



Факультет будівництва, теплоенергетики та газопостачання
Кафедра будівництва, міського господарства та архітектури

ОЦІНКА ВЕЛИЧИНИ ВКЛАДУ ВИЩИХ ФОРМ КОЛИВАНЬ В ПАРАМЕТРИ НДС ПРИ СЕЙСМІЧНИХ ВПЛИВАХ

Магістрант:

Михнян М. С.

Науковий керівник:

Андрухов В. М., к.т.н., доцент кафедри БМГА

Мета досліджень

Оцінка впливу на сейсмічну реакцію та напружено-деформований стан безригельного каркасу багатоповерхової будівлі вищих форм коливань та факторів висоти при визначенні сейсмічних навантажень за лінійно-спектральною теорією.

Об'єкт досліджень

Багатоповерховий залізобетонний житловий будинок, запроектований за схемою монолітного безригельного каркасу для будівництва у сейсмічному районі України (м. Чернівці) з можливою інтенсивністю сейсмічних впливів 7 балів.

Предмет досліджень

Параметри напружено-деформованого стану (НДС) конструкцій житлових будівель різної поверховості (8, 16 та 24 поверхи), визначені за результатами розрахунку на основні та аварійні сполучення навантажень з урахуванням сейсмічного впливу, заданого за лінійно-спектральною теорією.

Задачі досліджень

Аналіз вимог нормативних документів та літературних джерел щодо особливостей проектування багатопверхових та висотних житлових і громадських будівель у сейсмічних районах України, зокрема врахування в розрахунках фактору їх висоти та впливу вищих форм коливань

Визначення мети та завдань дослідження

Розробка просторових розрахункових моделей безригельного каркасу будівлі різної поверховості (8, 16 та 24 поверхи)

Збір навантажень для розрахунку моделі на основні та аварійні сполучення навантажень з урахуванням сейсмічного впливу.
Моделювання сейсмічного впливу за спектральним методом розрахунку

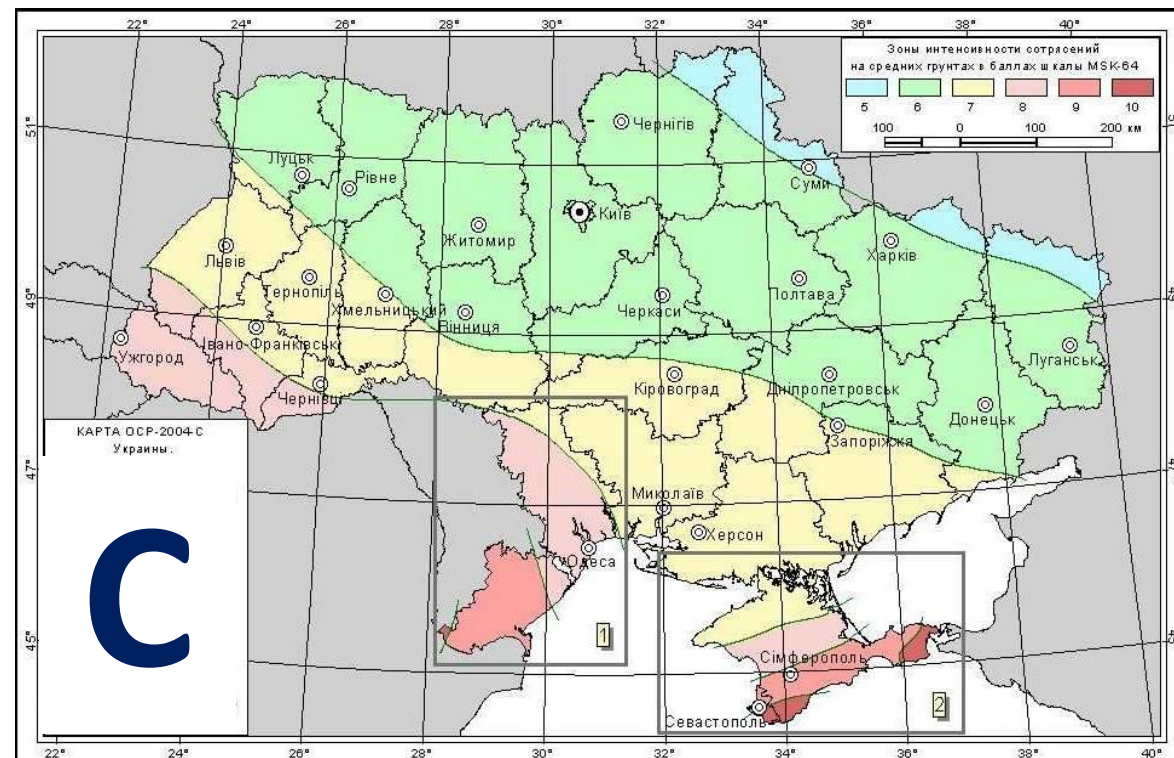
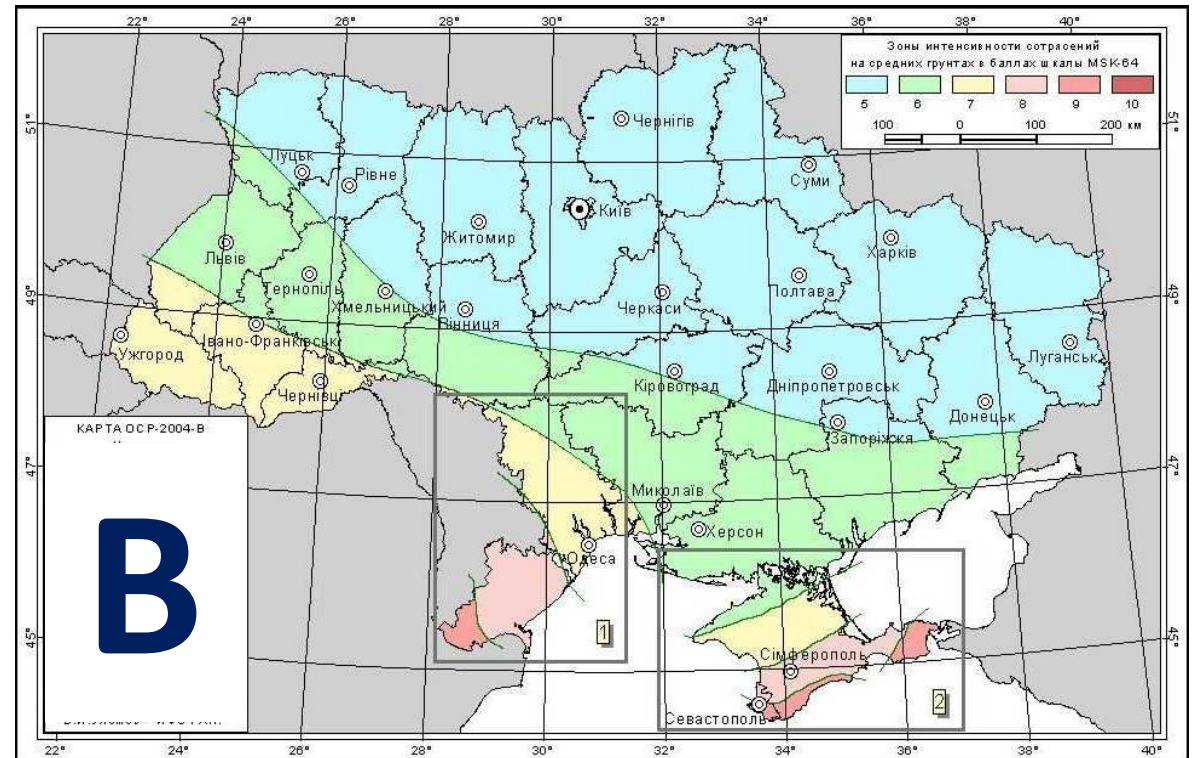
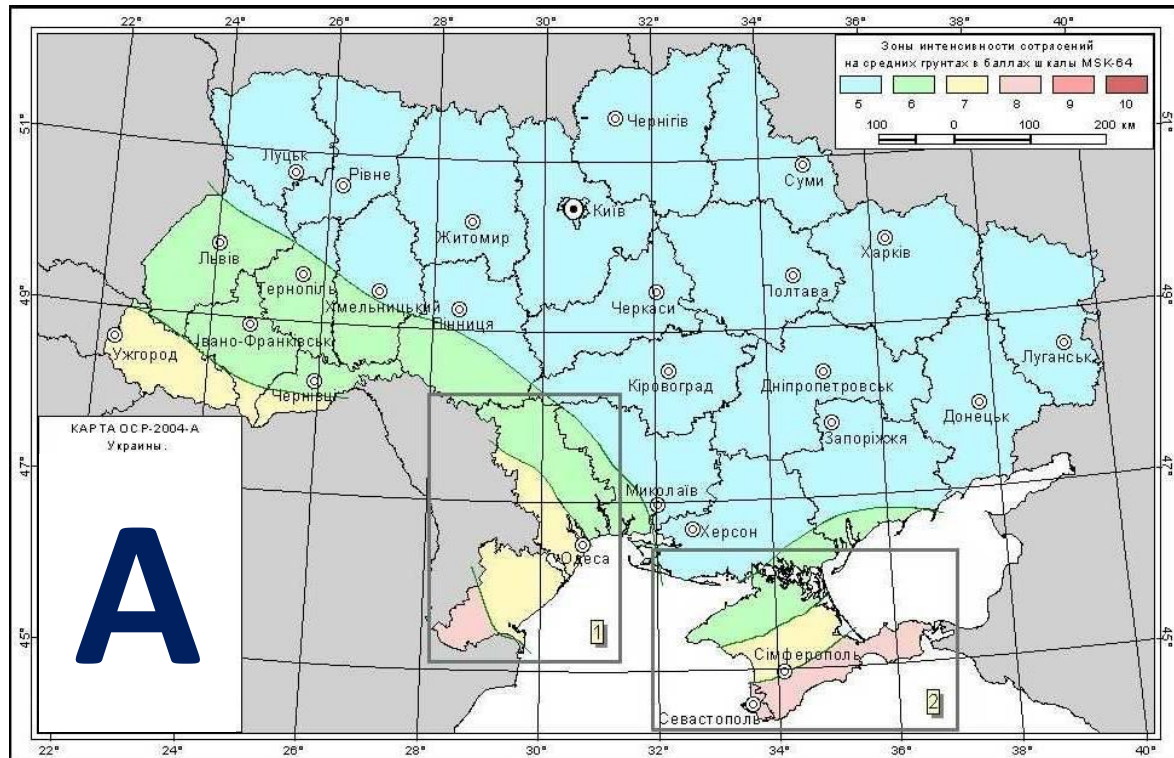
Розрахунок моделі на основні та аварійні сполучення навантажень.
Аналіз результатів розрахунку

Порівняння результатів розрахунку моделей різної поверховістю на основні та аварійні сполучення навантажень з урахуванням сейсмічного впливу, зокрема:

- динамічних характеристик моделі;
- сейсмічних (інерційних) навантажень;
- параметрів НДС основних несучих конструкцій;
- витрат матеріалів (армування) конструкцій.

Підготовка висновків за результатами проведених досліджень

Сейсмічна небезпека території України



**КОМПЛЕКТ КАРТ
загального сейсмічного
районування території України
ЗСР-2004**

Методи розрахунків конструкцій на сейсмічні впливи

Розглянуто основні положення розрахунку на сейсмічні впливи відповідно до нормативних документів України та європейських норм, а саме:

- **ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України»**
- **ДСТУ-Н Б EN 1998-1:2010 «Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмічні дії, правила щодо споруд».**

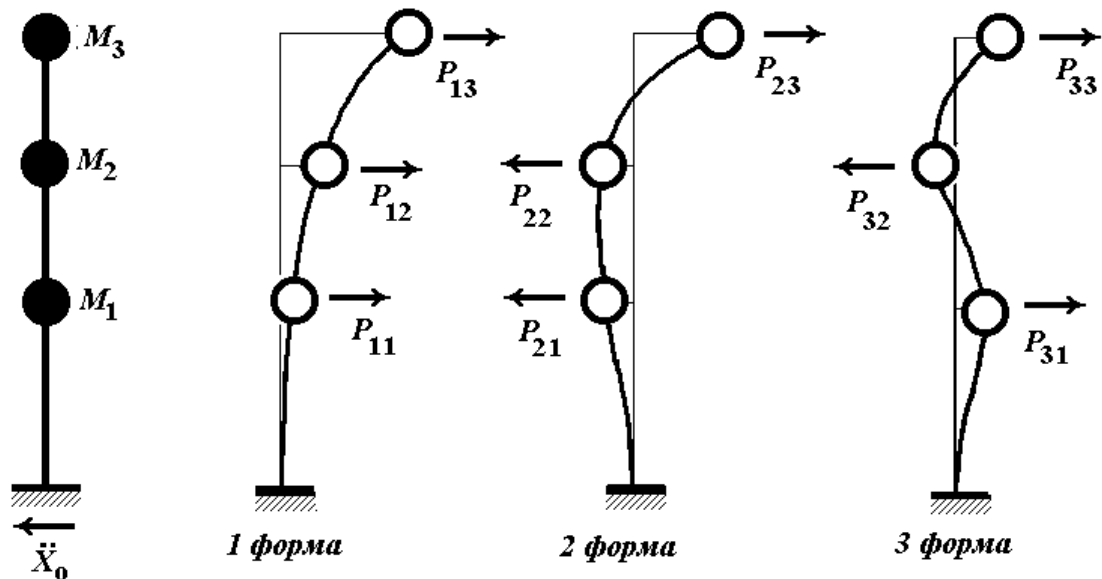
Нормативні документи з сейсмостійкого будівництва багатьох країн, зокрема України, регламентують застосування в якості основного спектральний метод визначення сейсмічних навантажень на будівлі і споруди.

Розрахунки за спектральним методом виконують для всіх будівель і споруд, зокрема будівель підвищеної поверховості з урахуванням їх особливостей.

В теорії і практиці сейсмостійкого будівництва визнано, що внутрішні зусилля, які виникають в конструкціях під час землетрусів, обумовлені не тільки характером основної (першої) форми власних коливань, але також і впливом вищих форм коливань.

Вплив вищих форм коливань є суттєвими насамперед для високих конструкцій багатопверхових будівель, а їх ігнорування може призвести до неправильних результатів і вплинути на сейсмостійкість та загальну безпеку конструкцій.

Врахування вищих форм коливань



Форми коливань динамічної системи

Сумарну реакцію за декількома формами можна отримати наступними методами:

1. сума абсолютних значень, отриманих за окремими формами;
2. правило «корінь квадратний із суми квадратів» значень, отриманих за окремими формами (ККСК);
3. правило ККСК із врахуванням взаємної кореляції форм.

Відповідно до **ДБН В.1.1-12** та норм багатьох країн для практичних застосувань врахування вищих форм коливань при обчисленні внутрішніх зусиль проводять за наступними формулами:

$$N_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2},$$

$$N_p = \sqrt{\sum_{i=1}^n N_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \rho_i |N_i N_{i+1}|}$$

де N_p – зусилля, напруження або інші силові фактори в елементах конструкцій від сейсмічного навантаження;

N_i – значення відповідного фактору в перерізі, що розглядається, яке викликане сейсмічними навантаженнями за i -ою формою коливань;

n – число форм коливань, які враховуються;

ρ_{ij} - коефіцієнт кореляції.

Мінімальна кількість форм, які необхідно враховувати

6

Відповідно до **ДСТУ-Н Б EN 1998-1 (Єврокод 8)** мають бути враховані реакції всіх форм коливань, які вносять значний внесок у сумарну реакцію будівлі. При цьому:

- сума ефективних модальних мас форм коливань, що враховуються, має складати, принаймні, **90% від загальної маси будівлі**;
- враховуються всі форми коливань з ефективними модальними масами **більш ніж 5% від загальної маси**.

Відповідно до **ДБН В.1.1-12** розрахунок за просторовими розрахунковими схемами необхідно виконувати, враховуючи **не менше 85% повної суми модальних мас** при коливаннях будівлі (споруди) у **горизонтальному напрямку** і **не менше 75%** при коливаннях у **вертикальному напрямку**.

Врахування факторів висоти будівель

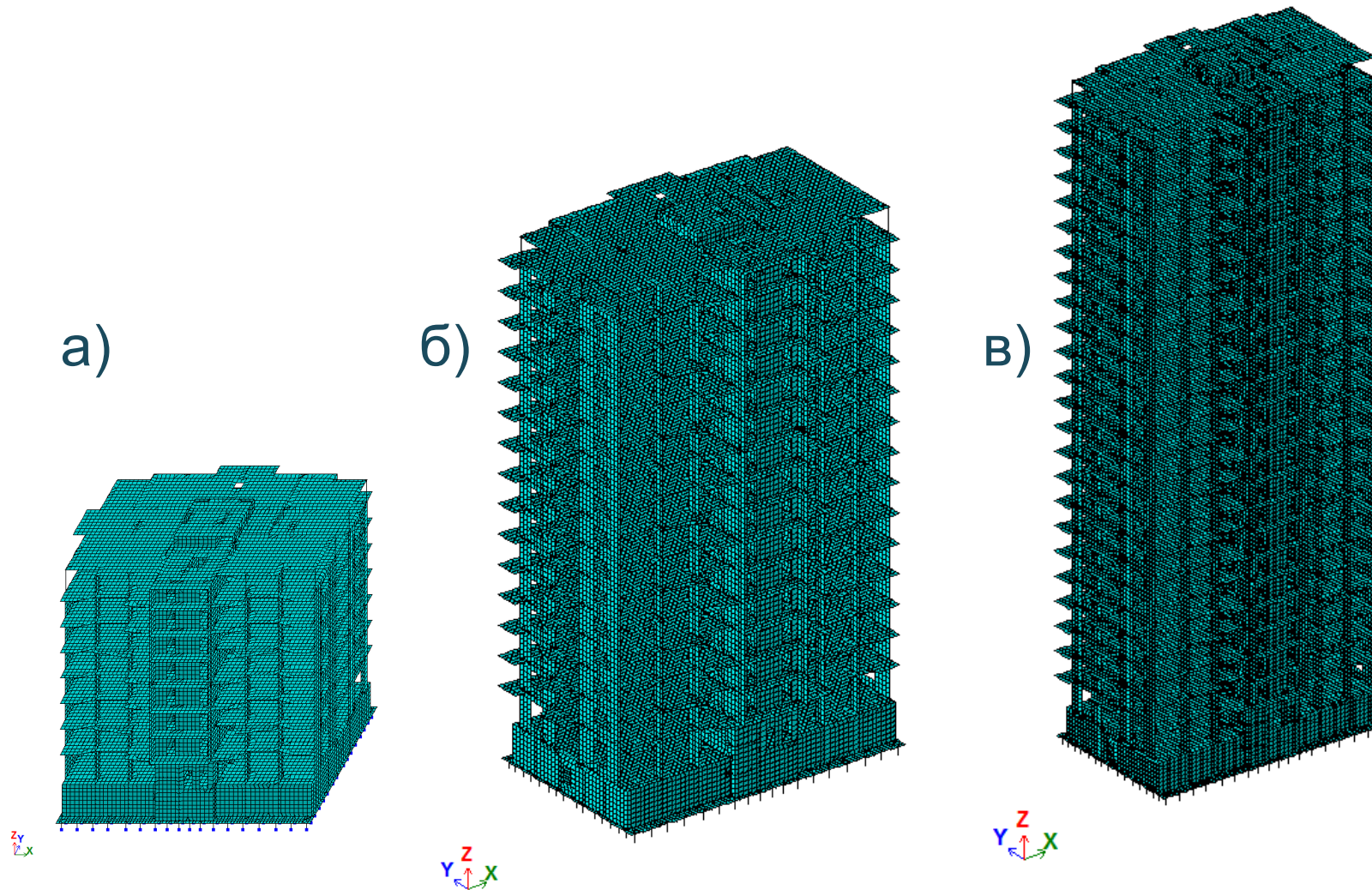
Відповідно до **ДБН В.1.1-12** до розрахункового значення горизонтального сейсмічного навантаження S_{ki} , яке визначається за спектральним методом розрахунку, вводиться коефіцієнт k_3 , який враховує поверховість будівлі заввишки понад 5 поверхів і визначається за формулою:

$$k_3 = 1 + 0,04 \cdot (n - 5)$$

де n - кількість поверхів будівлі.

Максимальне значення k_3 приймається **не більше 1,6** (у тому числі для рамних, рамно-в'язевих і в'язевих систем), а для стінових і каркасно-стінових конструктивних систем - **не більше 1,5**.

Розрахункові моделі



Загальний вигляд тривимірних комп'ютерних моделей будівлі:

- а – 8 поверхів;
- б – 16 поверхів;
- в – 24 поверхи

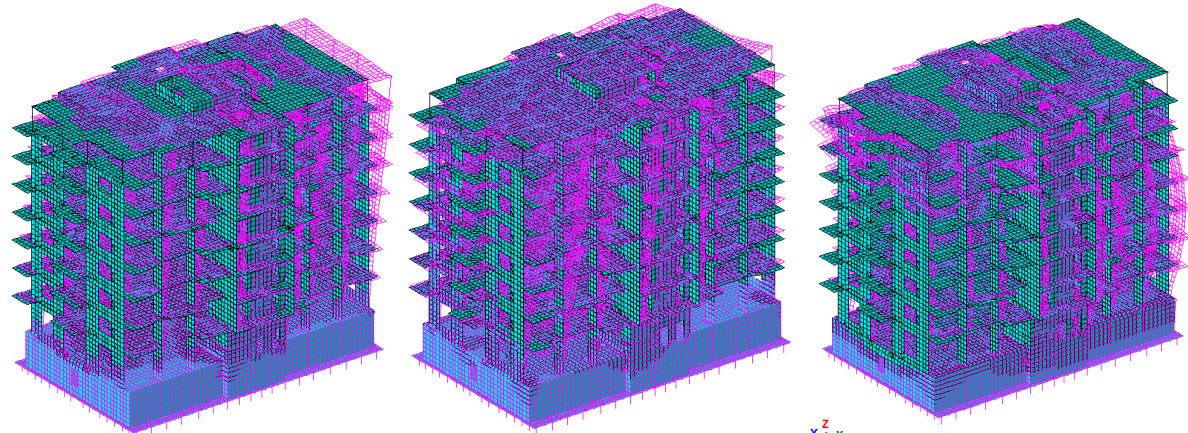
Параметри скінчених елементів комп'ютерних моделей

№ т.ж.	Геометричні параметри	Фізико-механічні параметри	Положення в конструктивній схемі будинку
2	Брус 40x40	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=2,5$	Колони
3	Брус 30x40	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=2,5$	Колони
4	Пластина Н40	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=2.5$	Діафрагми жорсткості
5	Пластина Н30	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=2.5$	Діафрагми жорсткості, стіни шахт ліфтів, стіни сходової клітини
6	Пластина Н25	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=2.5$	Стіни шахт ліфтів
7	Пластина Н20	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=2.5$	Перекриття на всіх поверхах
8	Пластина Н40	$E=2.75e+006, \nu=0.2, R_o=2.5$	Стіни підвалу
9	Брус 1x1	$E=3,06e+006, \nu=0.2, R_o=0,1$	Фіктивні стрижні для реалізації лінійних навантажень від ваги зовнішніх стін
10	Пластина Н120	$E=2,75e+006, \nu=0.2, R_o=2.5$	Плита ростверку

Позначення: R_o - щільність матеріалу елементів розрахункової схеми, $тс/м^3$; E - модуль пружності, $тс/м^2$; ν - коефіцієнт Пуасона

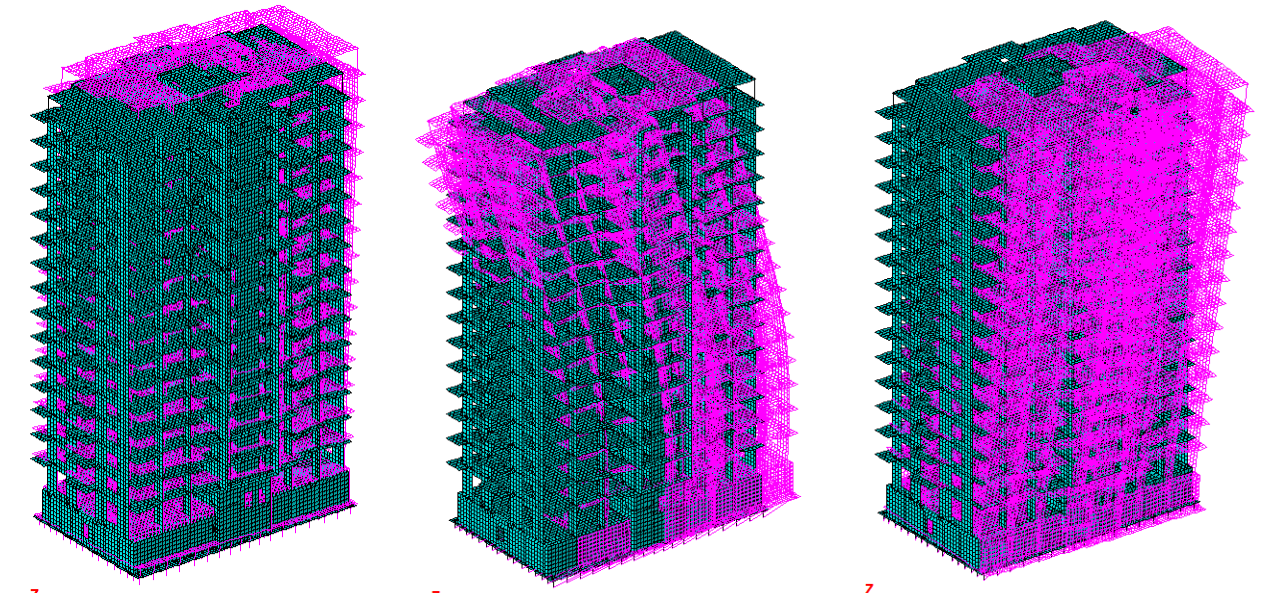
Результати чисельних досліджень

Перші три форми власних коливань будівлі різної поверховості



8 поверхів

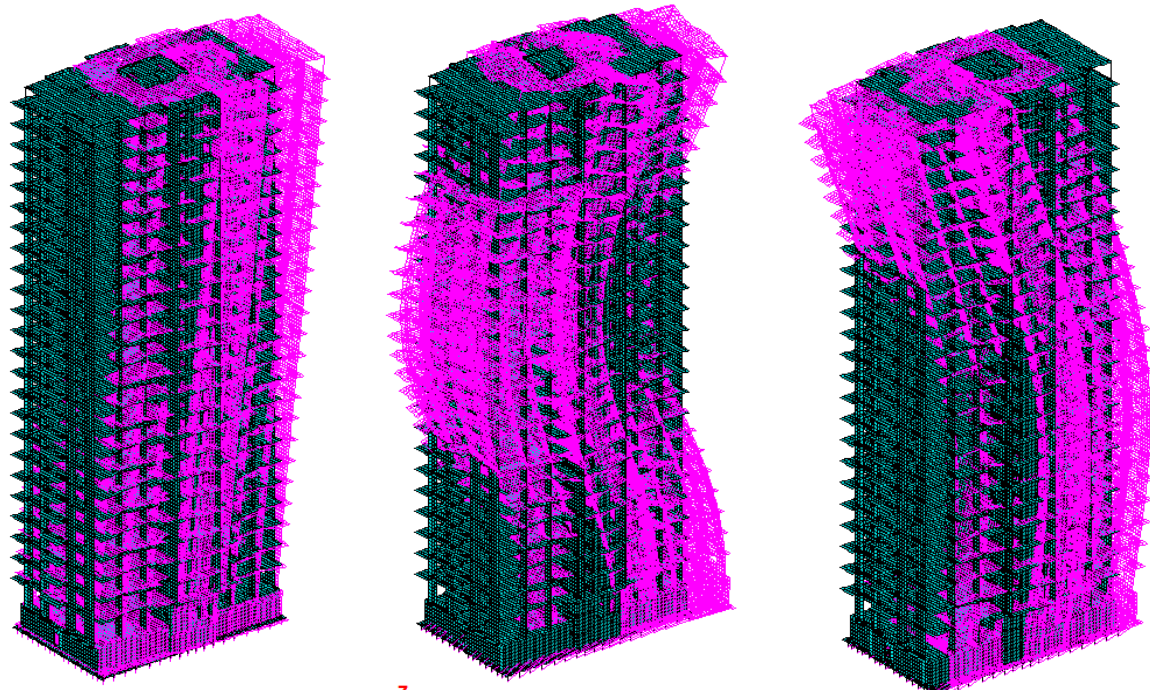
$k_3=1,12$



16 поверхів

$k_3=1,44$

Порівняння динамічних характеристик розглянутих будівель



24 поверхи

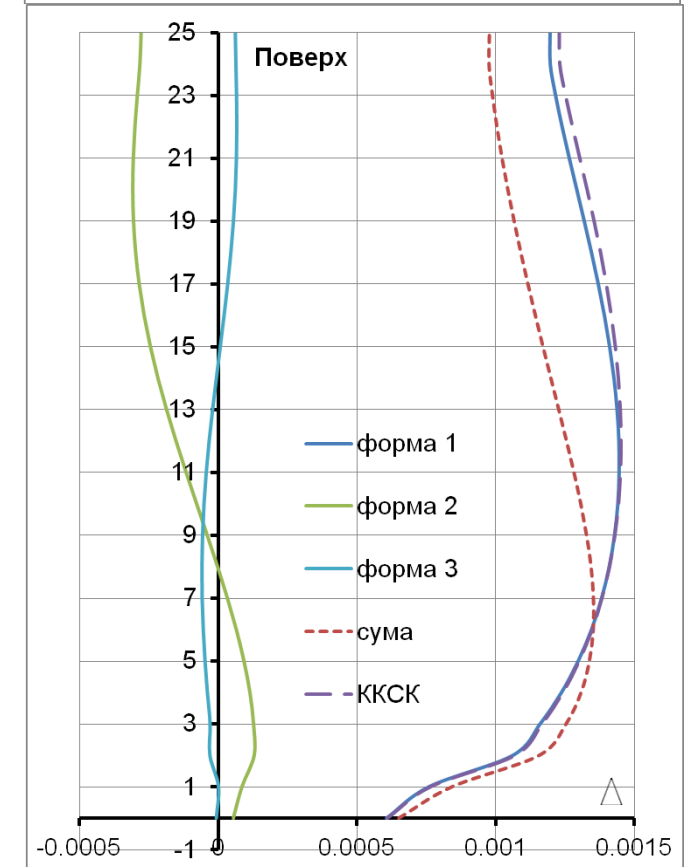
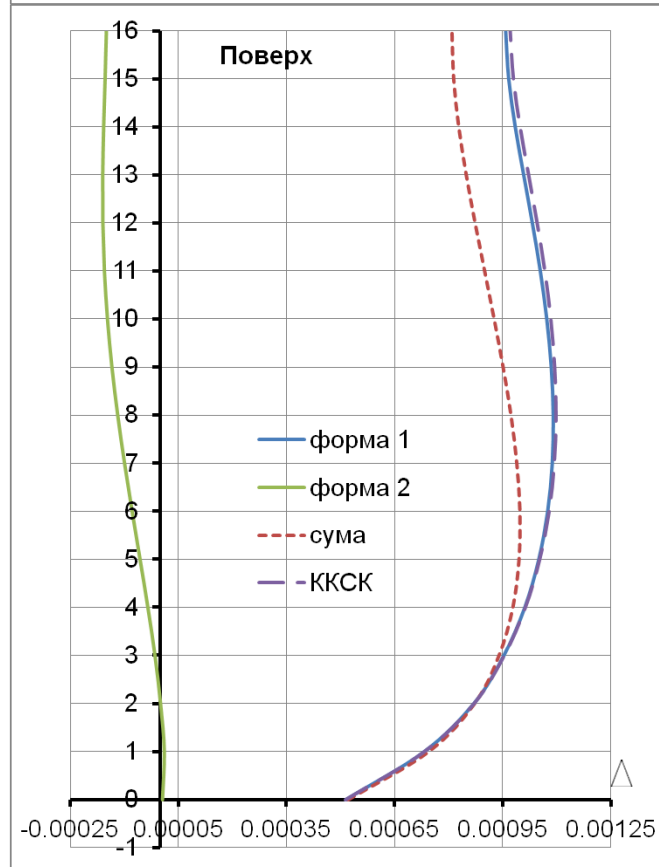
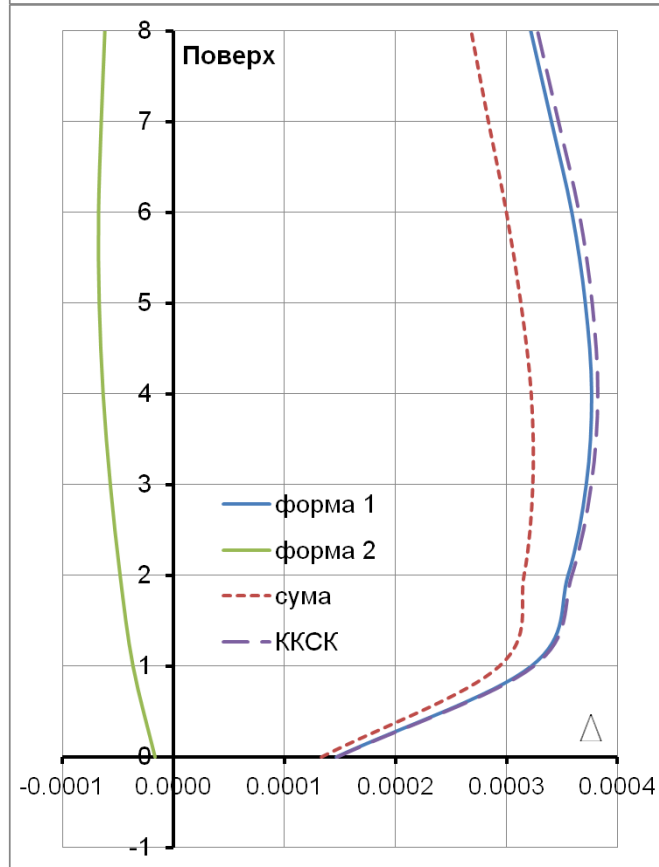
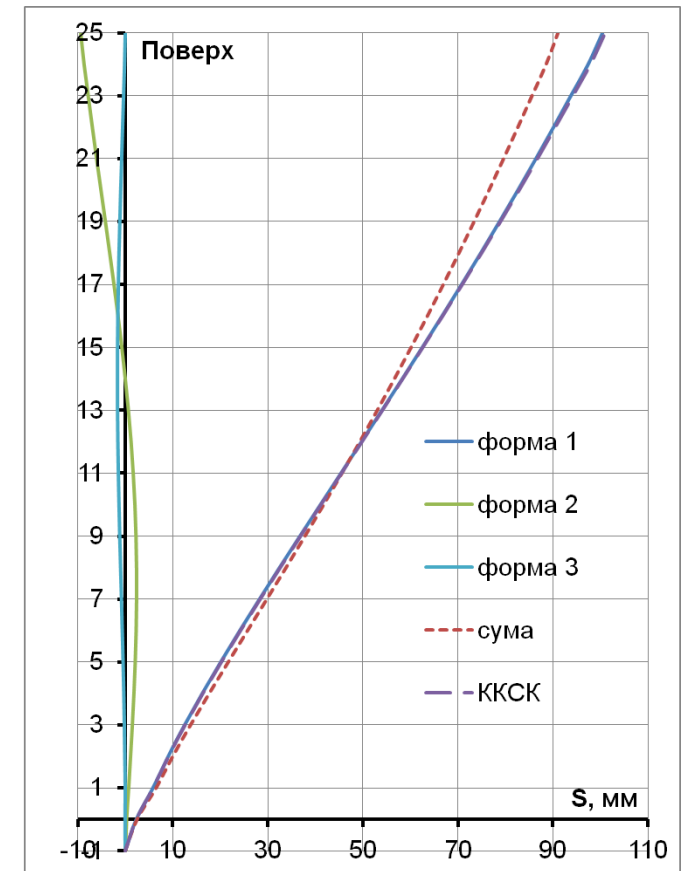
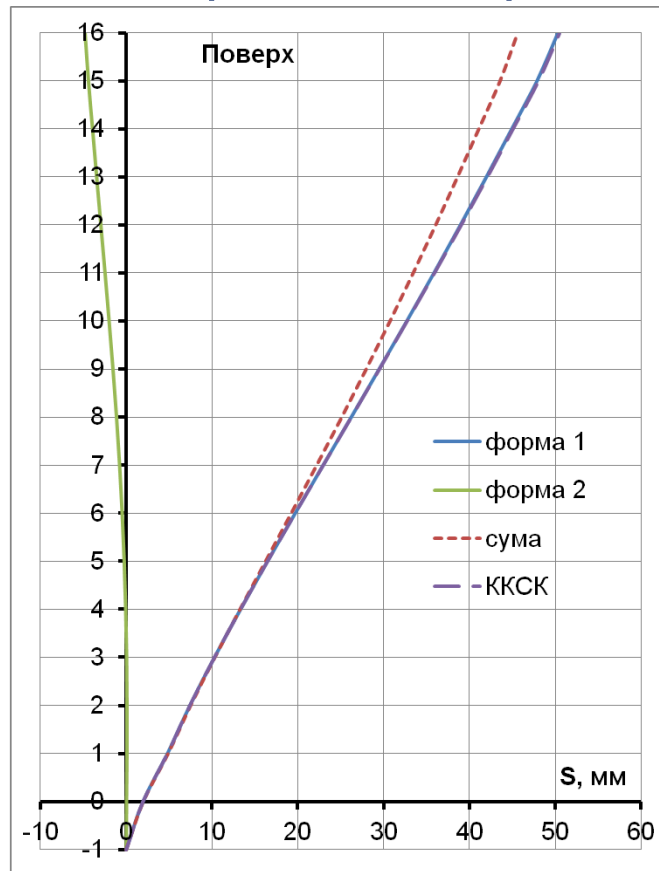
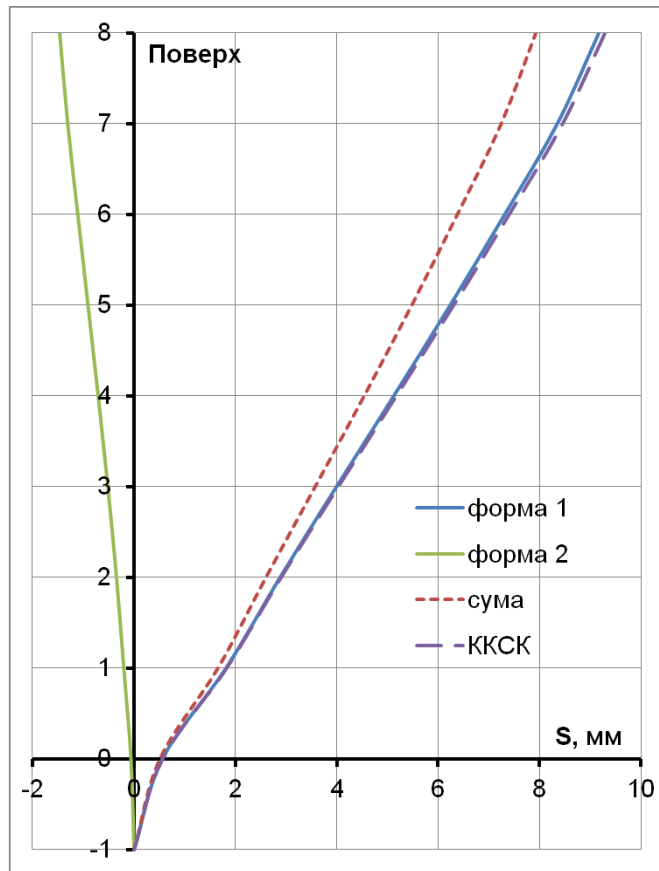
$k_3=1,76 \geq 1,6$

Параметр	Позначення	Будівля поверховістю		
		8	16	24
Період коливань	T_1	0.707	1.470	2.403
	T_2	0.699	0.898	1.283
	T_3	0.552	0.409	0.579
	T_4	0.275	0.376	0.439
	T_5	-	-	0.313
Відношення (%) модальних мас за формою до загальної суми	$M_1/M_{\text{заг}}$	78.71	70.85	69.69
	$M_2/M_{\text{заг}}$	21.16	26.57	22.09
	$M_3/M_{\text{заг}}$	-	-	7.00
	ΣM	99.87	97.42	98.78
Кількість врахованих форм		2	2	3

Примітки. 1. Заливкою відзначені форми коливань, які визначають напружено-деформований стан будівлі. Для подальшого порівняння використовуються параметри НДС, отримані за цими формами.

2. Для зручності подальшого порівняння нумерація форм, які аналізуються, прийнята від 1 до 3.

Горизонтальні переміщення (зверху) та перекоси поверхів (знизу) будівель різної поверховості



8 поверхів

16 поверхів

24 поверхи

Порівняння результатів розрахунку

Порівняння зусиль в основних несучих конструкціях будівель різної поверховості

N _{поверхів}	Елемент	Зусилля	Комбінація зусиль						Відношення (%) зусиль, отриманих за формами, до сумарних		
			P _{st}	P _{st} +P _{seis} m	P _{seism} за окремими формами				1	2	3
					1	2	3	Сума			
8	колони	N, кН	-226,6	-195,9	-42,3	-9,03	-	-51.33	82.41	17.59	-
		M, кН·м	34,5	37,7	16,1	2,98	-	19.08	84.38	15.62	-
		Q, кН	21,17	23,9	10,1	1,96	-	12.06	83.75	16.25	-
	палі	N, кН	-540,5	-469,3	-72,1	-11,7	-	-83.8	86.04	13.96	-
	стіни підвалу	N _x , кН	760	13,73	1220	145	-	1365	89.38	10.62	-
		N _y , кН	-4352	-5787	-2533	-283	-	-2816	89.95	10.05	-
	Середнє значення								85.98	14.02	-
16	колони	N, кН	-228,7	-223,5	-75,1	-24,4	-	-99.5	75.48	24.52	-
		M, кН·м	40,1	53,4	33,8	8,8	-	42.6	79.34	20.66	-
		Q, кН	25,5	37,5	23,5	6,23	-	29.73	79.04	20.96	-
	палі	N, кН	-914,4	-932,9	-380,2	-9,5	-	-389.7	97.56	2.44	-
	стіни підвалу	N _x , кН	1494	3249	2374	257	-	2631	90.23	9.77	-
		N _y , кН	-7887	-9769	-4994	-559	-	-5553	89.93	10.07	-
	Середнє значення								85.27	14.73	-
24	колони	N, кН	-236,9	-253,9	-117,4	-45,4	-10,7	-173.5	67.67	26.17	6.17
		M, кН·м	44,8	82,9	45,3	17,03	3,9	66.23	68.40	25.71	5.89
		Q, кН	31,6	58,4	31,6	12,1	2,5	46.2	68.40	26.19	5.41
	палі	N, кН	-1347,4	-1308,8	-337,9	-8,4	-1,9	-348.2	97.04	2.41	0.55
	стіни підвалу	N _x , кН	2595	4153	3433	680	93,3	4206.3	81.62	16.17	2.22
		N _y , кН	-12629	-14015	-6388	-1760	-173	-8321	76.77	21.15	2.08
	Середнє значення								76.65	19.63	3.72
Позначення. P _{st} – зусилля за основними РСН; P _{st} +P _{seism} – зусилля за аварійними РСН з урахуванням сейсмічного впливу; P _{seism} - зусилля за окремою формою коливань при сейсмічному впливі											

Порівняння результатів розрахунку

Порівняння деформаційних характеристик будівель різної поверховості

N _{поверхів}	Елемент	Параметр	Значення параметру					Різниця (%) параметрів, отриманих за першою формою, до сумарних
			Абсолютна сума	ККСК	за формами			
					1	2	3	
8	будівля	s, мм	7.926	9.29	9.18	-1.47	-	1.18
	поверх	Δ_{\max}	0.000324	0.000382	0.000377	0.000067	-	1.31
16	будівля	s, мм	45.61	50.55	50.33	-4.719	-	0.44
	поверх	Δ_{\max}	0.001	0.00110	0.00109	0.00001	-	0.91
24	будівля	s, мм	91.07	100.93	100.49	-9.44	0.02	0.44
	поверх	Δ_{\max}	0.00135	0.00145	0.00144	0.00031	0.00007	0.69

Позначення: s – переміщення в рівні верху будівлі, мм; Δ_{\max} – максимальний перекис поверхів

Примітка. Різниця (%) параметрів, отриманих за першою формою, до сумарних розрахована за залежністю (1)

Порівняння інерційних сил в рівні основи та верхнього поверху будівель різної поверховості

N _{поверхів}	Елемент	Параметр	Значення параметру				Різниця (%) параметрів, отриманих за першою формою, до сумарних
			Сумарне	за формами			
				1	2	3	
8	верх	S_v , кН	777.98	572.30	205.68	-	26.44
	основа	$S_{осн}$, кН	5618.79	4526.18	1092.6	-	19.45
16	верх	S_v , кН	968.46	618.04	350.42	-	36.18
	основа	$S_{осн}$, кН	10442.8	7170.93	3271.89	-	31.33
24	верх	S_v , кН	1041.1	396.87	426.877	217.35	58.87
	основа	$S_{осн}$, кН	12376.7	6633.24	4286.42	1457.02	46.40

Примітка. Різниця (%) параметрів, отриманих за першою формою, до сумарних розрахована за залежністю (1)

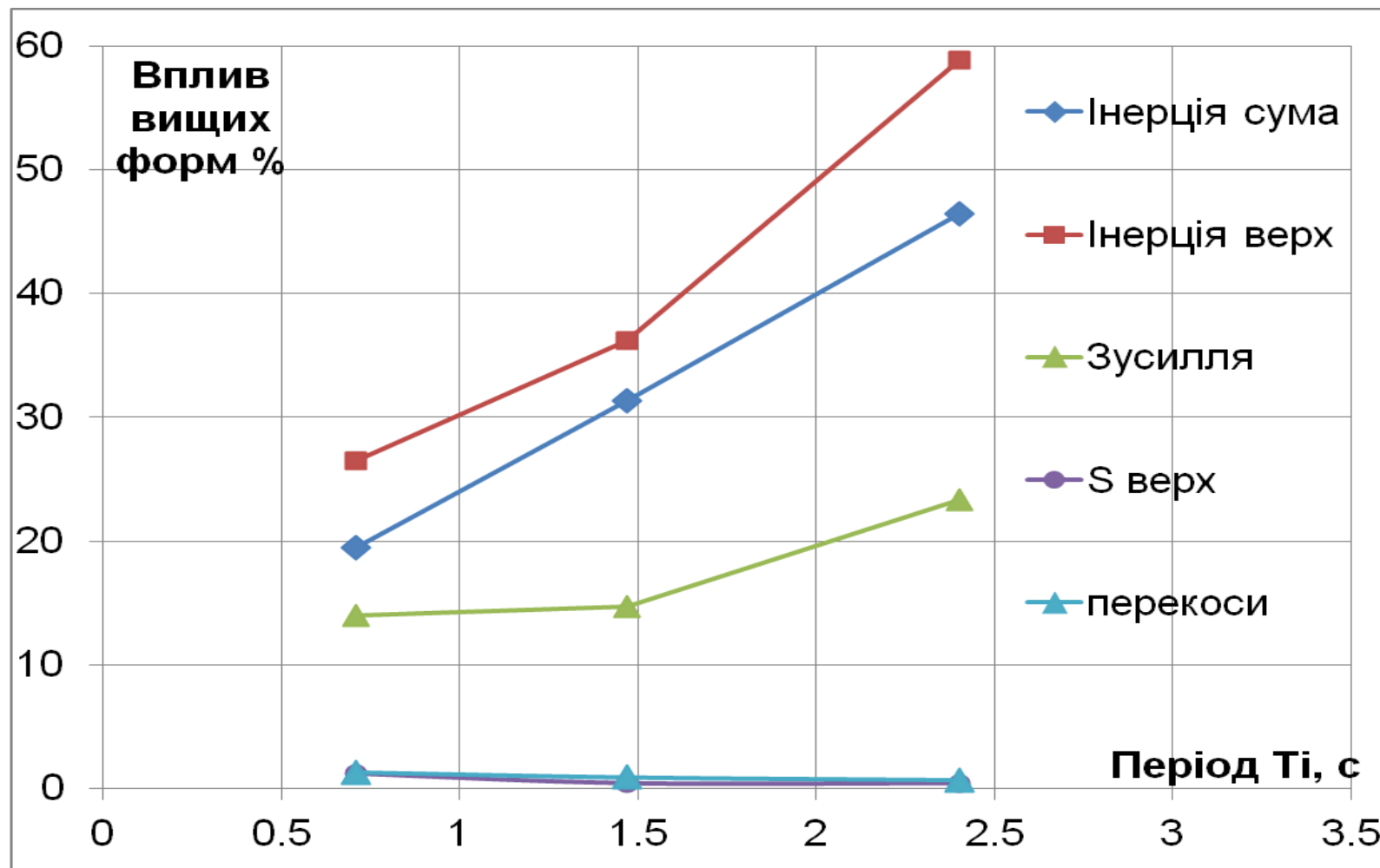
$$\alpha_R^{el} = \frac{R_N - R_1}{R_N} \times 100 \quad (1)$$

де α_R^{el} - відсоток впливу вищої форми у сейсмічній реакції R багатоповерхового каркасу;

R_1 і R_N - параметри лінійної спектральної реакції каркасу (зусилля, переміщення, перекося поверхів) з урахуванням тільки першої та N форм коливань відповідно.

Порівняння результатів розрахунку

12



Оцінка впливу вищих форм коливань (%) на параметри НДС будівель різної поверховості в залежності від періодів першої форми коливань T_1 кожної з будівель висотою 8, 16 та 24 поверхів, а саме:

- сумарних інерційних сил в рівні основи;
- інерційних сил в рівні верхнього поверху;
- зусиль в основних несучих конструкціях;
- переміщень в рівні верхнього поверху та перекосів поверхів.

Періоди перших форм коливань розглянутих варіантів будівель складають
 $T_8=0,707$ c; $T_{16}=1,47$ c; $T_{24}=2,43$ c

В роботі розглянуто основні методи розрахунку будівель і споруд на сейсмічні впливи відповідно до вимог нормативних документів України ДБН В.1.1-12:2014 та Європейських норм ДСТУ-Н Б EN 1998-1:2010 (Єврокод 8).

На основі аналізу положень нормативних документів, вітчизняних та закордонних наукових публікацій досліджено способи врахування факторів висоти будівель при визначенні сейсмічних навантажень та вищих форм коливань при розрахунках на сейсмічний вплив, зокрема щодо кількості форм, які мають бути враховані в розрахунках, методів обчислення сумарних параметрів сейсмічної реакції.

З використанням ПК «ЛІРА САПР» розроблено просторові розрахункові моделі та виконано чисельні дослідження НДС будівельних конструкцій житлової будівлі різної поверховості (8, 16 та 24 поверхи).

За результатами порівняльного аналізу отримано наступні основні результати:

- зі збільшенням поверховості будівель збільшується вклад вищих форм коливань у сумарну сейсмічну реакцію;
- найбільший вплив вищих форм зафіксовано на інерційні сили в рівні верхнього поверху (до 60%) та в основі будівлі (46%). В меншій мірі (в середньому до 25%) вищі форми впливають на зусилля в конструкціях;
- не виявлено значного впливу вищих форм коливань на деформаційні характеристики.

Розраховано витрати арматури при сейсмічному впливі інтенсивністю 7 балів, заданому за спектральним методом з урахуванням першої форми коливань та всіх форм коливань для будівлі висотою 16 поверхів. За результатами розрахунку максимальна вага додаткової арматури в колонах, діафрагмах жорсткості та стінах будівлі висотою 16 поверхів складає 17,78 т; вартість додаткової арматури складає 251 651,50 грн.



ГЕНЕРАЛЬНИЙ ПЛАН (1:500)



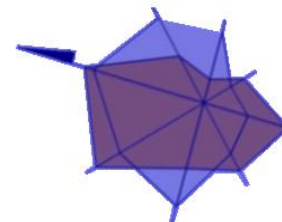
ПРОЕКТНІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

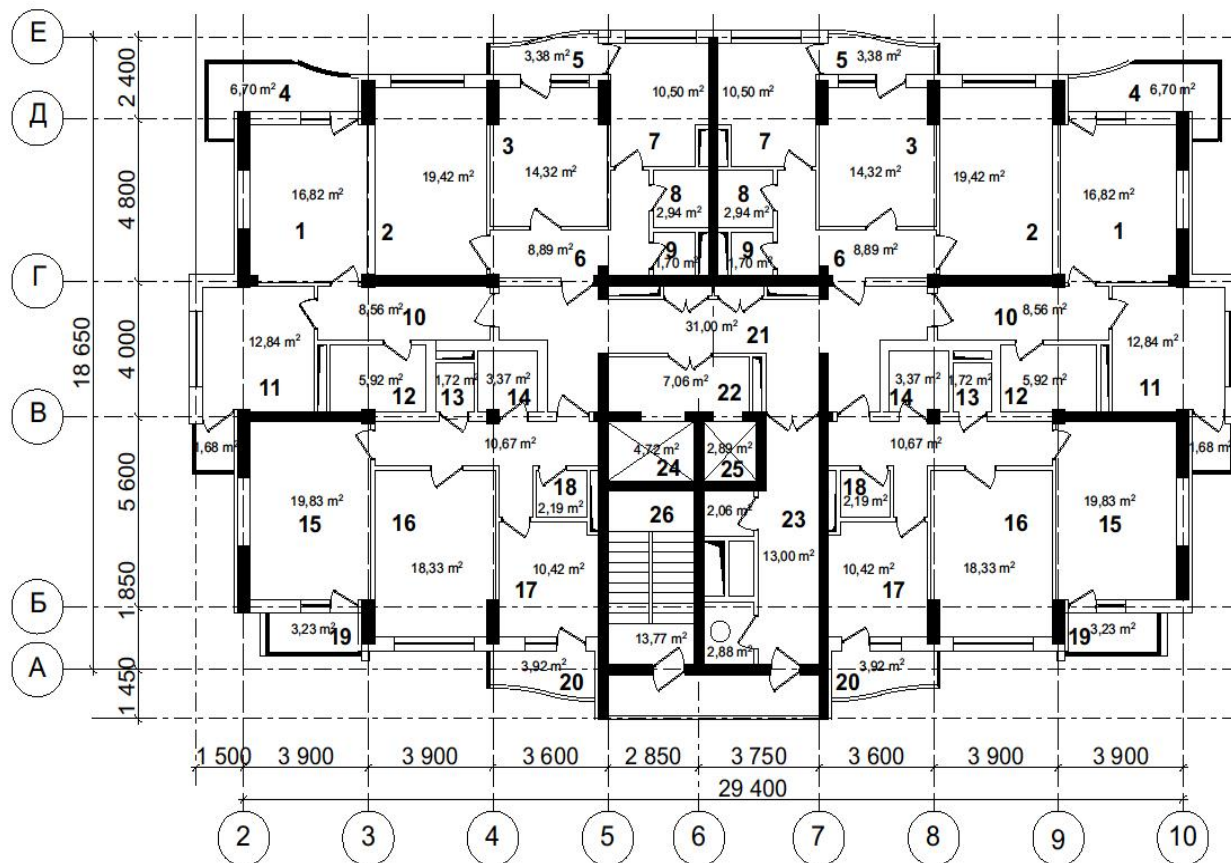
№ п/п	Познач.	Найменування
1	①	14-типоверховий житловий будинок
2	②	18-типоверховий житловий будинок
3	③	12-типоверховий житловий будинок
4	④	Автостоянка
5	⑤	В'їзд в підземний паркінг
6	⑥	Пандус
7	⑦	Дитяча площадка
8	⑧	Спортивна площадка
9	⑨	Місця для тихого відпочинку
10		Вулиця, дорога
11		Рух транспорту
12		Пішохідний перехід
13		Червона лінія
14		Зупинка громадського транспорту
15		Вимощення тротуару
16		Озеленення (деревні насадження)
17		Озеленення (газон)
18		Квітник



РОЗА ВІТРІВ



ПЛАН ТИПОВОГО ПОВЕРХУ (1:100)



ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ ТИПОВОГО ПОВЕРХУ

Позн.	Найменування	Площа, м ²	Позн.	Найменування	Площа, м ²
①	Житлова кімната	16,82	⑭	Ванна кімната	3,37
②	Житлова кімната	19,42	⑮	Житлова кімната	19,83
③	Житлова кімната	14,32	⑯	Житлова кімната	18,33
④	Балкон	6,70	⑰	Кухня	10,42
⑤	Балкон	3,38	⑱	Санвузол	2,19
⑥	Коридор	8,89	⑲	Балкон	3,23
⑦	Кухня	10,50	⑳	Балкон	3,92
⑧	Ванна кімната	2,94	㉑	Коридор	31,0
⑨	Санвузол	1,70	㉒	Тамбур	7,06
⑩	Коридор	8,56	㉓	Коридор	13,0
⑪	Кухня	12,84	㉔	Ліфт	4,72
⑫	Санвузол	5,92	㉕	Ліфт	2,89
⑬	Кладова	1,72	㉖	Сходова клітка	13,77

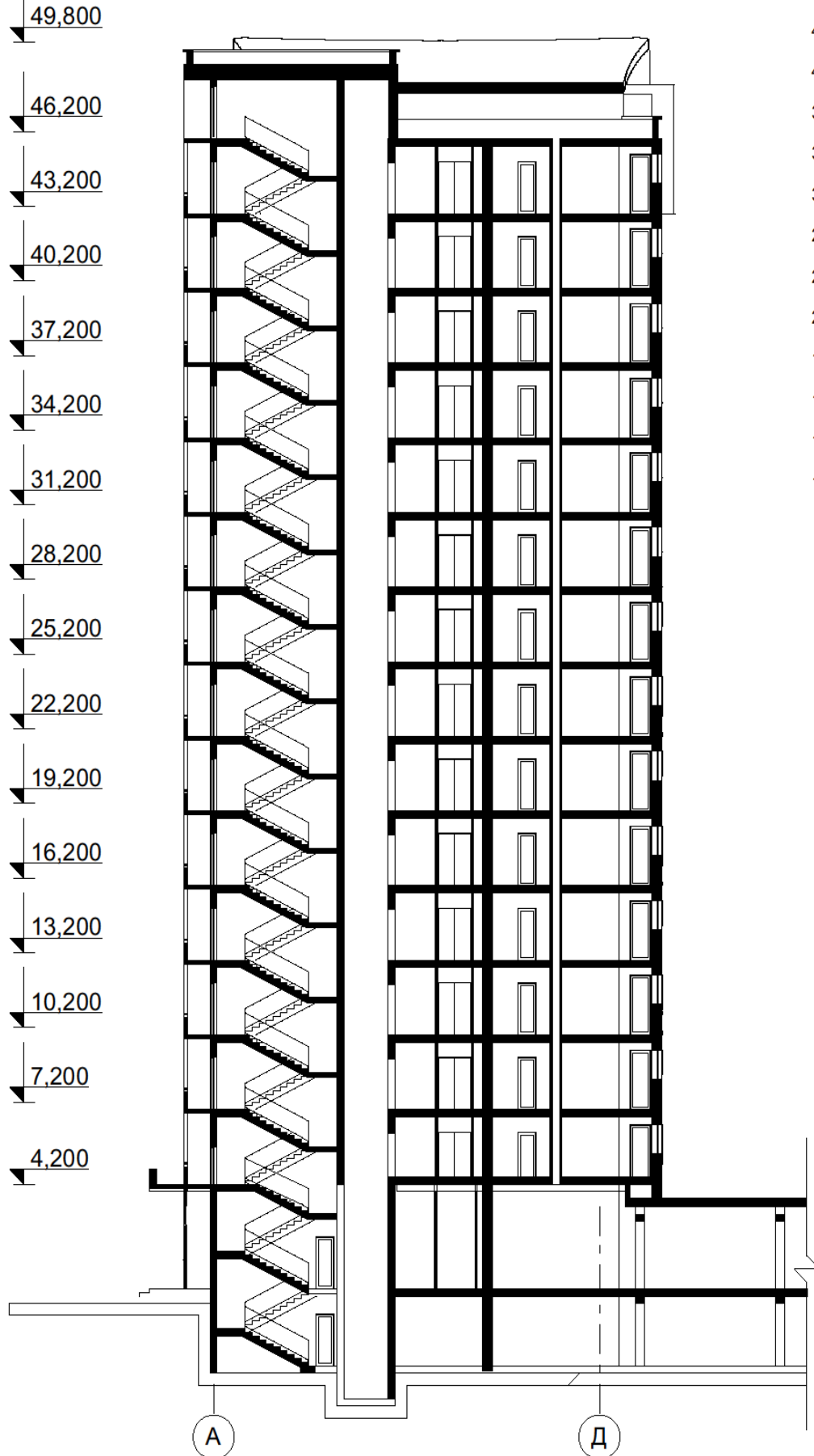
ЕКСПЛІКАЦІЯ ПРИМІЩЕНЬ НА ВІДМІТЦІ ±0. 000

Познач.	Найменування	Площа, м ²	Примітка
①	Промтоварний магазин	207,40	
②	Прибудована котельня	95,50	

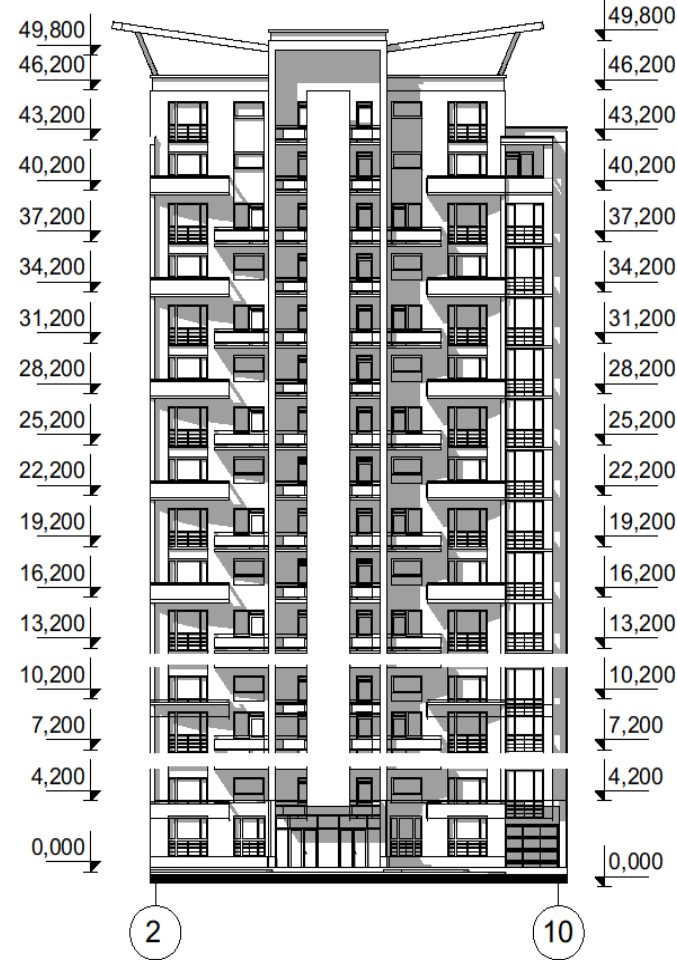
ПРОЕКТНІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ



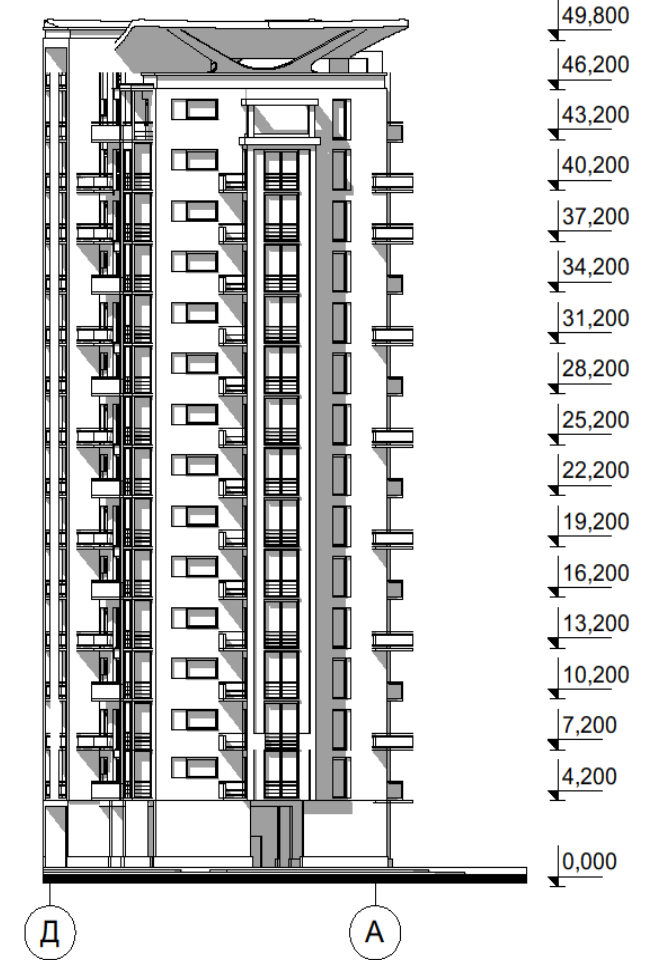
РОЗРІЗ 1-1 (1:100)



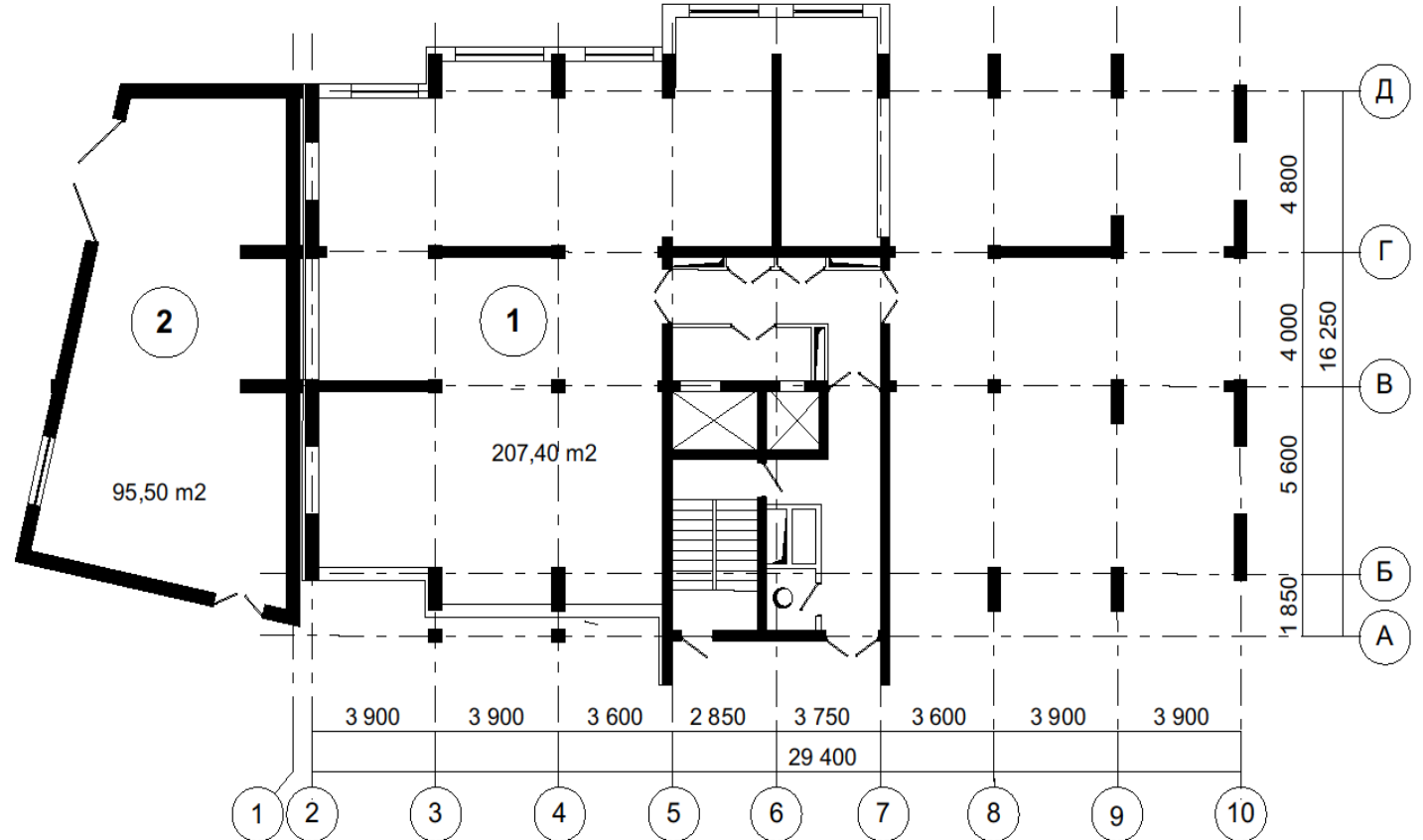
ФАСАД 2-10 (1:200)



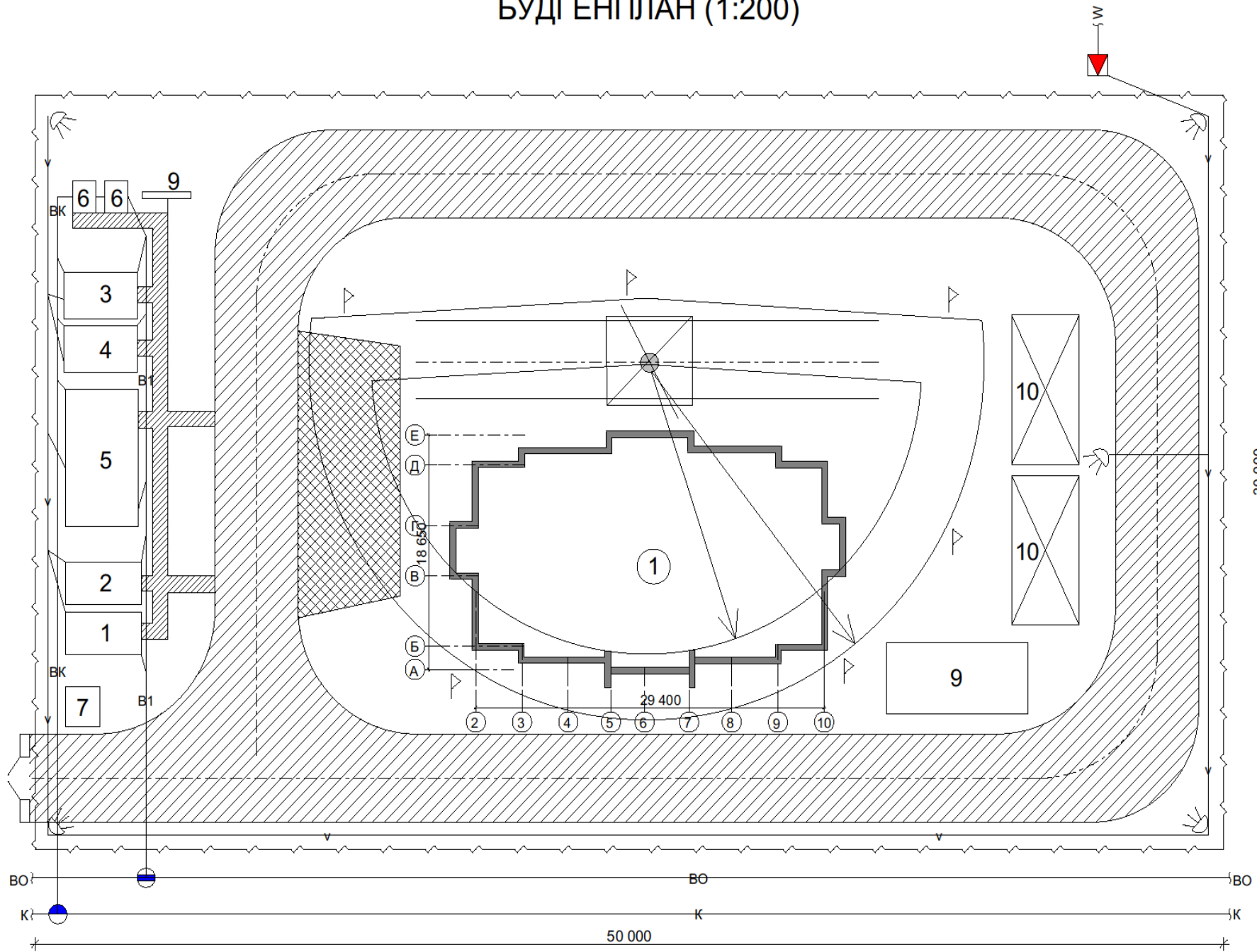
ФАСАД Д-А (1:200)



ПЛАН ПОВЕРХУ НА ВІДМІТЦІ ±0.000 (1:100)



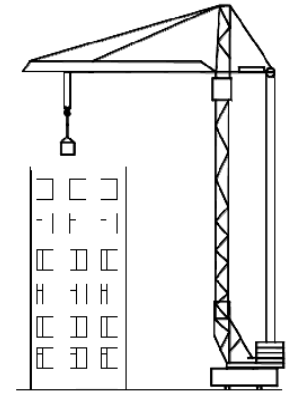
БУДГЕНПЛАН (1:200)



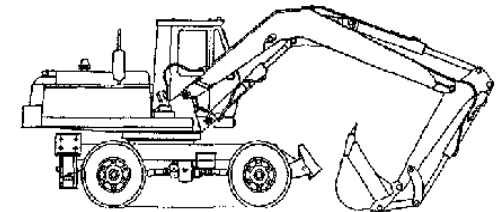
УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

№ п/п	Позначення	Найменування
1		Об'єкт, що будується
2		Місце для розвантаження
3		Тимчасові дороги і проходи
4		Тимчасові ЛЕП
5		Існуюча ЛЕП
6		Межа небезпечної зони крану
7		Тимчасова каналізація
8		Водопровід
9		Каналізаційна мережа
10		Каналізаційний колодязь
11		Водопровідний колодязь
12		Колодязь тимчасового водопроводу
13		Прожектор
14		Огородження буд. майданчику
15		Трансформаторна підстанція

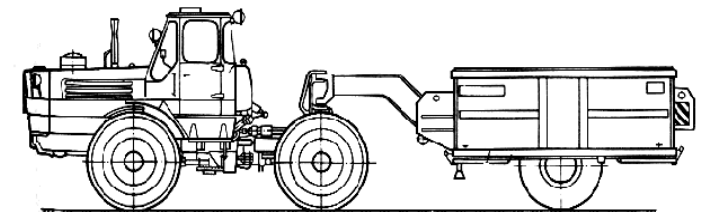
БУДІВЕЛЬНІ МАШИНИ І МЕХАНІЗМИ



Робота крану баштового



Екскаватор



Пневмоколісний каток

ТИМЧАСОВІ БУДІВЛІ І СПОРУДИ

№ п/п	Найменування	Примітка	№ п/п	Найменування	Примітка
1	Виконробська	30 м ²	6	Туалет	10,2 м ²
2	Диспетчерська	30 м ²	7	Прохідна	9 м ²
3	Гардеробні, душові для чоловіків	42 м ²	8	Щит з засобами пожежогасіння	3 шт.
4	Гардеробні, душові для жінок	42 м ²	9	Відкритий склад	175 м ²
5	Приміщення для прийому їжі	84 м ²	10	Закритий склад	220 м ²

