

## 4 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК МЕЖДУ НЕСУЩИМИ СТЕНАМИ

### 4.1 Теоретические сведения

Распределение горизонтальных сейсмических нагрузок между несущими стенами производится:

- прямо пропорционально площади горизонтального сечения стены;
- прямо пропорционально расстояниям от этой стены до соседних слева и справа.

Рассмотрим распределение нагрузок между продольными стенами здания, план которого показан на рисунке 2.1.

Горизонтальная сейсмическая нагрузка, приходящаяся на стену по оси  $m$  для  $k$ -го этажа равна:

$$S_{km} = (v_1 \cdot \mu_m + v_2 \cdot \frac{\overline{L}_m}{L}) \cdot S_k = v_m \cdot S_k,$$

где  $v_1$  и  $v_2$  – коэффициенты, зависящие от конструкций междуэтажных перекрытий; для перекрытий из сборных железобетонных плит  $v_1 = 0,6$ ;  $v_2 = 0,4$ ;

$\mu_m$  – отношение площади горизонтального сечения стены по оси  $m$  к площади сечения всех продольных стен,

$$\mu_m = \frac{A_m}{\sum_{i=1}^n A_i};$$

$A_m$  – площадь горизонтального сечения стены по оси  $m$ ;

$\sum_{i=1}^n A_i$  – суммарная площадь горизонтального сечения всех продольных стен;

$L$  – длина здания в направлении, перпендикулярном сейсмическим силам;

$$\overline{L}_m = 0,5 \cdot (\ell_{m-1} + \ell_m),$$

где  $\ell_{m-1}$  и  $\ell_m$  – расстояния между рассматриваемой стеной и соседними слева ( $\ell_{m-1}$ ) и справа ( $\ell_m$ );

$S_k$  – горизонтальная сейсмическая сила в уровне перекрытия  $k$ -того этажа (рисунок 3.1, в).

Распределение горизонтальных сейсмических нагрузок между поперечными стенами производится с учетом кручения, если длина здания превышает 30 м. Формула для определения расчетной сейсмической нагрузки, действующей на стену по оси  $m$  для  $k$ -того этажа, имеет вид

$$S_{km}^{kp} = S_{km} \cdot (1 + \lambda_m),$$

где  $S_{km}$  – сейсмическая нагрузка без учета кручения;

$$\lambda_m = 0,4 \cdot \frac{B_m}{L};$$

$B_m$  – расстояние от середины здания до оси стены  $m$ ;

$L$  – длина здания.

## 4.2 Задача № 6

Определить горизонтальные сейсмические нагрузки, действующие на продольные и поперечные стены трехэтажного кирпичного здания с подвалом, объемно-планировочное решение которого представлено на рисунках 2.1 и 2.2. Межэтажные перекрытия выполнены из сборных железобетонных плит.

### 4.2.1 Исходные данные

План здания представлен на рисунке 2.1. Поэтажные сейсмические нагрузки принять по результатам расчета, выполненного в задаче № 5 (рисунок 3.1, в).

### 4.2.2 Решение

Определим горизонтальные сейсмические нагрузки, действующие на продольные стены по рядам А, Б и В (рисунок 2.1). Наружные стены (по рядам А и В) одинаковые. Площади стен в  $m^2$  находим по размерам, приведенным на рисунке 2.1.

Площади наружных стен равны

$$A_A = A_B = (10 \cdot 1,42 + 2 \cdot 1,51 + 2) \cdot 0,51 = 9,8 \text{ м}^2;$$

площадь внутренней стены

$$A_B = (41,42 - 4 \cdot 0,92 - 2 \cdot 1,52) \cdot 0,38 = 13,2 \text{ м}^2.$$

Общая площадь

$$\sum_{i=1}^n A_i = A_A + A_B + A_B = 9,8 \cdot 2 + 13,2 = 32,8 \text{ м}^2.$$

Для стен по рядам А и В вычислим

$$\overline{L}_A = \overline{L}_B = 0,5 \cdot (0 + 6) = 3 \text{ м},$$

для стены по ряду Б

$$\overline{L}_B = 0,5 \cdot (6 + 6) = 6 \text{ м}.$$

Так как расположение стен на всех этажах одинаковое, то можно записать для каждого этажа:

$$S_{КА} = S_{КВ} = \left(0,6 \cdot \frac{9,8}{32,8} + 0,4 \cdot \frac{3}{12}\right) \cdot S_K = 0,28 \cdot S_K;$$

$$S_{КБ} = \left(0,6 \cdot \frac{13,2}{32,8} + 0,4 \cdot \frac{6}{12}\right) \cdot S_K = 0,44 \cdot S_K.$$

По этим формулам определяем горизонтальные поперечные сейсмические силы. Для наружных стен по рядам А и В они равны:

- на уровне перекрытия номер четыре (чердачное)

$$S_{4A} = S_{4B} = 0,28 \cdot S_4 = 0,28 \cdot 1635,9 = 458,1 \text{ кН};$$

- на уровне перекрытия номер три

$$S_{3A} = S_{3B} = 0,28 \cdot (S_4 + S_3) = 0,28 \cdot 2852,4 = 798,7 \text{ кН};$$

- на уровне перекрытия номер два

$$S_{2A} = S_{2B} = 0,28 \cdot (S_4 + S_3 + S_2) = 0,28 \cdot 3649,8 = 1021,9 \text{ кН};$$

- на уровне перекрытия номер один

$$S_{1A} = S_{1B} = 0,28 \cdot (S_4 + S_3 + S_2 + S_1) = 0,28 \cdot 3888,6 = 1088,8 \text{ кН}.$$

Для внутренней стены по ряду Б получим:

- на уровне перекрытия номер четыре (чердачное)

$$S_{4B} = 0,44 \cdot S_4 = 0,44 \cdot 1635,9 = 719,8 \text{ кН};$$

- на уровне перекрытия номер три

$$S_{3B} = 0,44 \cdot (S_4 + S_3) = 0,44 \cdot 2852,4 = 1255,1 \text{ кН};$$

- на уровне перекрытия номер два

$$S_{2B} = 0,44 \cdot (S_4 + S_3 + S_2) = 0,44 \cdot 3649,8 = 1605,9 \text{ кН};$$

- на уровне перекрытия номер один

$$S_{1B} = 0,44 \cdot (S_4 + S_3 + S_2 + S_1) = 0,44 \cdot 3888,6 = 1711 \text{ кН}.$$

Определим сейсмические нагрузки, действующие на поперечные стены здания по осям 1, 3, 4, 7, 10, 11, 13 (рисунок 2.1). Так как длина здания превышает 30 м, расчет ведется с учетом кручения в плане. При этом учтем, что симметричными являются стены, расположенные по осям 1 и 13, 3 и 11, 4 и 10. Вначале вычислим коэффициенты  $\lambda_m$ , учитывающие кручение, и покажем их на эпюрах (рисунок 4.1). Так, для осей 1 и 13

$$\lambda_1 = \lambda_{13} = 0,4 \cdot \frac{20,4}{40,8} = 0,2;$$

для осей 3 и 11

$$\lambda_3 = \lambda_{11} = 0,4 \cdot \frac{13,5}{40,8} = 0,132;$$

для осей 4 и 10

$$\lambda_4 = \lambda_{10} = 0,4 \cdot \frac{10,2}{40,8} = 0,1;$$

для оси 7

$$\lambda_7 = 0,4 \cdot \frac{0}{40,8} = 0.$$

Затем построим эпюру  $(1 + \lambda_m)$ .

Вычисление сейсмических нагрузок без учета кручения производится аналогично расчету продольных стен.

Результаты расчета приводятся в таблицах 4.1 и 4.2. Вначале определяются коэффициенты  $\nu_m$ , затем – сейсмические нагрузки без учета и с учетом кручения.

Площади стен определяют по рисунку 2.1.

Суммарная площадь поперечных стен равна

$$\sum_{i=1}^n A_i = 6,44 \cdot 2 + 4,45 \cdot 2 + 4,1 \cdot 2 + 4,8 = 34,78 \text{ м}^2.$$

Выполним расчет для стен по осям 1 и 13

$$\mu_m = \frac{A_m}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{6,44}{34,78} = 0,185;$$

$$\overline{L}_m = 0,5 \cdot (\ell_{m-1} + \ell_m) = 0,5 \cdot (0 + 6,9) = 3,45 \text{ м};$$

$$\frac{\overline{L}_m}{L} = \frac{3,45}{40,8} = 0,085;$$

$$\nu_m = (\nu_1 \cdot \mu_m + \nu_2 \cdot \frac{\overline{L}_m}{L}) = 0,6 \cdot 0,185 + 0,4 \cdot 0,085 = 0,145;$$

сейсмические силы без учета кручения на уровне перекрытия номер четыре (чердачного)

$$S_{4,1} = S_{4,13} = \nu_m \cdot S_4 = 0,145 \cdot 1635,9 = 237,2 \text{ кН};$$

номер три

$$S_{3,1} = S_{3,13} = \nu_m \cdot (S_4 + S_3) = 0,145 \cdot 2852,4 = 413,6 \text{ кН};$$

номер два

$$S_{2,1} = S_{2,13} = \nu_m \cdot (S_4 + S_3 + S_2) = 0,145 \cdot 3649,8 = 529,2 \text{ кН};$$

номер один

$$S_{1,1} = S_{1,13} = \nu_m \cdot (S_4 + S_3 + S_2 + S_1) = 0,145 \cdot 3888,6 = 563,8 \text{ кН}.$$

То же, с учетом кручения:

$$S_{4,1}^{kp} = S_{4,13}^{kp} = S_{4,1} \cdot (1 + \lambda_1) = 237,2 \cdot 1,2 = 284,6 \text{ кН};$$

$$S_{3,1}^{kp} = S_{3,13}^{kp} = S_{3,1} \cdot (1 + \lambda_1) = 413,6 \cdot 1,2 = 496,3 \text{ кН};$$

$$S_{2,1}^{kp} = S_{2,13}^{kp} = S_{2,1} \cdot (1 + \lambda_1) = 529,2 \cdot 1,2 = 635 \text{ кН};$$

$$S_{1,1}^{kp} = S_{1,13}^{kp} = S_{1,1} \cdot (1 + \lambda_1) = 563,8 \cdot 1,2 = 676,6 \text{ кН}.$$

Для стен по осям 3 и 11, 4 и 10, 7 расчет выполняется аналогично.

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 слабыветрелые; крупнообломочные грунты преимущественно из магматических пород (более 70%), плотные (плотность грунта $\rho \geq 2,2$ т/м <sup>3</sup> ), 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 <sub>2</sub>
Белоусовка	7 <sub>2</sub>
Берель	9 <sub>2</sub>
Буран	8 <sub>2</sub>
Глубокое	7 <sub>2</sub>
Зайсан*	8 <sub>2</sub>
Зыряновск	7 <sub>2</sub>
Катон-Карагай	9*
Маканчи	7 <sub>2</sub>
Серебрянск	7 <sub>2</sub>
Риддер	7 <sub>2</sub>
Рахмановские ключи	9 <sub>2</sub>

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

**Примечания:**

1.  $A_{\Gamma}$  – 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  $A_{\Gamma}$  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  $A_{\Gamma}$  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  $K_{\Psi}$ , учитывающие способность здания к рассеиванию энергии колебаний

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