

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахунково-графічної роботи
з дисципліни “Сучасні методи проектування будівель та споруд”
для студентів спеціальності «192 будівництво та цивільна інженерія»
всіх форм навчання

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни “Сучасні методи проектування будівель та споруд” для студентів спеціальності «192 будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання. /Укладачі Грін О.О. - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 20 с.

Укладачі: Грін О.О. к.т.н., доцент

Рецензент: Кулік М.В. к.т.н., доцент

Відповідальний за випуск:
Назаренко О.М, к.т.н., доцент в.о.
зав. каф. будівельного
виробництва та управління
проектами НУ «Запорізька
політехніка»

Затверджено на засіданні кафедри
«Будівельного виробництва та
управління проектами» Протокол
№ 04 від 09.09.2021 р.

Рекомендовано до видання НМК
Факультету будівництва,
архітектури та дизайну Протокол
№ 2 від 14.09.2021 р.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	3
1 РОЗРАХУНОК БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ З ВРАХУВАННЯМ СЕЙСМІЧНИХ ДІЙ	4
1.1 Загальна частина	4
1.2 Вихідні дані до РГР.....	5
1.3 Навантаження та впливи на раму каркаса.....	5
1.4 Організація розрахунку багатоповерхової будівлі з врахуванням обчислювального комплексу ЛІРА	11
1.5 Застосування результатів розрахунків	17
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	18

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета розрахунково-графічної роботи – закріпити і розширити теоретичні знання, здобуті при вивченні дисциплін.

У загальному випадку робота складається із:

1. Статичного і динамічного розрахунку багатоповерхової будівлі з врахуванням сейсмічних впливів інтенсивністю 6 – 9 балів спектральним методом.

Рішення, що приймаються в процесі виконання РГР, мають передбачати застосування сучасних методів розрахунку і проектування та базуватися на вимогах нормативно-інструктивних державних документів.

1 РОЗРАХУНОК БАГАТОПОВЕРХОВОЇ БУДІВЛІ З ВРАХУВАННЯМ СЕЙСМІЧНИХ ДІЙ

1.1 Загальна частина

Сейсмічна небезпека території України визначається власними (місцевими) землетрусами в окремих районах країни і сильнодіючими землетрусами, які розповсюджуються із зони Румунських Карпат (зони Вранча). Сейсмічні райони з прогнозованою інтенсивністю 6 – 9 балів за шкалою MSK-84 в Україні займають близько 20% території, на якій проживає більше 7 млн. населення. Тому питанням сучасного сейсмостійкого будівництва приділяється значна увага.

В районах з сейсмічністю менше 6 балів будівництво будівель і споруд слід проводити як для несейсмічних районів; будівництво у районах з сейсмічністю 6 – 9 балів слід проводити з застосуванням розрахунків будівель і споруд на аварійне сполучення навантажень з врахуванням сейсмічних впливів. На майданчиках, сейсмічність яких перевищує 9 балів, будівництво допускається тільки за спеціального обґрунтування з дозволу центрального органу виконавчої влади з питань будівництва.

Цей розділ РГР присвячено статичному і динамічному розрахунку багатоповерхової будівлі громадського призначення з врахуванням сейсмічних впливів інтенсивністю 6 – 9 балів спектральним методом. Розрахунок будівлі виконується із застосуванням обчислюваного комплексу ЛПА, розробленого на основі метода кінцевих елементів. Клас наслідків (відповідальності) будівлі - СС1, категорія відповідальності конструкцій – А (таблиця 1 ДБН[1]).

Каркас будівлі – рамний, матеріал конструкцій – сталь або залізобетон. Геометричні розміри будівлі та перерізи її несучих конструкцій надані у таблиці 1.1 вихідних даних.

У таблиці 1.2 вихідних даних надаються сейсмічність району згідно з картою сейсмічного районування ЗСР-2004-А, категорія ґрунту за сейсмічними властивостями по ДБН[2]. Там же надаються граничні розрахункові значення навантажень від власної ваги перекриттів $q_{\text{пер}}$, і покриттів $q_{\text{пок}}$, характеристичні значення навантажень від стінового породження $q_{\text{ст}}^{3a}$, також корисного

навантаження $q_{\text{кор}}$ на перекриття. Снігове та вітрове навантаження приймаються згідно з відповідними районами по ДБН[3].

Рівень сейсмічного впливу визначено як проектний землетрус (ПЗ). Коефіцієнти надійності за призначенням прийнято згідно з таблицею 5 ДБН[1]. Для статичних розрахунків при усталених розрахункових ситуаціях $j_n = 1$, для динамічних розрахунків (аварійне сполучення навантажень) коефіцієнт надійності за призначенням приймається як для перехідної розрахункової ситуації $j_n = 0,95$.

1.2 Вихідні дані до РГР

Вихідні данні наведено в таблицях 1.1 – 1.3.

1.3 Навантаження та впливи на раму каркаса

Розглядаються наступні завантаження рам.

Завантаження №1 (рис. 1.1, а) враховує постійні навантаження від власної ваги конструкцій перекриття q_1 , покриття q_2 , колон q_3 , стінового огороження q_4 .

Завантаження №2 -- №7 (рис. 1.1, б, г, д і рис. 1.2. а, б, г) врахують навантаження на перекриття від обладнання та людей q_5 . Це навантаження, яке ще називають корисним, є короткочасним. В рамних схемах розглядаються, як правило, декілька схем навантажень – через проліт та через поверх.

Завантаження №8 (рис. 1.2, г) враховує навантаження від снігу S_1 на покриття будівлі.

Завантаження №9 і №10 (рис. 1.3, а, б) враховують навантаження від вітру при дії його відповідно зліва направо і справа наліво.

Розглянуті завантаження при розрахунках надають повну картину напружено-деформованого стану рами каркаса від статичної дії навантажень. На їх основні складається I основне поєднання (постійне навантаження і одне короткочасне з коефіцієнтом сполучення $\varphi_c = 1$), а також II основне поєднання (постійне навантаження і всі короткочасні, що довантажують, з коефіцієнтом сполучення $\varphi_c = 0,9$).

Динамічний розрахунок з врахуванням сейсмічного навантаження (епізодичного) вимагає розгляду аварійного поєднання навантажень з врахуванням наступних коефіцієнтів навантажень:

- для постійних навантажень, які враховують власну вагу залізобетонних, кам'яних і дерев'яних конструкцій $\varphi_c=0,9$;

Таблиця 1.1 - Геометрична схема рами і перерізи її елементів

№ вар	Матеріал каркаса	Ширина, м $k^{**} \cdot L$	Крок рам, B^{***} , м	Число поверхів, n	Висота поверху h_n , м	Перерізи		
						колона крайня	колона середня	ригель
1	Сталь	3·6,0	5,0	6	4,0	I 40 K2	I 40 K1	I 50 Ш1
2	Сталь	2·6,0	6,0	7	3,3	I 40 K1	I 40 K2	I 50 Ш1
3	Сталь	3·5,2	5,8	8	3,6	I 40 K1	I 40 K2	I 50 Ш1
4	Сталь	4·5,2	5,8	9	3,3	I 40 K2	I 40 K2	I 50 Ш1
5	Сталь	4·4,8	5,2	10	4,0	I 40 K2	I 40 K2	I 50 Ш1
6	Сталь	2·6,4	6,0	10	3,3	I 40 K1	I 40 K1	I 50 Ш2
7	Сталь	3·5,0	5,2	12	4,0	I 40 K2	I 40 K2	I 50 Ш1
8	Сталь	3·6,4	5,0	11	3,3	I 40 K1	I 40 K2	I 50 Ш2
9	Сталь	2·6,4	4,8	10	3,6	I 40 K2	I 40 K2	I 50 Ш2
10	Сталь	2·5,8	4,8	9	3,3	I 40 K1	I 40 K1	I 50 Ш1
11	Залізо-бетон	3·6,0	5,0	8	4,0	40·40	60·40	4·50
12	Залізо-бетон	4·4,2	6,0	9	3,3	40·40	60·40	Тавр*
13	Залізо-бетон	2·4,8	5,4	10	3,3	60·40	60·40	40·50

№ вар	Матеріал каркаса	Ширина, м $k^{**} \cdot L$	Крок рам, B^{***} , м	Число поверхів, n	Висота поверху h_n , м	Перерізи		
						колона крайня	колона середня	ригель
14	Залізобетон	4·4,8	5,8	7	3,3	40·40	60·40	Тавр*
15	Залізобетон	3·5,0	5,0	8	4,0	40·40	60·40	40·50
16	Залізобетон	3·5,2	4,8	11	3,3	40·40	60·40	Тавр*
17	Залізобетон	3·4,8	5,0	12	3,3	60·40	60·40	40·50
18	Залізобетон	2·6,2	6,0	13	3,6	60·40	60·40	Тавр*
19	Залізобетон	2·6,0	5,8	14	3,6	60·40	60·40	40·50
20	Залізобетон	3·4,2	5,4	10	4,0	40·40	60·40	Тавр*

∞

*Розміри ригеля таврового перерізу надані у таблиці 1.3.

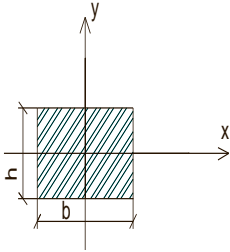
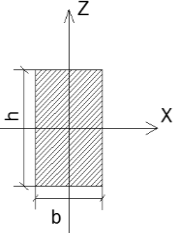
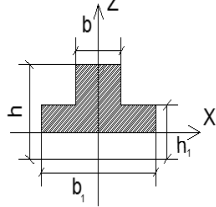
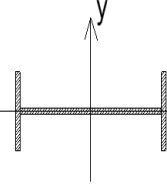
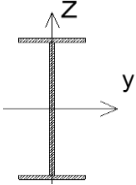
** k – кількість прольотів за шириною будівлі.

***Довжину будівлі в усіх варіантах прийняти рівною $b \cdot B$

Таблиця 1.2 -- Навантаження на раму каркаса

№ вар	Навантаження, кН/м ²				Сніговий район	Вітровий район	Тип місцевості	Сейсмічність району	Категорія ґрунту
	Розрахункове значення		Характеристичне значення.						
	q пер	q пок	q ст	q кор					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	6,0	3,8	2,4	2,0	1	5	III	8	I
3	6,2	3,5	2,4	2,0	3	3	I	6	III
4	6,3	3,6	2,4	2,0	4	2	IV	9	II
6	6,5	3,9	2,7	2,0	6	2	II	7	III
7	6,6	4,0	2,7	2,0	1	3	III	8	II
8	6,7	3,8	2,7	3,0	2	4	IV	9	II
9	6,8	3,9	2,7	4,0	3	5	IV	9	II
10	6,9	4,1	2,7	3,0	4	5	III	8	I
11	5,9	4,0	3,0	4,0	5	4	II	7	III
12	5,8	3,9	3,0	3,0	6	3	I	6	III
13	5,7	3,8	3,0	2,0	1	2	I	6	III
14	5,6	3,7	3,0	2,0	2	1	II	7	II
15	5,5	3,6	3,0	1,5	3	1	III	8	I
16	5,4	3,5	2,6	1,5	4	2	IV	9	I
17	5,3	3,4	2,6	1,5	5	3	IV	8	II
18	5,2	3,9	2,6	1,5	6	4	III	7	III
19	5,1	4,0	2,6	1,5	1	5	II	6	I
20	5,0	4,1	2,6	1,5	2	2	I	6	II

Таблиця 1.3 – Завдання жорсткості елементів рами

Характеристика	Залізобетонна рама			Сталева рама	
	Колона	Ригель	Ригель	Колона	Ригель
Форма Перерізів					
Розміри	$b = 60$ $h = 40$	$b = 40$ $h = 60$	$b = 20$ $h = 40$ $b = 40$ $h = 18$	Прокатний колонний двотавр	Прокатний двотавр
E т/м ²	$29 * 10^5$	$33 * 10^5$	$33 * 10^5$	$21 * 10^6$	$21 * 10^6$

- для постійних навантажень, які враховують власну вагу сталевих конструкцій $\varphi_c=0,95$;
- для тимчасових тривалих навантажень $\varphi_c=0,8$
- для короткочасних навантажень на
- перекриття і покриття $\varphi_c=0,5$.

Для формування динамічного (сейсмічного) навантаження використовуються ті статичні навантаження, які дають можливість врахувати максимальні значення мас. Тому для динамічного розрахунку необхідно розглянути ще одне умовне навантаження, яке передбачає корисне навантаження на перекриттях по всіх поверххах і прольотах.

Завантаження №11 (рис. 1.3, в) враховує корисне навантаження q_5 по всіх поверххах і прольотах.

Завантаження №12 (рис. 1.3, г) – динамічне (сейсмічне), яке формується із статичних завантажень з номерами 1(постійне), 8(снігове), 11(повне корисне). Можна задати вертикальний або горизонтальний сейсмічний вплив. В РГР проекті рекомендується виконувати розрахунок на горизонтальній сейсмічний вплив. Нагадуємо, що сейсмічне навантаження є різнознаковим.

1.4 Організація розрахунку багатоповерхової будівлі з врахуванням обчислювального комплексу ЛПА

1-шу розрахункову схему приймаємо у вигляді плоскої рами, яка розраховується за III ознакою.

Розрахункову схему багатоповерхової будівлі приймаємо у вигляді плоскої рами, яка розраховується з використанням ОК ЛПА за II ознакою. Зв'язки, які діють в опорах: закріплення від переміщень по осях X, Z і від повороту відносно осі Y.

Для динамічного розрахунку необхідно додатково задати інформацію у трьох діалогових вікнах. Текстове супроводження програмного комплексу ЛПА виконано російською мовою. У нашій розробці збережена мова оригіналу в тією частині, що торкається спілкування через діалогові вікна.

1.За допомогою меню “Нагрузки”, “Динамика” викликається діалогове вікно “Формирование динамических загружений из статических”. Динамічні завантаження формуються із тих статичних, що містять найбільші вертикальні навантаження.

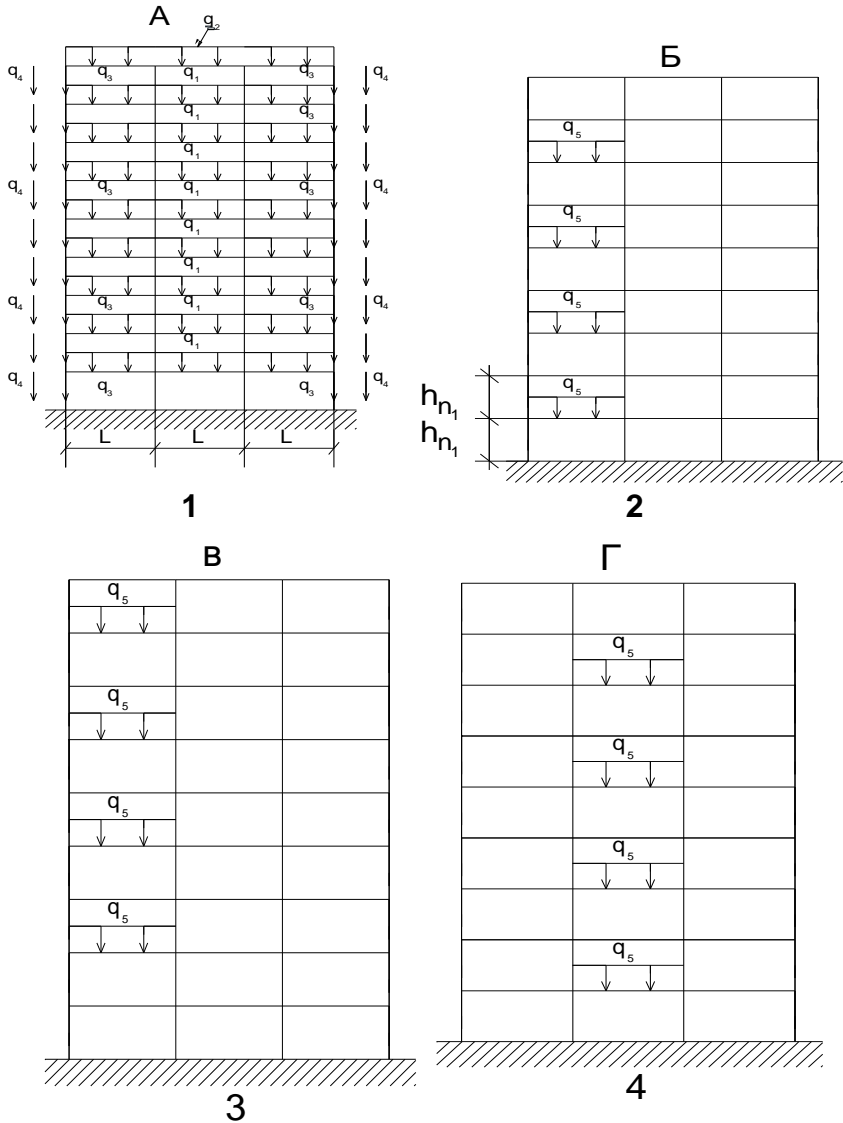


Рисунок 1.1 – Схема завантаження рами:
 а- з постійним навантаженням;
 б-г- з короточасним корисним навантаженням.

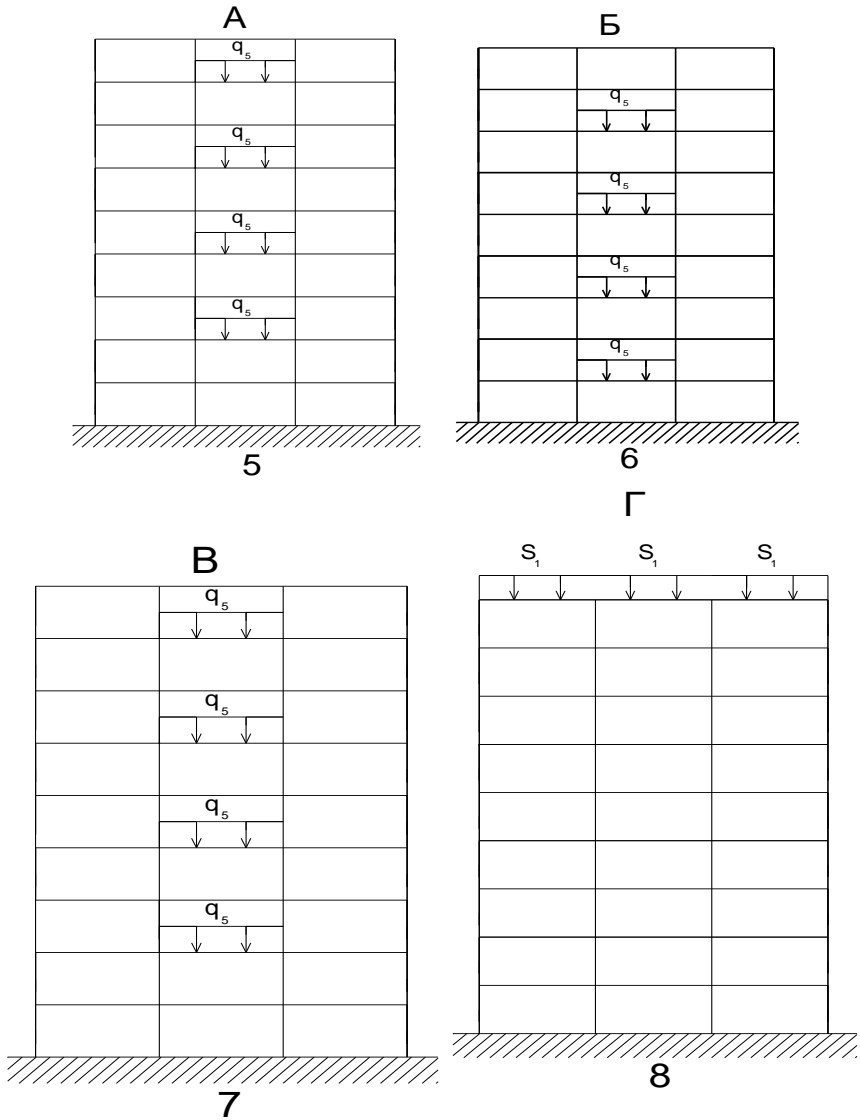


Рисунок 1.2 – Схеми завантаження рами:
 а-в з короточасним корисним навантаженням;
 г - з навантаженням від снігу.

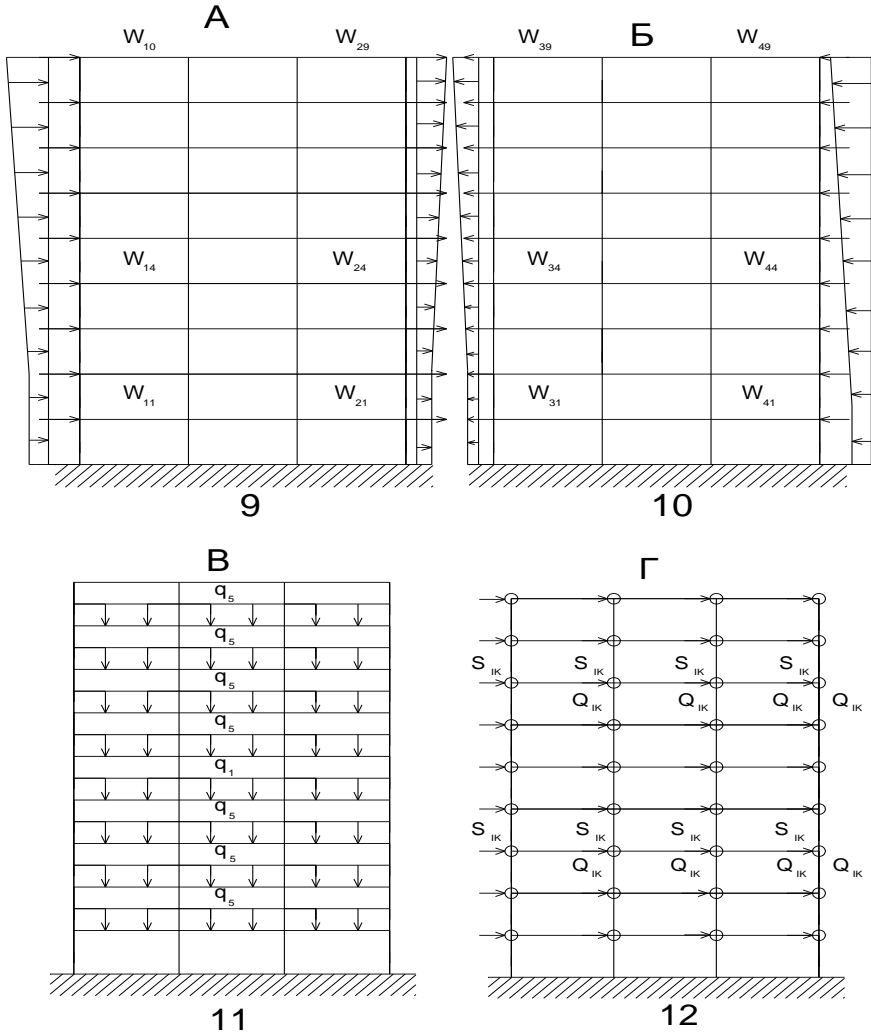


Рисунок 1.3 - Схеми завантаження рами: а-б - навантаження від вітру; в- з корисним навантаженням для аварійного сполучення навантажень; г- з сейсмічним горизонтальним навантаженням.

У нашому випадку динамічне завантаження формується з використанням навантажень: постійних (завантаження №1), снігового (завантаження №8), корисного по всіх поверххах і прольотах (завантаження №11).

Для динамічного завантаження №12 необхідно задати номери відповідних статичних завантажень -№1, №8 та №11. Як коефіцієнти перетворювання використовуються коефіцієнти сполучення φ_c . Зведена таблиця щодо випадку, який розглядається, має вигляд:

12	1	0,9
12	8	0,5
12	11	0,5

У першому стовпці надається номер динамічного навантаження, у другому – номер відповідного статичного навантаження, у третьому - коефіцієнти сполучень φ_c для аварійного поєднання.

2. Викликається діалогове вікно “*Задание характеристик для расчета на динамические воздействия*”, де формуються рядки, які характеризують кожне динамічне навантаження. Коли розглядати горизонтальну та вертикальну дію сейсмічного впливу, рядків буде два. Покажемо формування першого рядка, який характеризує горизонтальну дію сейсмічного впливу. Тут надається:

- *Номер загрузки* - 12;
- *Номер строки загрузки* – 1;
- *Наименования воздействия – сейсмическое* – 36 (ДБН, Україна);
- *Количество учитываемых форм собственных колебаний* – 5;
- *Номер соответствующего статического загрузки* – 0;
- *Матрица масс* – 1 (согласованная);
- *Печать результатов* – 0 (формы собственных колебаний и инерционные силы);

Натиснути кнопку “*Параметры*”.

3. Відкривається діалогове вікно “*Параметры для расчета сейсмические воздействия*”, де продовжується формування першого рядка наданням параметрів сейсмічної дії. Тут вказуються:

- *Поправочный коэффициент для сейсмических сил* – 0,95 (jп як для перехідних розрахункових ситуацій при рівні сейсмічного впливаПЗ);

- *Признак ориентации высоты сооружения – 3 (вдоль оси Z);*
- *Расстояние между дневной поверхностью земли и нулем расчетной схемы – 0 (0.75) м.;*
- *Тип сооружения – 1 (жилые, общественные и производственные здания);*
- *Категория грунта – 1 (2; 3) -- згідно з завданням;*
- *Относительное ускорение грунта a_0 в долях от ускорения свободного падения g -- 0,05 ($S=6$); 0,1 ($S=7$); 0,2 ($S=8$); 0,4 ($S=9$);*
- *Коэффициент K_1 – 0,25 (ДБН [2] табл. 1.3);*
- *Коэффициент K_2 – 1,00 (ДБН [2] табл. 1.4);*
- *Коэффициент нелинейного деформирования грунта-- 0,7...1,4 (ДБН [2] табл.1.6);*
- *Отношение максимального вертикального ускорения грунта к горизонтальному – 0.7 (0,5...1);*
- *Коэффициент K_3 , учитывающий этажность здания - >1 (ДБН [2] формула 2.2);*

Направляющие косинусы равнодействующей сейсмического воздействия в общей системе координат – $CX=1,0$; $CY=0,0$; $CZ=0,0$ -- при розрахунках з врахуванням горизонтальної дії сейсмічної сили; $CX=0,0$; $CY=0,0$; $CZ=1,0$ -- при розрахунках з врахуванням вертикальної дії сейсмічної сили.

Ці дані потрібно підтвердити.

У меню “Режим“ задати “Выполнить расчет“

Перший рядок таблиці для динамічного розрахунку буде мати вигляд:

1 36 5 0 1 0 0.95 3 0.00 1 2 0.4 0.25 1.00 0.7 0.7 1.02 1.0 0.0 0.0

При розрахунках з врахуванням вертикальної дії сейсмічної сили необхідно сформулювати другу строку завантаження. Для цього слід звернутися до діалогова вікна “Задание характеристик для расчета на динамические воздействия”, задати номер наступного завантаження – 13, номер наступного рядка – 2. У діалоговому вікні “Параметры для расчета на сейсмические воздействия”, де продовжується формування другого рядка, коефіцієнта a_0 ”задається із множителем 0.7, коефіцієнт $K_1=0.5$.

Другий рядок таблиці для динамічного розрахунку буде мати вигляд:

2 36 5 0 1 0 0.95 3 0.00 1 2 0.28 0.5 1.00 0.7 0.7 1.02 0.0 0.0 1.0

У меню “Режим“ задати “Выполнить расчет“

Дія вертикальних навантажень враховується тільки одночасно з горизонтальними сейсмічними навантаженнями.

1.5 Застосування результатів розрахунків

Після виконання розрахунків, переходять до перегляду анімації всіх завантажень, формують і аналізують таблиці результатів розрахунків та форми коливань У меню “окно ” виділити рядок “*Стандартные таблицы*”. Надаються таблиці:

- динамічні характеристики -- періоди і частоти власних коливань ;

- зусиль в елементах рами;

- переміщень вузлів рами;

Далі визначають:

- сполучення зусиль M_{max} і $N_{соот}$, N_{max} і $M_{соот}$, Q_{max} для колон першого поверху від усіх завантажень;

- максимальні переміщення вузлів останніх трьох поверхів для перевірки перекосів від сейсмічного навантаження.

Автоматизований розрахунок можна продовжити виконанням обчислювання розрахункових сполучень (РСН) або розрахункових сполучень зусиль (PCY).

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. Київ, Мінрегіонбуд. України, 2009.
2. ДБН В.1.1-12:2013 Будівництво в сейсмічних районах України, Київ Мінрегіонбуд. України 2013.-63с.
3. ДБН В.1.2-2:2006 (з додатками) Навантаження та впливи Київ, Мінрегіонбуд. України, 2006.-78с.
4. ДСТУ Б Д.2.2-48:2012 Вказівки щодо застосування ресурсних елементних кошторисних норм на будівельні роботи
5. ДБН В.1.2-12-2008. Будівництво в умовах ущільненої забудови. Вимоги безпеки.
6. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві.
7. ДБН А.3.1-5-2009 Організація будівельного виробництва.
8. ДБН А.2.2-3-2012 Склад та зміст проектної документації на будівництво. – Київ, 2012. – 29 с.
9. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. Справочное пособие к СНиП 2.09.03-85 Сооружение промышленных предприятий. М., ЦНИИПромзданий Госстроя СССР, 1996. – 104 с.
10. Механика грунтов, основания и фундаментов: Учебное пособие для вузов / Ухов С.Б., Семенов В.В., Знаменский В.В. и др.: – М., Высшая шк., 2002. – 566 с.
11. Слюсаренко С.А. Механика грунтов: Лабораторные работы: – Киев, Вища школа, 1982. – 56 с.
12. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология.: – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 520 с.
13. Жаданова К.Ф., Банах В.А., Шкода В.В. Динамика сооружений. Учебное пособие .- Запорожье: ЗГИА, 2001. -111с.
14. Городецкий А. С., Шмуклер В. С., Бондарев А. В. Информационные технологии расчета и проектирования строительных конструкций. Учебное пособие. -- Киев – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 889 с.

