

3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

3.1 Теоретические сведения

В связи с хаотичными колебаниями грунта сейсмические нагрузки могут иметь любое направление в пространстве. Для зданий простой геометрической формы их принимают горизонтальными в направлении продольных и поперечных осей здания (рисунок 2.3). Вертикальные сейсмические нагрузки учитывают для консольных частей зданий, а также при пролетах 24 м и более [1].

Расчетная сейсмическая нагрузка S_{ik} , приложенная к точке k и соответствующая i -той форме собственных колебаний, определяется по формуле

$$S_{ik} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{oik}, \quad (3.1)$$

где S_{oik} – сейсмическая нагрузка в предположении упругого деформирования конструкций,

$$S_{oik} = Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot k_o \cdot k_\psi \cdot \eta_{ik} \quad (3.2)$$

k_1 – коэффициент, учитывающий ответственность зданий, принимаемый равным 1 для жилых зданий (таблица А3);

k_2 – коэффициент редукции, учитывающий конструктивные решения зданий; для зданий с несущими каменными стенами $k_2 = 0,4$ (таблица А4);

k_3 – коэффициент, учитывающий количество этажей P ,

$$k_3 = 1 + 0,06 \cdot (P - 5), \quad 1 \leq k_3 \leq k_{3\max};$$

$k_{3\max} = 2$ для каменных зданий;

Q_k – вес здания, отнесенный к точке k расчетной схемы (рисунок 2.2,б);

A – коэффициент сейсмичности, зависит от балльности района строительства и принимается равным 0,125; 0,25; 0,5; 0,8 при сейсмичности соответственно 7, 8, 9 и 10 баллов (таблица А5);

β_i – динамический коэффициент, определяется в зависимости от периода колебаний и категории грунтов по сейсмическим свойствам [1]. При малых периодах колебаний ($T_i < 0,48$ сек), характерных для малоэтажных зданий, $\beta_i = 2,5$;

k_ψ – коэффициент, учитывающий способность объекта к рассеиванию энергии колебаний; для зданий $k_\psi = 1$ (таблица А7);

η_{ik} – коэффициент формы колебаний, зависящий от формы деформаций здания при его собственных колебаниях;

k_o – коэффициент, учитывающий грунтовые условия площадки строительства, принимаемый по таблице А6.

Для зданий высотой до пяти этажей включительно можно определять период колебаний по приближенной формуле

$$T_i = 0,056 \cdot P.$$

Если $T_i < 0,4$ сек, то в расчетах учитывается только первая форма колебаний, и индекс i в расчетных формулах можно исключить.

В этом случае коэффициент η_{ik} можно заменить на η_k и найти его по приближенной формуле

$$\eta_k = \frac{x_k \cdot \sum_{j=1}^n Q_j \cdot x_j}{\sum_{j=1}^n Q_j \cdot x_j^2} = \frac{x_k \cdot C}{D},$$

где $C = Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3 + Q_4 \cdot x_4$;

$$D = Q_1 \cdot x_1^2 + Q_2 \cdot x_2^2 + Q_3 \cdot x_3^2 + Q_4 \cdot x_4^2.$$

В этих формулах буквами x обозначены координаты чистого пола соответствующих этажей (рисунок 2.2,б), то есть геометрические размеры расчетной схемы.

3.2 Задача № 5

Определить горизонтальные сейсмические нагрузки для трехэтажного кирпичного здания с подвалом, объемно-планировочное решение которого представлено на рисунке 2.2,а; расчетная схема на рисунке 2.2,б.

3.2.1 Исходные данные

- 1). Сейсмичность района строительства – 7 баллов.
- 2). Категория грунтов по сейсмическим свойствам – III.
- 3). Поэтажные вертикальные нагрузки принять по результатам решения задачи № 4.

4). Отметки чистого пола этажей:

- пола подвала 2.78 м;
- пола первого этажа 0.00 м;
- пола второго этажа 3.33 м;
- пола третьего этажа 6.66 м;
- чердачного перекрытия 9.99 м.

3.2.2 Решение

Определим необходимые для расчета значения коэффициентов:

$k_1 = 1$ для жилых зданий;

$k_2 = 0,4$ для зданий с несущими каменными стенами;

$k_3 = 1 + 0,06 \cdot (P - 5) = 1 + 0,06 \cdot (4 - 5) < 1$, поэтому принимаем $k_3 = 1$;

$A = 0,125$;

$T = 0,056 \cdot P = 0,056 \cdot 4 = 0,224$ сек $< 0,48$ сек, поэтому принимаем $\beta = 2,5$;

$k_0 = 1,6$ (грунты III категории, таблица 2);

$k_\psi = 1$.

Геометрические размеры (рисунок 2.2,б):

$x_1 = 2,78$ м;

$x_2 = 2,78 + 3,33 = 6,11$ м;

$x_3 = 2,78 + 3,33 + 3,33 = 9,44$ м;

$x_4 = 2,78 + 3,33 + 3,33 + 3,33 = 12,77$ м.

$$C = Q_1 \cdot x_1 + Q_2 \cdot x_2 + Q_3 \cdot x_3 + Q_4 \cdot x_4 = 4190,5 \cdot 2,78 + 6358,5 \cdot 6,11 + 6283,5 \cdot 9,44 + 6248,6 \cdot 12,77 = 189610,9 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$D = Q_1 \cdot x_1^2 + Q_2 \cdot x_2^2 + Q_3 \cdot x_3^2 + Q_4 \cdot x_4^2 = 4190,5 \cdot 2,78^2 + 6358,5 \cdot 6,11^2 + 6283,5 \cdot 9,44^2 + 6248,6 \cdot 12,77^2 = 1848684,6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

$$\eta_1 = \frac{x_1 \cdot C}{D} = \frac{2,78 \cdot 189610,9}{1848684,6} = 0,285;$$

$$\eta_2 = \frac{x_2 \cdot C}{D} = \frac{6,11 \cdot 189610,9}{1848684,6} = 0,627;$$

$$\eta_3 = \frac{x_3 \cdot C}{D} = \frac{9,44 \cdot 189610,9}{1848684,6} = 0,968;$$

$$\eta_4 = \frac{x_4 \cdot C}{D} = \frac{12,77 \cdot 189610,9}{1848684,6} = 1,309.$$

Находим сейсмические нагрузки:

$$S_{o1} = Q_1 \cdot A \cdot \beta \cdot k_o \cdot k_\psi \cdot \eta_1 = 4190,5 \cdot 0,125 \cdot 2,5 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,285 = 597,1 \text{ кН};$$

$$S_{o2} = Q_2 \cdot A \cdot \beta \cdot k_o \cdot k_\psi \cdot \eta_2 = 6358,5 \cdot 0,125 \cdot 2,5 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,627 = 1993,4 \text{ кН};$$

$$S_{o3} = Q_3 \cdot A \cdot \beta \cdot k_o \cdot k_\psi \cdot \eta_3 = 6283,5 \cdot 0,125 \cdot 2,5 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 0,968 = 3041,2 \text{ кН};$$

$$S_{o4} = Q_4 \cdot A \cdot \beta \cdot k_o \cdot k_\psi \cdot \eta_4 = 6248,6 \cdot 0,125 \cdot 2,5 \cdot 1,6 \cdot 1 \cdot 1,309 = 4089,7 \text{ кН};$$

$$S_1 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{o1} = 1 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 597,1 = 238,8 \text{ кН};$$

$$S_2 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{o2} = 1 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 1993,4 = 797,4 \text{ кН};$$

$$S_3 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{o3} = 1 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 3041,2 = 1216,5 \text{ кН};$$

$$S_4 = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot S_{o4} = 1 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 4089,7 = 1635,9 \text{ кН}.$$

Построим эпюру поперечных сил, для чего определим горизонтальные сейсмические силы, действующие на уровнях перекрытий:

- чердачного

$$\sum_4^4 S_k = 1635,9 \text{ кН};$$

- второго этажа

$$\sum_3^4 S_k = 1216,5 + 1635,9 = 2852,4 \text{ кН};$$

- первого этажа

$$\sum_2^4 S_k = 797,4 + 1216,5 + 1635,9 = 3649,8 \text{ кН};$$

- подвала

$$\sum_1^4 S_k = 238,8 + 797,4 + 1216,5 + 1635,9 = 3888,6 \text{ кН}.$$

Расчетная схема здания и эпюра горизонтальных поперечных сейсмических сил приводится на рисунке 3.1.

Таблица 8.3 – Исходные данные к задачам № 5, 6, 7

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Сейсмичность района строительства, баллы	7	8	9	8	9	7	7	8	9	8
Категория грунтов по сейсмическим свойствам	II	III	I	II	II	III	II	II	I	I
Отметки этажей: - пола подвала	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8	-2,9	-3,0	-2,5	-2,6	-2,7	-2,8
- пола первого этажа	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- пола второго этажа	3,0	3,05	3,1	3,15	3,2	3,0	3,1	3,3	3,2	3,0
- пола третьего этажа	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,0	6,2	6,6	6,4	6,0
- чердачного перекрытия	9,0	9,15	9,3	9,45	9,6	9,0	9,3	9,9	9,6	9,0

Номер варианта по таблице 8.3 принимается по разности двух последних цифр шифра.

Поэтажные вертикальные нагрузки принять по результатам решения задачи №4. Исходные данные для задачи №7 принять по результатам решения задачи №6, размеры простенков – по рисунку 5.1.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Справочные материалы к расчету

Таблица А1 – Характеристика сейсмических свойств грунтов
(выборка из [1]).

Категория грунта по сей- смиче- ским свой- ствам	Грунты	Сейсмичность площадки строи- тельства при сей- смичности района, баллы			
		7	8	9	10
I	Скальные грунты всех видов невыветрелые и слабовыветрелые; крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта $\rho \geq 2,2 \text{ т/м}^3$), содержание до 30% песчано-глинистого заполнителя, неводонасыщенные.	7	8	9	10
II	Скальные грунты выветрелые и сильновыветрелые, кроме отнесенных к категории I; крупнообломочные грунты, кроме отнесенных к категории I; пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности маловлажные и влажные; пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности маловлажные; глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e < 0,9$ для глин и суглинков и $e < 0,7$ – для супесей.	7	8	9	10
III	Пески гравелистые, крупные и средней крупности плотные и средней плотности водонасыщенные; пески рыхлые независимо от степени влажности и крупности, а также пески мелкие и пылеватые плотные и средней плотности влажные и водонасыщенные; глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,5$, независимо от коэффициента пористости; глинистые грунты с показателем текучести $I_L \leq 0,5$ при коэффициенте пористости $e \geq 0,9$ – для глин и суглинков, и $e \geq 0,7$ – для супесей.	8	9	10	По результатам исследований

Примечания:

1. Относить грунты площадки к I категории по сейсмическим свойствам допускается при мощности слоя, соответствующего I категории, более 30 м, считая от черной отметки в случае насыпи или от планировочной отметки в случае выемки.

2. В случае неоднородного состава грунты площадки строительства следует относить к более неблагоприятной категории грунта по сейсмическим свойствам, если в пределах 10-метрового слоя грунта, считая от планировочной отметки в случае выемки и черной отметки – в случае насыпи, слой, относящийся к этой категории, имеет суммарную толщину более 5 м.

3. Для особо ответственных зданий и сооружений, строящихся в районах сейсмичностью 6 баллов на площадках с грунтами III категории по сейсмическим свойствам, сейсмичность строительных площадок следует принимать равной 7 баллам.

Таблица А2 – Выборка из списка населенных пунктов Республики Казахстан, расположенных в сейсмических районах, с указанием для них сейсмичности в баллах и повторяемости сейсмического воздействия

Населенный пункт	Сейсмичность района, в баллах
Восточно-Казахстанская область	
Акжар	8 ₂
Белоусовка	7 ₂
Берель	9 ₂
Буран	8 ₂
Глубокое	7 ₂
Зайсан*	8 ₂
Зыряновск	7 ₂
Катон-Карагай	9*
Маканчи	7 ₂
Серебрянск	7 ₂
Риддер	7 ₂
Рахмановские ключи	9 ₂

Примечание:

Пункты с сейсмичностью 9 баллов, находящиеся в зонах возможного возникновения очагов землетрясений (зонах ВОЗ) с магнитудами 7.1 и более, отмечены знаком (*) возле цифры. Землетрясения с такими магнитудами могут вызвать на поверхности земли остаточные деформации, разрушительные эффекты типа обвалов, оползней, селей, а также сейсмические воздействия интенсивностью более 9 баллов.

Пункты, для которых имеются карты сейсмического микрорайонирования, отмечены знаком (*) возле названия.

Таблица А3 – Коэффициенты K_1 , учитывающие ответственность зданий

Характеристика сооружений	Значения коэффициента K_1
1. Сооружения, повреждения которых способны вызвать опасные экологические последствия; здания и сооружения, в которых остаточные деформации и локальные повреждения конструкции (осадки, трещины и др.) не допускаются.	По соответствующим нормативным документам
2. а) особо ответственные здания; б) здания и сооружения, указанные в п. 1.1 (примечание 3) норм проектирования [1]	По техническим условиям
3. Здания и сооружения, функционирование которых необходимо при ликвидации последствий землетрясений и для защиты населения (системы энерго- и водоснабжения, пожарные депо, системы пожаротушения, сооружения связи, здания органов национальной безопасности и внутренних дел, здания и сооружения организаций по ликвидации чрезвычайных ситуаций, здания больниц с травматологическими и хирургическими отделениями и т.п.).	1,5
4. Здания и сооружения, эксплуатация которых связана с длительным скоплением большого количества людей (большие и средние вокзалы, крытые стадионы, концертные залы и другие зрелищные сооружения); здания музеев; памятники, представляющие большую художественную и историческую ценность.	1,5
5. Здания дошкольных учреждений, школ, больниц (кроме указанных в п. 3), домов престарелых и т.п.	1,2
6. Малоответственные здания и сооружения, повреждения которых не представляют угрозы для безопасности людей, не сопровождаются порчей ценного оборудования, не вызывают прекращения непрерывных технологических процессов и /или загрязнения окружающей среды (небольшие одноэтажные сельскохозяйственные и складские сооружения, временные одноэтажные сооружения, легкие открытые летние павильоны).	0,5 (по согласованию с заказчиком)
7. Здания и сооружения (жилые, административные, общественные, производственные, сельскохозяйственные и т.п.), не указанные в позициях 1-6	1,0

Примечание:

Перечень зданий и сооружений по п.п. 1, 2.а и 3 составляется соответствующими министерствами или ведомствами по согласованию с государственным органом по делам архитектуры, градостроительства и строительства.

Таблица А4 – Коэффициенты редукиции K_2 , учитывающие конструктивные решения зданий

Конструктивные типы зданий	Значения коэффициента K_2
1. Бескаркасные здания: с несущими стенами из монолитного железобетона, крупнопанельные, объемно-блочные, с деревянными рублеными стенами: а) перекрестно-стеновых конструктивных систем с наружными и внутренними несущими стенами, расположенными с шагом не более 6 м, и перекрытиями, опирающимися по четырем сторонам на стены; б) других стеновых конструктивных систем.	0,20 0,25
2. Каркасные здания, кроме указанных в п. 3: а) рамных конструктивных систем в виде полных пространственных ригельных каркасов, имеющих все жесткие узлы соединений колонн и ригелей; рамно-связевых и связевых конструктивных систем с ригельными каркасами, имеющими все жесткие узлы соединений колонн и ригелей; каркасно-стеновых конструктивных систем; одноэтажных (всех конструктивных систем); б) других каркасных конструктивных систем.	0,25 0,30
3. Здания с нижними "гибкими" каркасными этажами; здания на свайных фундаментах с высоким ростверком.	0,35
4. Здания с каменно-монолитными стенами; здания с несущими стенами из кирпичной (каменной) кладки комплексной конструкции.	0,30
5. Здания с несущими стенами из кирпичной (каменной) кладки; крупноблочные здания.	0,40
6. Здания с несущими стенами из местных строительных материалов (саманные, глинобитные, из кирпича-сырца и им подобные).	По результатам исследований

Примечание:

При расчете зданий, перечисленных в п. 3 таблицы А4, указанное значение коэффициента K_2 следует применять при определении расчетных усилий в несущих конструкциях "гибких" этажей и свайных фундаментов с высоким ростверком. При определении расчетных усилий в конструкциях других этажей значение коэффициента K_2 допускается принимать в соответствии с конструктивными решениями этих этажей.

Таблица А5 – Коэффициенты сейсмичности

Коэффициенты сейсмичности	Значения коэффициентов A_{Γ} и $A_{\text{В}}$ при сейсмичности района строительства (в баллах)			
	7	8	9	10
A_{Γ}	0,125	0,25	0,5	0,8
$A_{\text{В}}$	0,08	0,18	0,4	0,7

Примечания:

1. A_{Γ} – значение коэффициента сейсмичности, принимаемое при определении горизонтальных расчетных сейсмических нагрузок; $A_{\text{В}}$ – значение коэффициента сейсмичности, принимаемое при определении вертикальных расчетных сейсмических нагрузок.

2. Значения коэффициентов A_{Γ} и $A_{\text{В}}$, приведенные в таблице А5, соответствуют площадкам со средними грунтовыми условиями (категория II по таблице А1).

3. При наличии утвержденной карты сейсмического микрорайонирования с количественными параметрами ожидаемых сейсмических воздействий на площадке строительства значения коэффициентов A_{Γ} и $A_{\text{В}}$ допускается принимать в соответствии с данными этой карты.

Таблица А6 – Коэффициенты K_{\circ} , учитывающие грунтовые условия площадки строительства

Категория грунта площадки строительства	Значения коэффициента K_{\circ} при сейсмичности района строительства (в баллах)			
	7	8	9	10
I	0,5	0,7	1,0	1,0
II	1,0	1,0	1,0	1,0
III	1,6	1,4	1,2	*

* Принимать по результатам специальных исследований.

Таблица А7 – Коэффициенты K_{Ψ} , учитывающие способность здания к рассеиванию энергии колебаний

Характеристика зданий и сооружений	Значения коэффициента K_{Ψ}
1. Сооружения типа этажерок без заполнения	1,2
2. Здания и сооружения, не указанные в пункте 1	1,0