної реакції будівельного об'єкта і забезпечують йому необхідну сейсмостійкість.

При цьому розрізняють активні і пасивні системи сейсмозахисту.

Пасивні системи не вимагають додаткових джерел енергії для включення в роботу і забезпечення гасіння коливань.

**Комбіновані методи** передбачають спільне використання традиційних і спеціальних методів сейсмозахисту.



# МЕТОДИ СЕЙСМОЗАХИСТУ

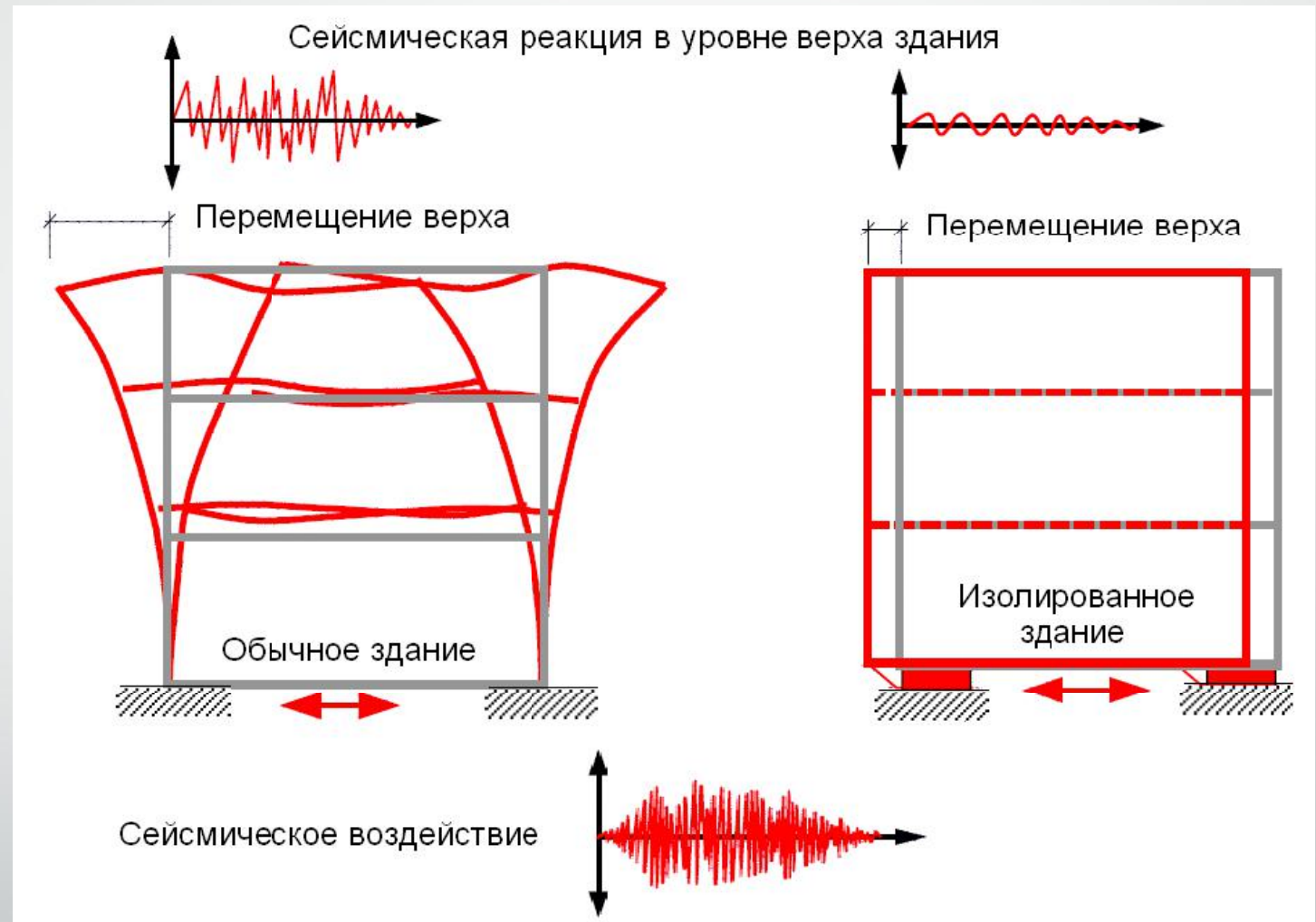


Мавзолей Кіра (Пасаргади, Іран) - найдавніша сейсмоізолювана споруда в світі (6 століття до н.е.). Будівля мерії (Лос-Анджелес, США) - висотою 138 м (1928 р).

В обох випадках верхня будова відокремлена від основи сейсмоізолюючим шаром: в першому випадку - сумішшю піску і попелу, у другому - гумовими подушками.

# ПОВЕДІНКА КОНСТРУКЦІЙ СЕЙСМОІЗОЛЬОВАНИХ БУДІВЕЛЬ

Пасивні системи сейсмічної ізоляції забезпечують більшу стійкість будівлі, які розсіюють сейсмічну енергію через великі металеві та гумові пластини



# СТАЦІОНАРНІ СИСТЕМИ ПАСИВНОЇ СЕЙСМОІЗОЛЯЦІЇ

## Гумовометалеві опори



Загальний вигляд гумово сейсмоізолюючих опор (ГМСО)

Гумовометалева опора для сейсмічної ізоляції об'єкта складається з багатошарової вулканізованої гуми і сталевих пластин.

Для поліпшення демпфуючих властивостей в якості матеріалу сердечника використовується свинець.

ГМСО зі свинцевим сердечником комплексно виконує три функції: сприйняття вертикального навантаження, горизонтальну піддатливість і Гістерезисне затухання.

## АДАПТИВНІ СИСТЕМИ ПАСИВНОЇ СЕЙСМОІЗОЛЯЦІЇ

### СИСТЕМИ ОДНОСТОРОННІХ ТАКИХ, ЩО ВИКЛЮЧАЮТЬСЯ ЧИ ВКЛЮЧАЮТЬСЯ ЗВ'ЯЗКІВ,



Які можуть бути розташовані між елементами каркасу і діафрагмами жорсткості нижнього поверху або двох поверхів будівлі, призначені для зміни його динамічних характеристик після перевищення певного «порогового» зусилля в конструкціях або з'єднаннях.

За рахунок збільшення періодів власних коливань будівель відбувається їх «переналаштування з віднесенням» від максимальних амплітуд коливань ґрунту, і зусилля в конструкціях різко знижуються, запобігаючи пошкодженням.

В якості зв'язків застосовуються як спеціальні резервні елементи, так і окремі несучі конструкції.

Зв'язки, що вимикаються після руйнування, вимагають заміни або відновлення.

Система з в'язевими панелями, що виключаються при періодах сейсмічного впливу, близьких до періоду власних коливань будівлі.

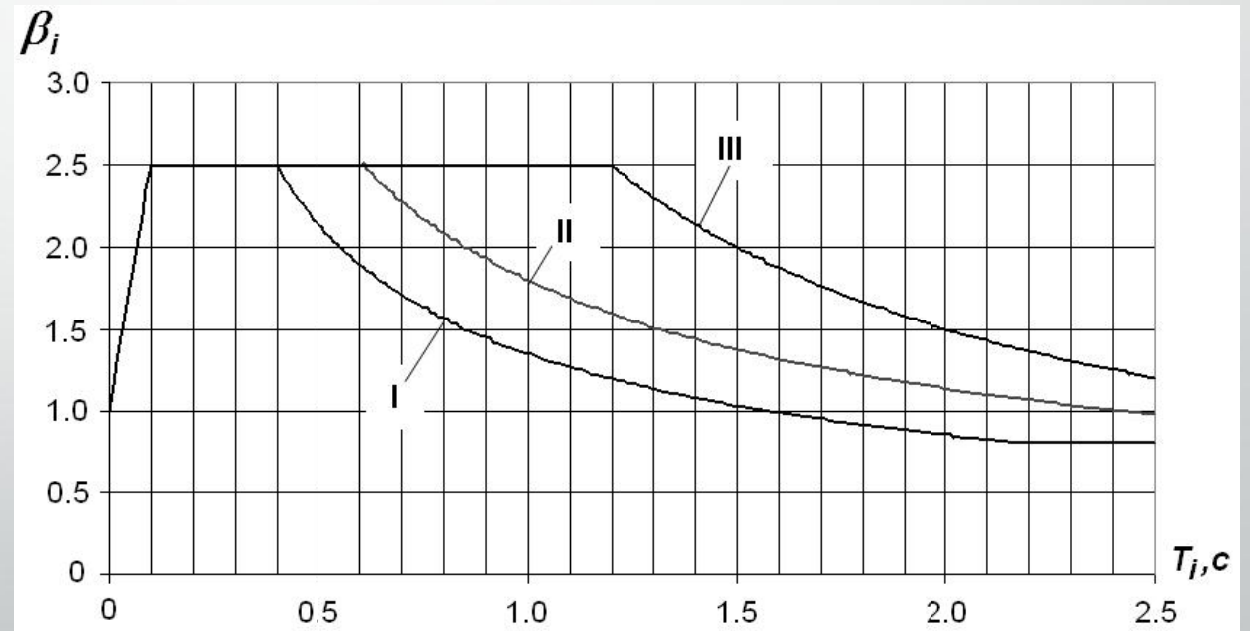
## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПАСИВНОГО СЕЙСМОЗАХИСТУ

Згідно ДБН В.1.1-12: 2014 горизонтальне сейсмічне навантаження за  $i$  –ої форми власних коливань споруди визначається у вигляді:

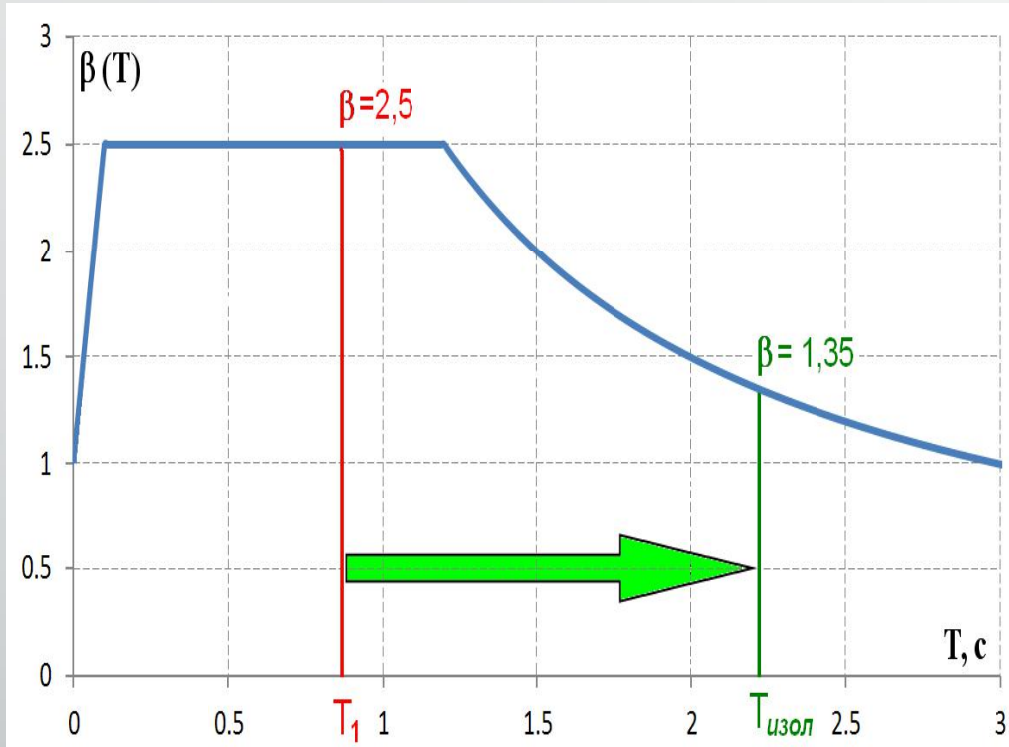
$$S_{0ki} = Q_k \cdot a_0 \cdot k_{ep} \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki}$$

Залежність спектрального коефіцієнта динамічності  $\beta_i$ , від категорії (I-III) ґрунту за сейсмічними властивостями і періоду  $i$ -й форми власних коливань будівлі  $T_i$

Захист здійснюється за рахунок зниження сейсмічної реакції конструкцій, тобто зниження значення коефіцієнта динамічності  $\beta_i$



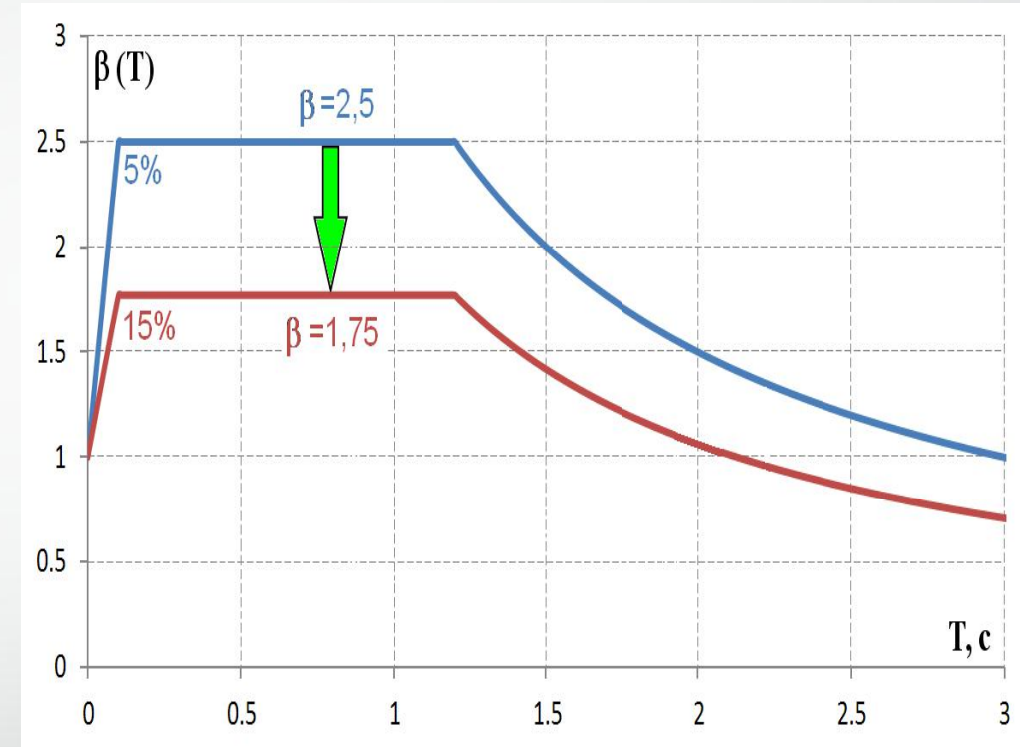
## ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ПАСИВНОГО СЕЙСМОЗАХИСТУ



Збільшення періоду коливань будівлі  $T_i$

$T_1$  - період коливань неізолюваного будівлі;

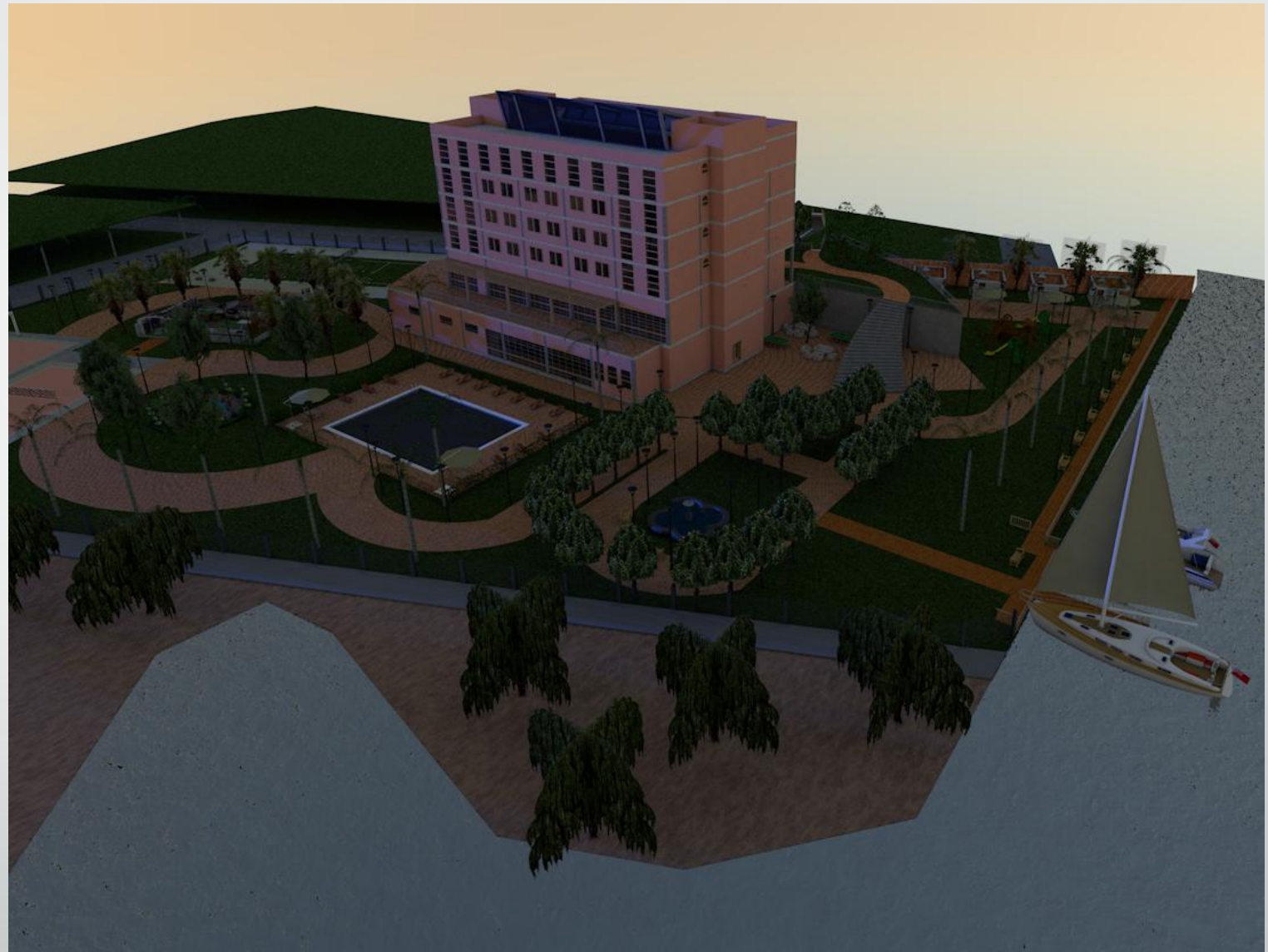
$T_{\text{ізол}}$  - період коливань будівлі оснащеного системою сейсмоізоляції.



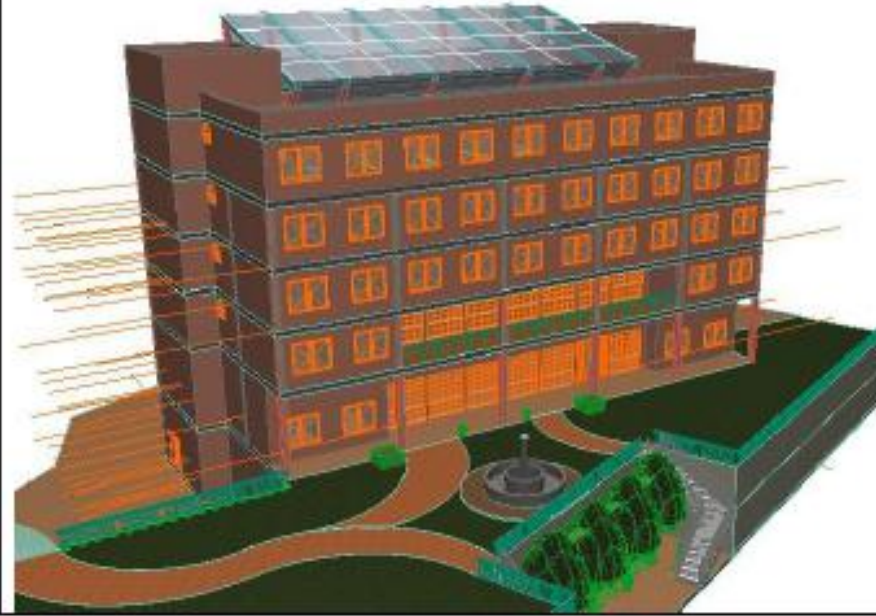
Збільшення відносного демпфірування

# 6-поверховий готель з підземним паркінгом в м. Одеса

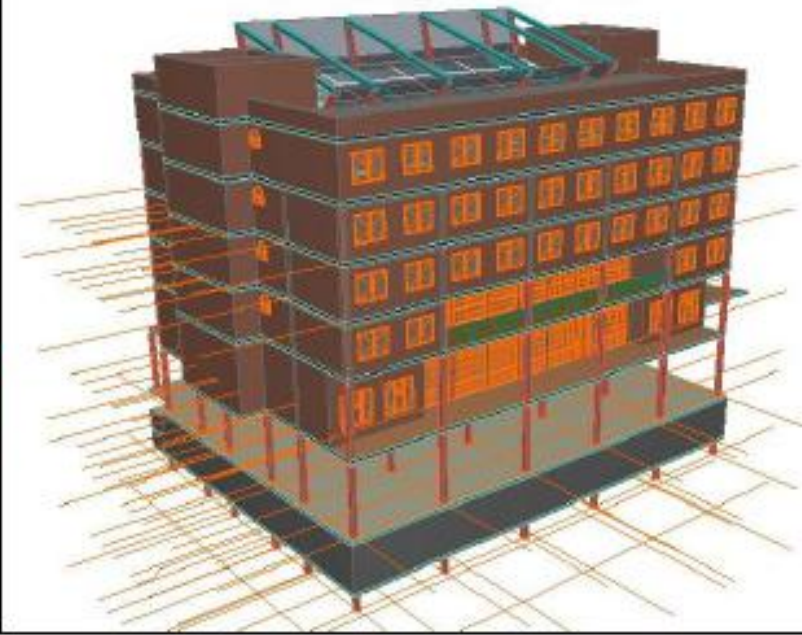
У роботі проаналізовано параметри НДС шестиповислової будівлі з підземною парковкою в місті Одеса, щоб визначити, як структуру можна захистити від землетрусів 8 балів.



Архітектурна модель



Архітектурна модель і підвал

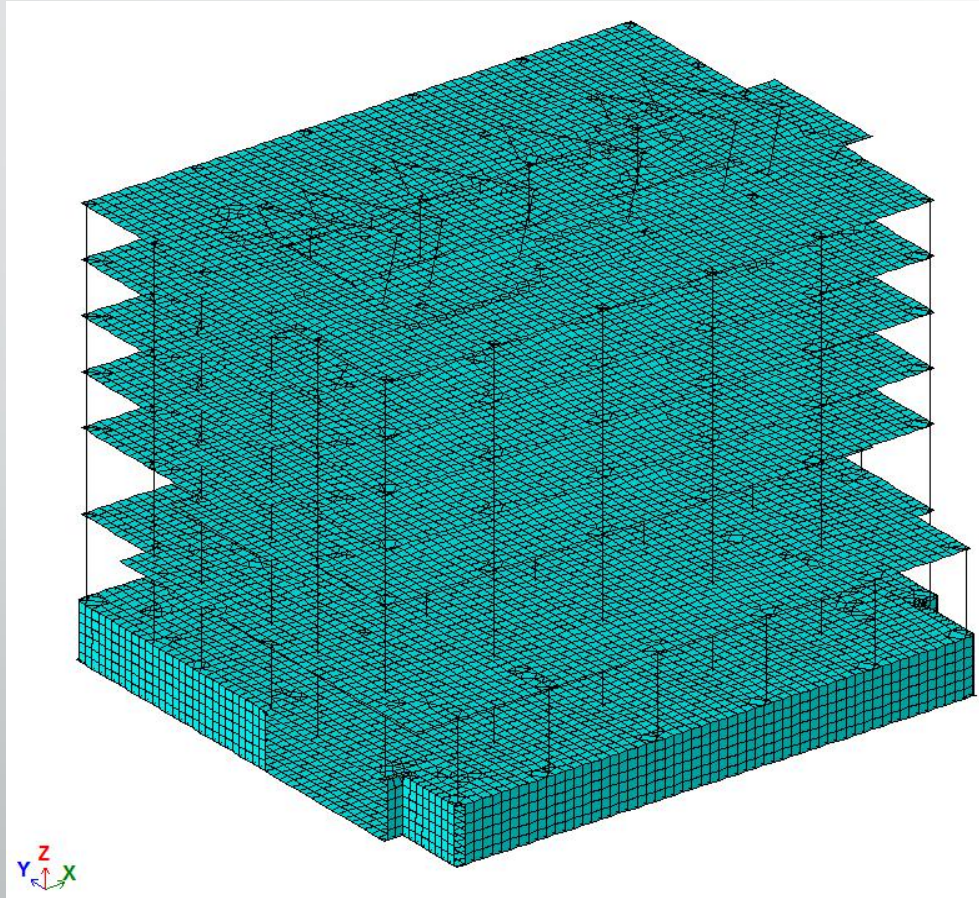


У початкових даних будівлі ми маємо шестиповерховий готель з підвалом, висотою підвалу 2,8 м; першого і другого поверху 4,2 м, третього, четвертого, п'ятого і шостого поверхів 3,3 м.

Колони будівлі 300х300 мм, стіни товщиною 300 мм і монолітну плиту перекриття 200 мм, загальна висота будівлі 24.4 м



# Компьютерна модель несучої системи будівлі. Загальний вигляд



Шестиповерхова будівля з монолітною фундаментною плитою з підвалом повинна сприйняти сейсмічні навантаження понад 8 балів. Виконано необхідні розрахунки для перевірки опору будівельних елементів системи за допомогою програми "Ліра"

# Розрахункові динамічні характеристики неізольованої будівлі

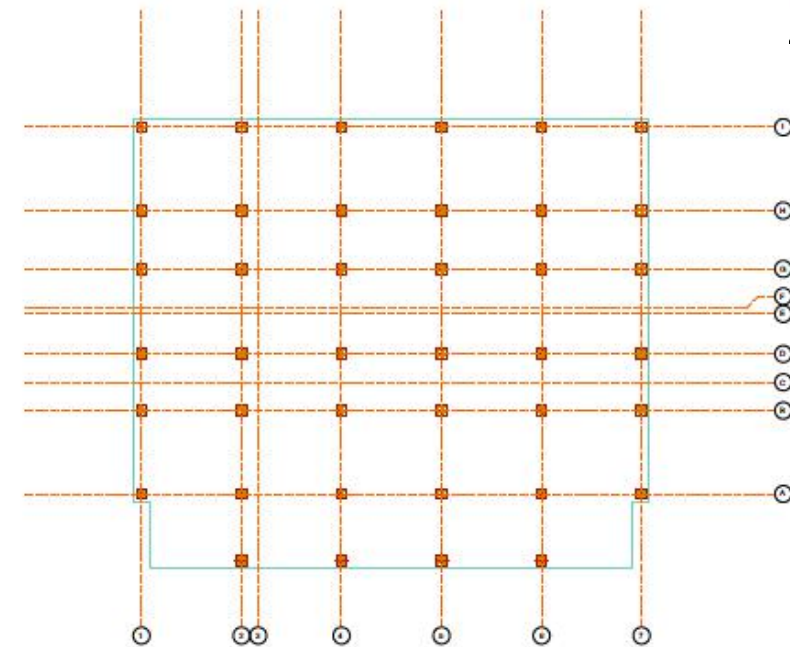


№ форми власних коливань	Час тота, Гц	Період, с	Σ модальних мас, %, при сейсмічному впливі вздовж осі	
			X	Y
1	0.42	2.41	67.62	0.23
2	0.43	2.30	68.53	73.87
3	0.46	2.17	76.11	76.34
4	1.50	0.67	79.05	76.34
5	1.54	0.65	80.08	76.34
6	1.57	0.64	80.09	76.34
7	1.58	0.63	80.09	76.40
8	1.58	0.63	80.09	76.56
9	1.58	0.63	80.10	76.68
10	1.58	0.63	80.10	81.94
11	1.60	0.63	81.09	82.01
12	1.63	0.61	81.86	82.04
13	1.87	0.54	81.86	82.04
14	1.88	0.53	81.86	82.04
15	1.88	0.53	81.87	82.04
16	1.88	0.53	81.87	82.04
17	1.88	0.53	81.87	82.04
18	1.88	0.53	81.87	82.04
19	2.35	0.43	84.31	82.04
20	2.42	0.41	84.31	84.90

Розрахунки на сейсмічні впливи виконувались при врахуванні 35 форм власних коливань. При цьому сума модальних мас складає не менше 85% при горизонтальних і не менше 75% - при вертикальних коливаннях, що відповідає вимогам ДБН

В результаті проведених розрахунків отримані динамічні характеристики моделі будівлі за формами власних коливань

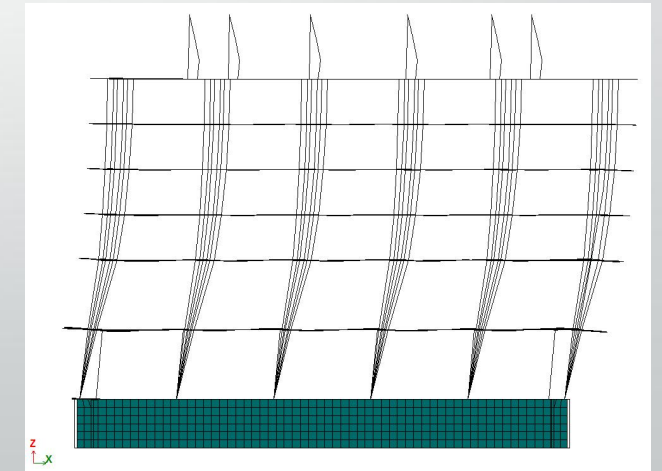
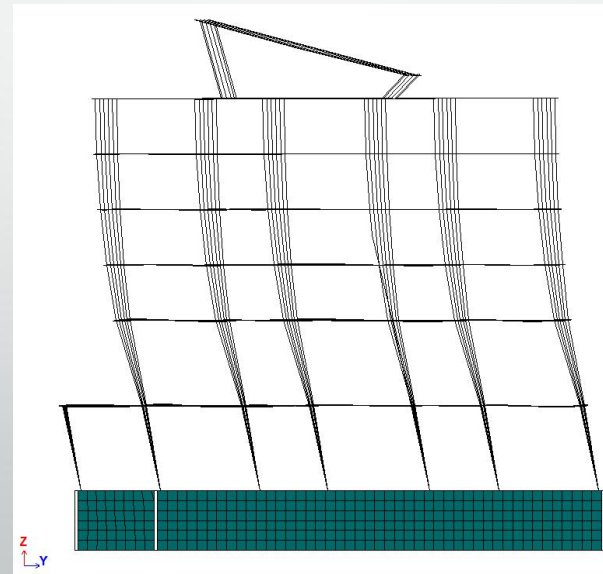
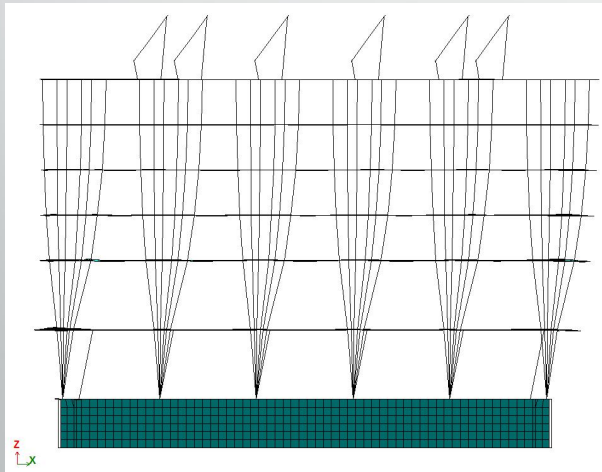
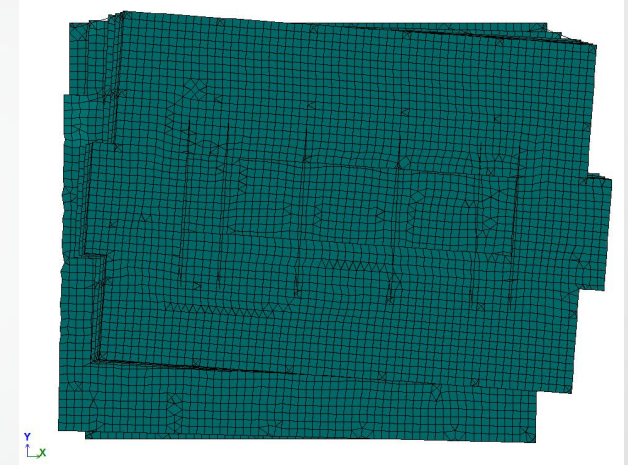
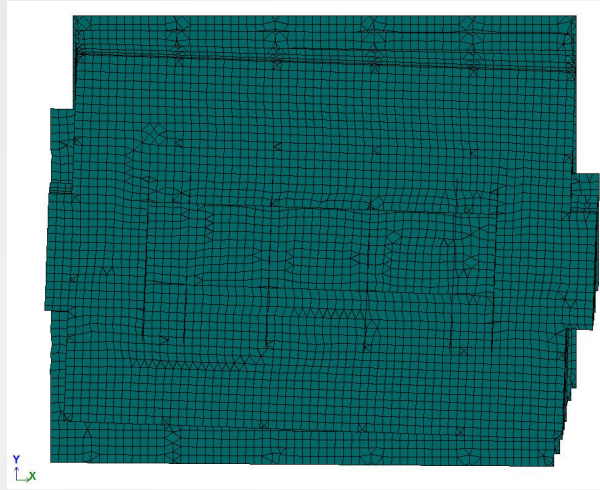
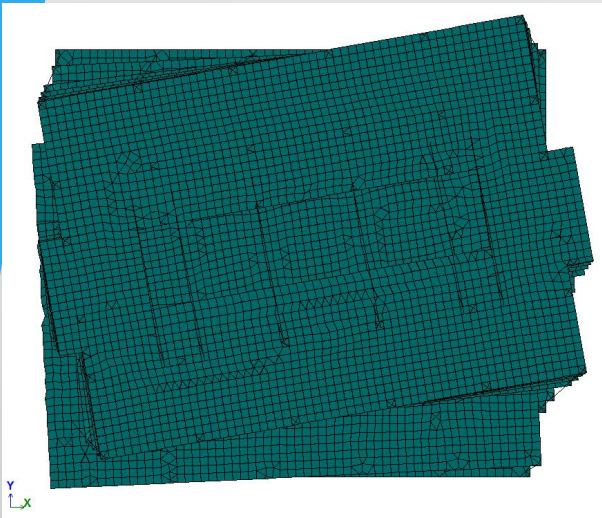
Схема колон на підвалі і монолітній плиті



Максимальні розрахункові відсотки армування елементів будівлі

№№ т.ж.	Назва елементу	Максимальний % армування
1	Стіни підвалу Н32	2,9
2	Колона 30Х30	9,9
3	Плита перекриття Н20	6,3
4	Фундаментна плита Н80	-
5	Колона 40Х40	1,8

# Перші три форми власних коливань неізольованої будівлі



## Варіант 1 – «підсилена» будівля

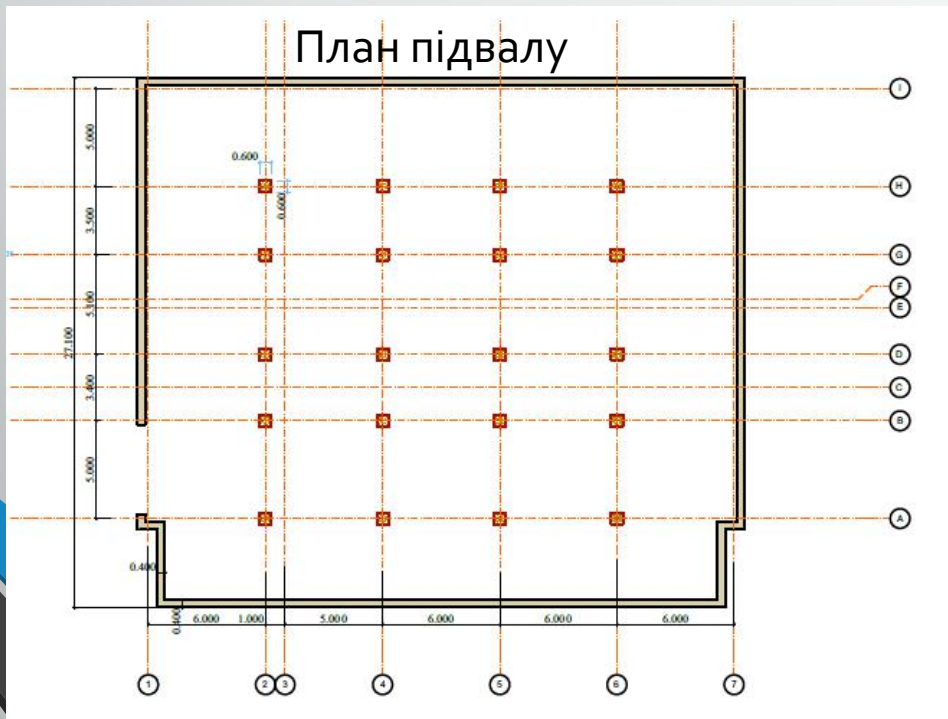
В результаті ітерацій перерізи основних несучих конструкцій (колон) будівлі збільшено наступним чином:

- колон підземного, першого та другого поверхів - до 600x600 мм;
- колон третього та четвертого поверхів – до 500x500 мм;
- колон п'ятого та шостого поверхів – до 400x400 мм.

Перерізи інших конструктивних елементів залишено без змін.

Відповідні зміни внесено до розрахункової моделі будівлі, яку розраховано на основні та аварійні сполучення навантажень, описані вище.

За результатами розрахунку отримано дані про напружено-деформований стан конструкцій «підсиленої» будівлі.



У цих результатах можна спостерігати, як коливання зменшується в конструктивних елементах, оскільки товщина колони збільшується, що дає більше жорсткості і стійкості до будівлі.

№ форми власних коливань	Частота, Гц	Період, с	Σ модальних мас, %, при сейсмічному впливі вздовж осі	
			X	Y
1	0.65	1.53	63.61	0.07
2	0.70	1.43	63.88	69.96
3	0.72	1.39	70.29	70.77
4	1.48	0.67	70.31	70.77
5	1.57	0.64	70.32	70.77
6	1.58	0.63	70.32	70.77
7	1.58	0.63	70.36	70.77
8	1.58	0.63	70.36	70.77
9	1.58	0.63	70.44	70.77
10	1.86	0.54	70.44	70.77
11	1.88	0.53	70.44	70.77
12	1.88	0.53	70.45	70.77
13	1.88	0.53	70.45	70.77
14	1.88	0.53	70.45	70.77
15	1.88	0.53	70.45	70.77
16	2.35	0.43	77.61	70.77
17	2.45	0.41	77.65	77.54

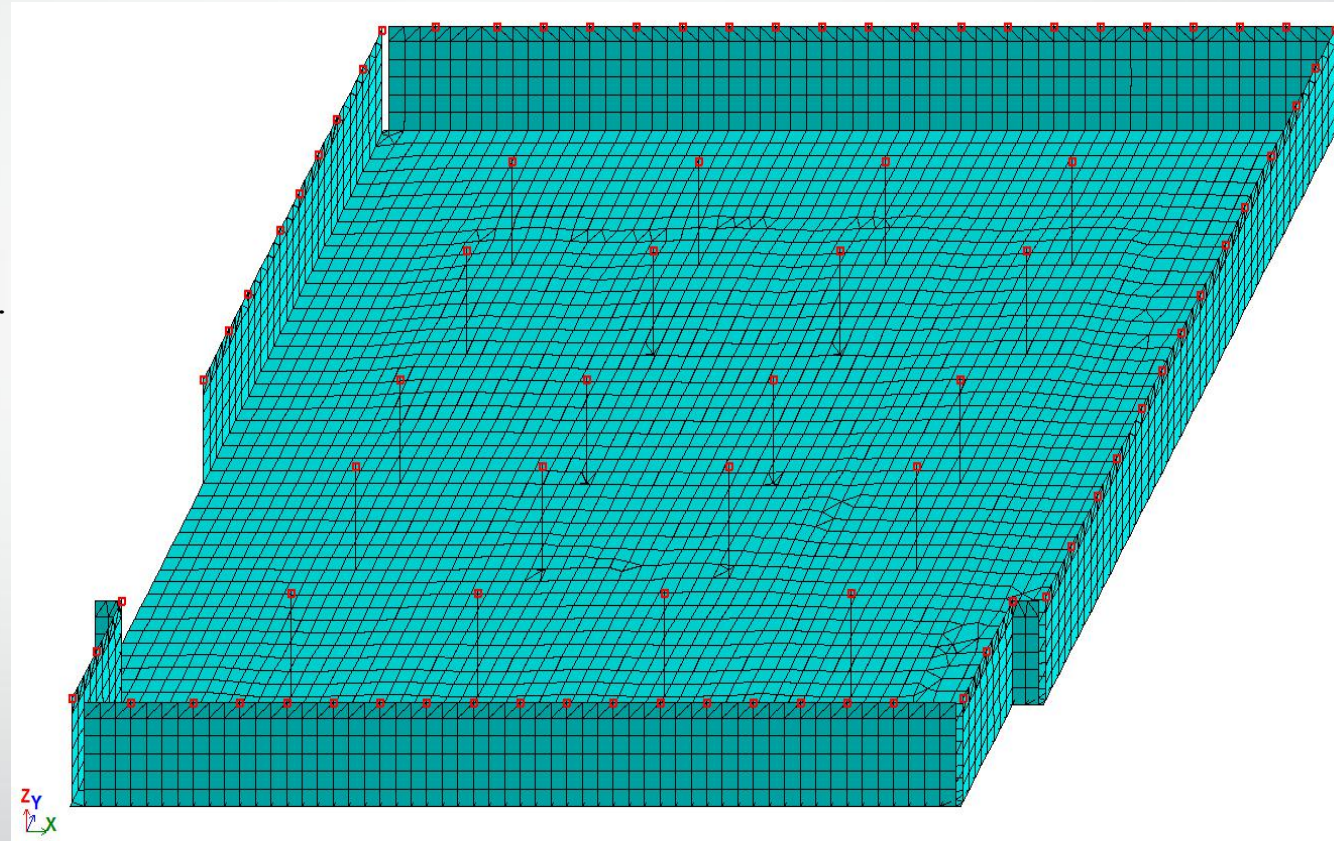
## Варіант 2 – «ізольована» будівля

Для сейсмічного захисту будівлі прийнято систему сейсмічної ізоляції з використанням гумово-металевих сейсмічних опор, які встановлюються на колони та стіни підземного поверху під плитами перекриття. Таким чином, конструкції будівлі умовно розділяються на неізольовані конструкції підземної частини та сейсмоізольовані конструкції надземної частини.

Над системою сейсмоізоляції передбачено систему перехресних балок перерізом 600x400 мм. Разом із плитою перекриття підземного поверху вони утворюють опорну конструкцію, яка розміщується безпосередньо на сейсмоізолюючій поверхні.

Сейсмічні опори розташовано на колонах та стінах підземного поверху.

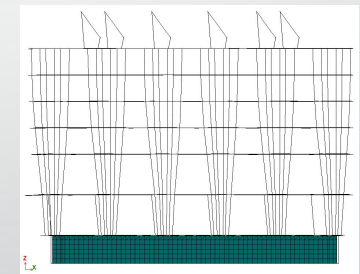
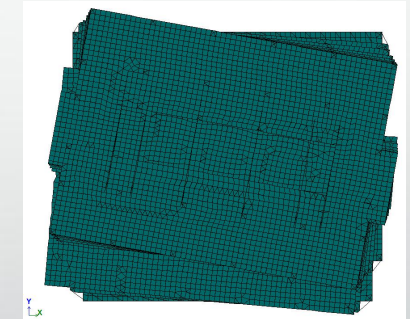
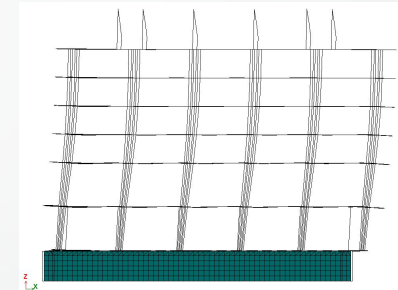
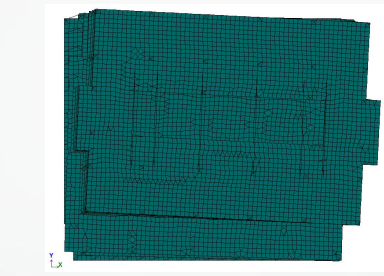
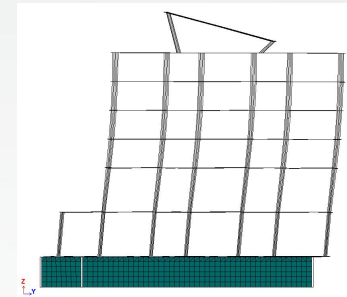
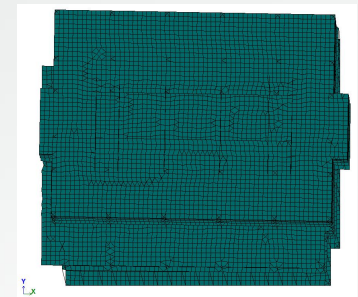
Загальна кількість опор склала 85 шт.



Фрагмент розрахункової моделі «ізольованої» будівлі.  
Розміщення сейсмоопор

# Розрахункові динамічні характеристики «ізольованої» будівлі

№ форми власних коливань	Час тотал, Гц	Період, с	Σ модальних мас, %, при сейсмічному впливі вздовж осі	
			X	Y
1	0.3	3.10	81.93	2.17
2	0.3	3.00	84.65	89.83
3	0.3	2.63	89.83	90.64
4	1.0	0.95	98.13	90.72
5	1.0	0.93	98.30	98.19
6	1.1	0.85	98.47	98.56
7	1.5	0.64	98.52	98.56
8	1.5	0.64	98.53	98.56
9	1.5	0.63	98.53	98.56
10	1.8	0.63	98.53	98.56



Перші три форми власних коливань «ізольованої» будівлі

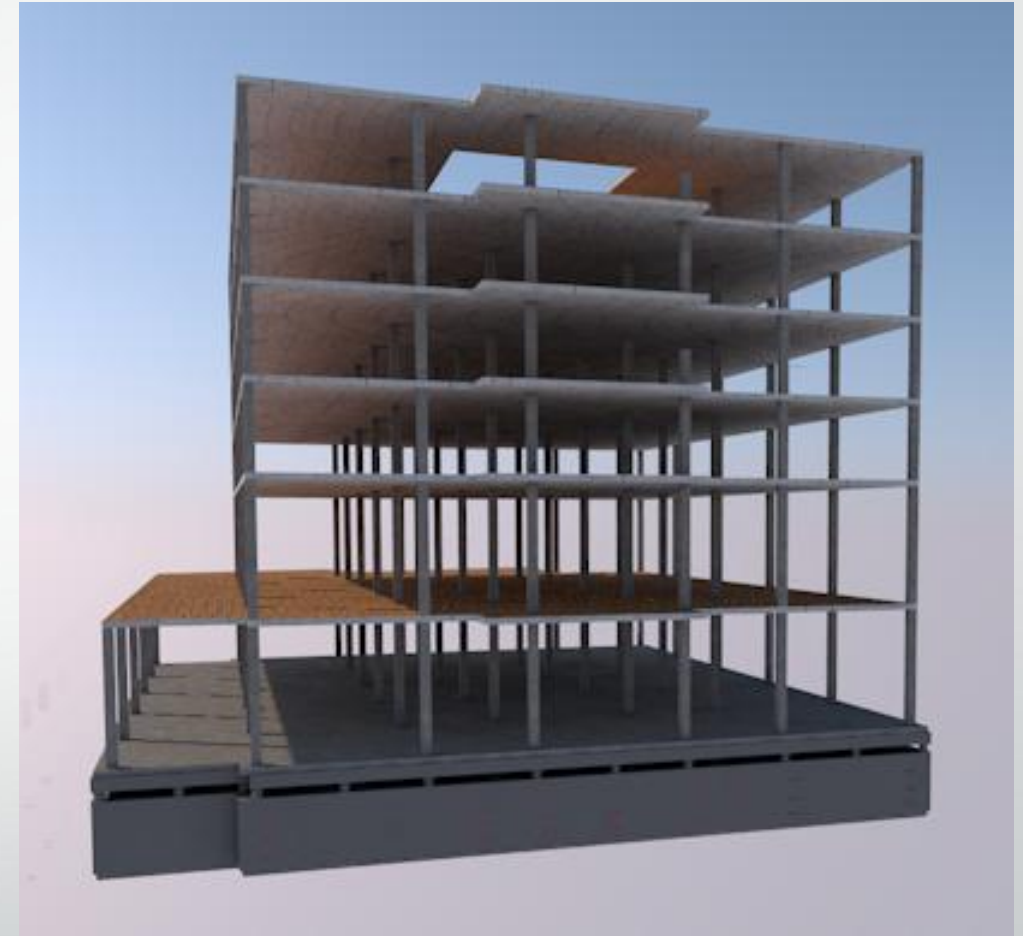
Для задоволення вимог ДБН щодо суми модальних мас достатньо врахувати у розрахунку 2 форми коливань.

Слід відмітити, що період основного тону коливань «ізольованої» будівлі збільшився у порівнянні з періодом основного тону коливань вихідної будівлі. Це призводить до зменшення значення спектрального динамічного коефіцієнту  $\beta_1$  у 1,2 рази, що в свою чергу призводить до аналогічного зменшення горизонтальних сейсмічних сил, які діють на конструкції.

Форми власних коливань наведені на рис. 2.27. Коливання конструкцій «ізольованої» будівлі відбуваються переважно за першою та другою формами, які відповідають поступальним коливанням.

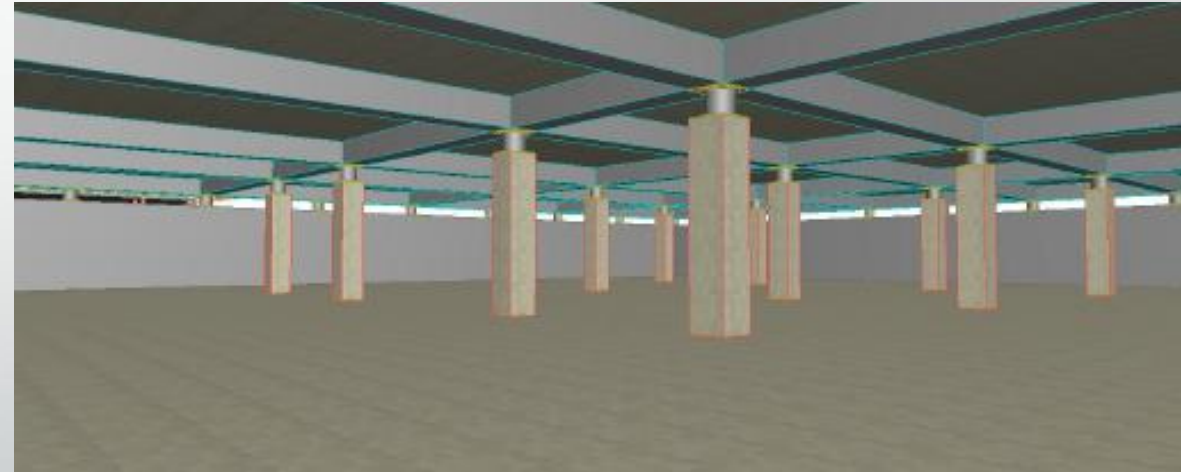
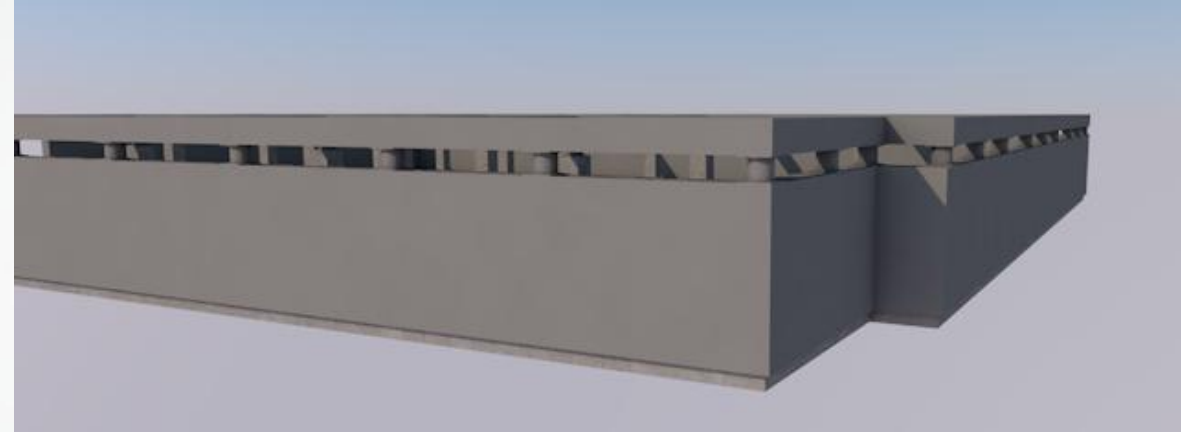
# Будівля з сейсмічними ізоляторами

Вирішено використовувати сейсмічні ізолятори, оскільки з отриманих результатів це є найбільш надійним варіантом для захисту будівлі від сейсмічних коливань. Системи сейсмічної ізоляції відокремлюють підвал від решти будівлі, уникаючи коливань, викликаних землетрусами



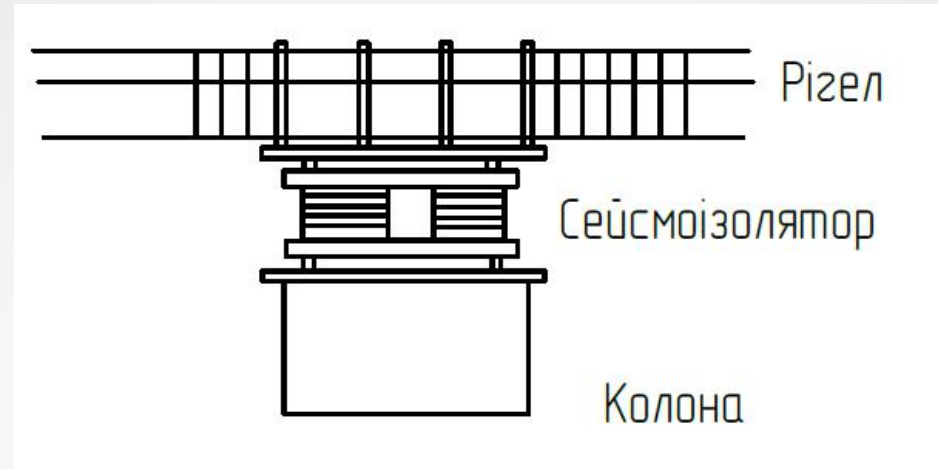
# Структурна модель будівлі та її підвалу

За допомогою систем сейсмічної ізоляції (гумові ізолятори) можна підвищити сейсмостійкість будівлі. Розміщуючи їх на колонах і на стінах.  
65 ізоляторів на стінах  
20 ізоляторів на колонах  
Всього 85 ізоляторів

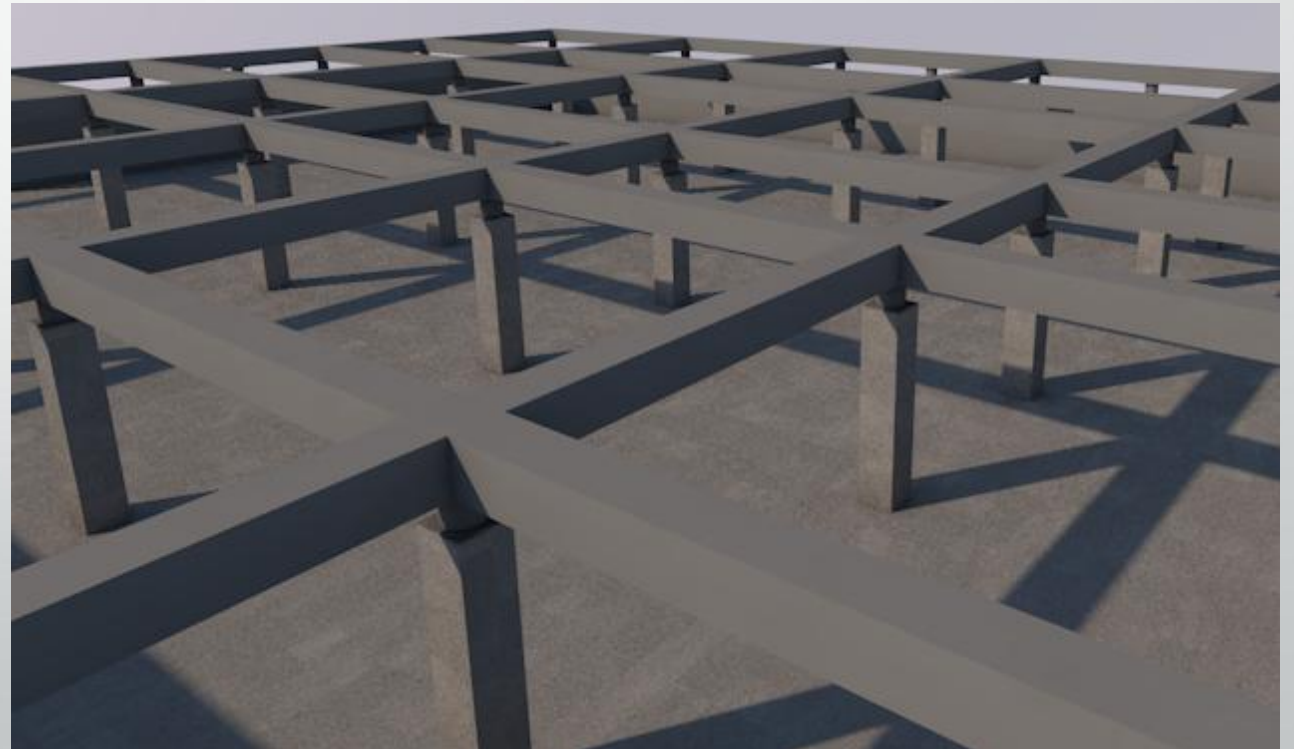




## Конструктивне рішення



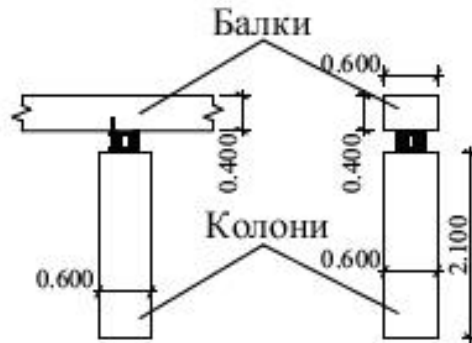
Балки повинні бути розміщені над ізоляторами, щоб уникнути продавлювання плити, оскільки коливання можуть призвести до виходу з ладу перекриття, 400х600 балки виконані в двох напрямках на колонах і стінах.



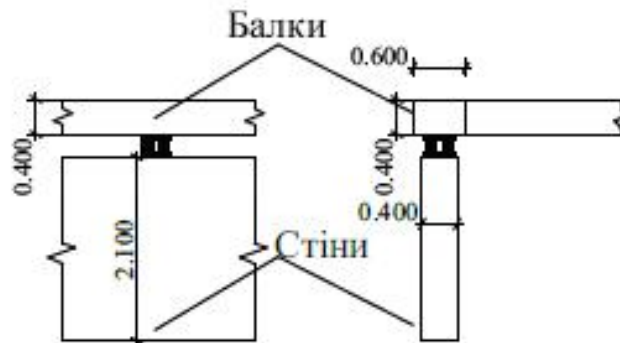
# Властивості сейсмічних ізоляторів

Зображення  
показує  
характеристики  
ізоляторів, які  
повинні  
використовуватися  
для будівлі

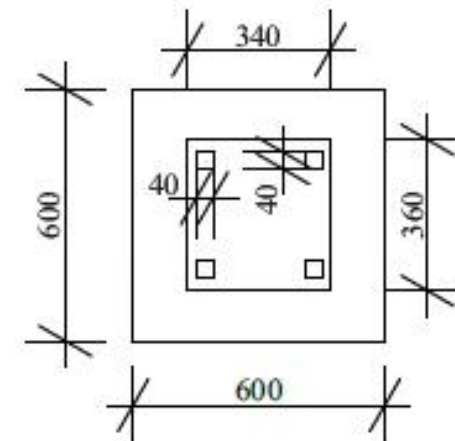
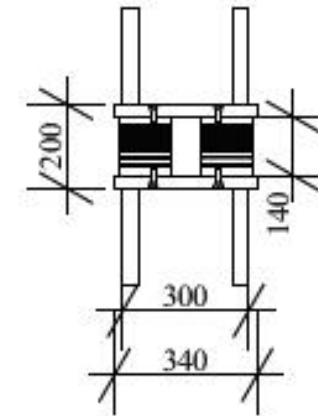
Вид спереду і збоку сейсмічних ізоляторів на колони



Вид спереду і збоку сейсмічних ізоляторів на стінах

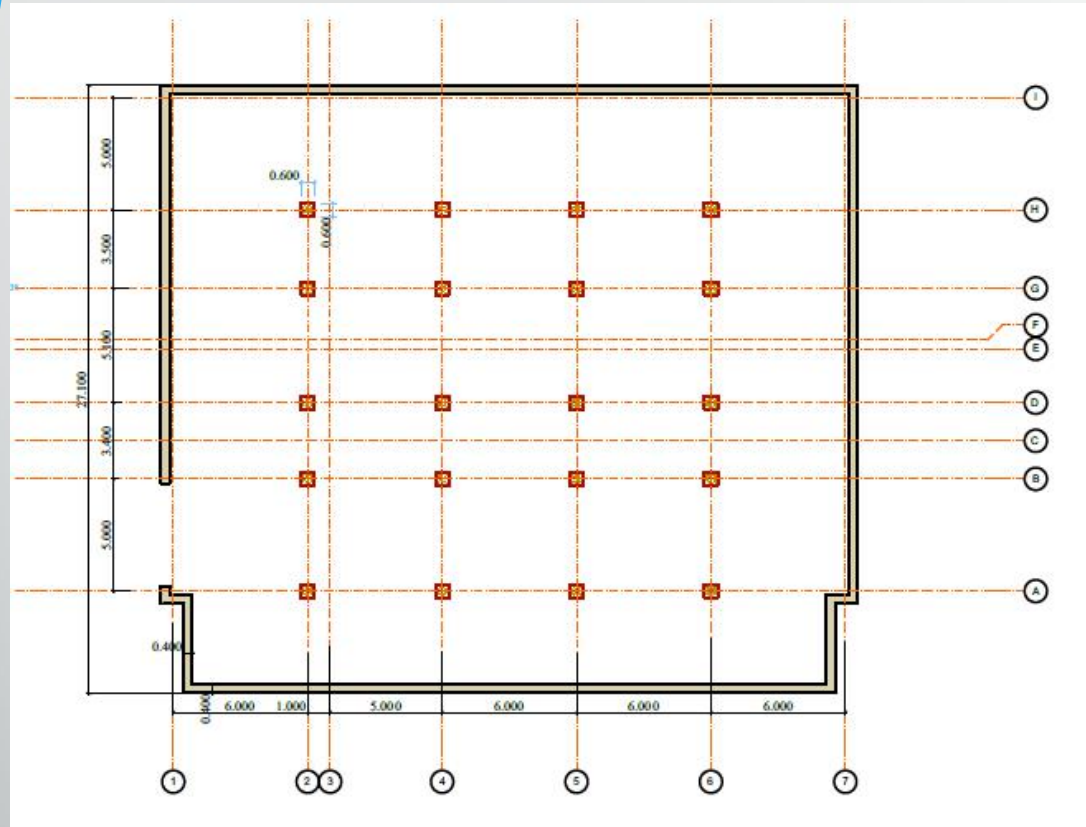


Технічні характеристики сейсмічного ізолятора

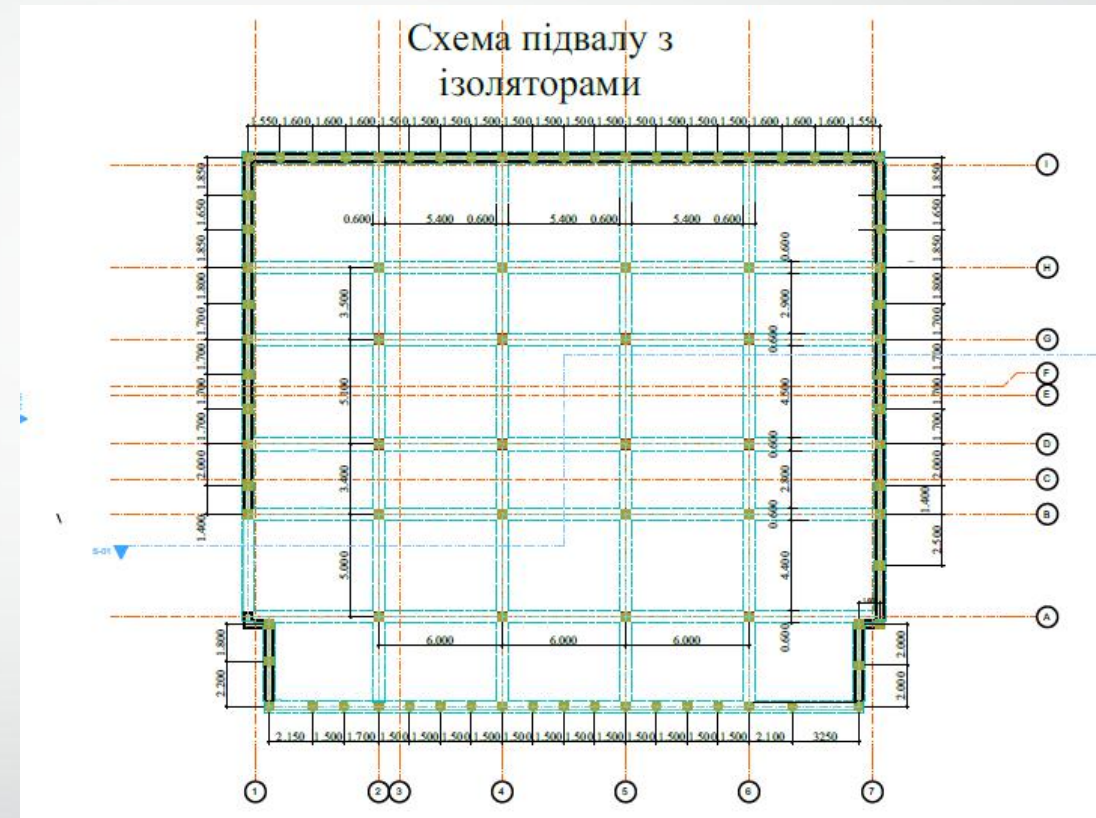


# Розподіл будівельних елементів і сейсмічних ізоляторів

без сейсмічних ізоляторів



З сейсмічними ізоляторами



Різниця між будівлею з ізоляторами і будівлею без ізоляції.  
Як уже згадувалося, основною особливістю, що відрізняє будівлю від сейсмічної ізоляції, є використання матеріалів для підвищення опору

# ВИСНОВКИ

1. Забезпечити сейсмостійкість будівлі в районах з інтенсивністю коливань 8 балів можливо за рахунок підсилення конструктивних елементів несучої системи будівлі.
2. Також забезпечити сейсмостійкість будівлі в районах з інтенсивністю коливань 8 балів можливо за рахунок введення гумовометалевих сейсмоізоляторів в вертикальні конструктивні елементи несучої системи будівлі.
3. На основі виконаного аналізу поведінки елементів конструктивної схеми будівлі та з врахування фінансової оцінки проаналізованих варіантів перевагу віддано варіанту з сейсмоізоляторами.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**