

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра железобетонных и каменных конструкций

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА НЕСУЩИЕ КОНСТРУКЦИИ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ

Методические указания к курсовой работе по дисциплине  
*«Теория расчета и проектирования»* направление подготовки 08.04.01 «Строительство»  
для студентов прикладной магистратуры очной и заочной формы обучения

Составители: Кабанцев О.В., Елшина Л.И.

©Национальный исследовательский  
Московский государственный  
строительный университет, 2019

Москва  
2019

УДК 624.012.3  
ББК 38.66.1  
П79

*Рецензент: Доктор технических наук, профессор А.Г. Тамразян,  
заведующий кафедрой ЖБК НИУ МГСУ*

**П79 Определение нагрузок на несущие конструкции многоэтажного здания**

[Электронный ресурс]: методические указания к курсовой работе по дисциплине «Теория расчета и проектирования» направление подготовки 08.04.01 «Строительство» для студентов прикладной магистратуры очной и заочной формы обучения / Составители: О.В. Кабанцев, А.И. Бедов, Л.И. Елшина; М-во образования и науки Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т; каф. железобет. и камен. констр. - Электрон. дан. И прогр. - Москва : Изд-во Моск.гос.строит.ун-та., 2019. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/> - Загл. с титул. экрана

Приведена методика и примеры расчетов параметров постоянных и временных нагрузок, нагрузок от ветровых и сейсмических воздействий, обоснование для учета одновременно-го действия отдельных загрузений с формированием перечня комбинаций загрузений для перекрытия типового этажа, покрытия и здания в целом. В методические указания включен необходимый для проектирования железобетонных конструкций справочный материал.

Для студентов прикладной магистратуры очной и заочной форм обучения направления подготовки 08.03.01 СТРОИТЕЛЬСТВО.

*Учебное электронное издание*

© Национальный исследовательский  
Московский государственный  
Строительный университет, 2019



Редактор  
Технический редактор корректор  
Компьютерная верстка  
Дизайн первого титульного экрана

*Для создания электронного издания использовано:*  
Microsoft Word 2007, приложение pdf2swf из Swftools, ПО IPRbooks Reader

Подписано к использованию. \_\_\_\_\_ г. Уч.изд. Объем данных Мб  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»  
129337, Москва, Ярославское ш.,26.

Издательство МИСИ – МГСУ.  
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Библиографический список.		4
Задание к выполнению курсовой работы.		5
1	Краткий анализ несущей системы здания.	10
2	Определение видов нагрузок с формированием перечня загружений.	11
3	Расчет параметров постоянных нагрузок на перекрытие типового этажа.	14
4	Расчет параметров временных длительно действующих нагрузок на перекрытие типового этажа.	15
5	Расчет параметров временных кратковременных (эксплуатационных) нагрузок на перекрытие типового этажа.	17
6	Расчет параметров длительно действующей части временных кратковременных (эксплуатационных) нагрузок на перекрытие типового этажа.	18
7	Расчет параметров атмосферных воздействий – ветровых нагрузок (статической и пульсационной составляющих) .	18
8	Расчет параметров сейсмических воздействий.	24
9	Определение параметров учета одновременного действия нагрузок .	27
10	Вопросы к защите курсовой работы.	31

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1	Федеральный закон №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
2	ГОСТ Р 54257-2010 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования.
3	СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*– М., 2014.
4	СП 20.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М., 2016.
5	СП 63.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 52-01- 2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М., 2012.
6	Перельмутер А.В., Гордеев В.Н. и др. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М: Изд. АСВ, 2007, 478 с.
7	Железобетонные и каменные конструкции: учебник для ВУЗов /Кумпяк О.Г. и др: под ред. О.Г. Кумпяка. – М.: Изд-во АСВ, 2011.-672 с.

## ЗАДАНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В составе курсовой работы следует выполнить:

1. Привести краткую характеристику несущей системы здания.
2. Расчет нагрузок на несущие конструкции многоэтажного здания в том числе:
  - 2.1. Постоянные нагрузки на перекрытие типового этажа и покрытие;
  - 2.2. Временные длительно действующие нагрузки на перекрытие типового этажа и покрытие;
  - 2.3. Временные кратковременные нагрузки на перекрытие типового этажа;
  - 2.4. Расчет параметров длительно действующей части временных кратковременных (эксплуатационных) нагрузок на перекрытие типового этажа;
3. Расчет нагрузок от ветровых воздействий на несущие конструкции здания;
4. Расчет нагрузок от сейсмических воздействий на несущие конструкции здания (расчет нагрузок выполняется для высоты зданий 5 этажей).
5. Для перекрытия типового этажа и покрытия определить состав нагружений и метод учета одновременного действия нагружений. Сформировать перечень комбинаций нагружений.

### Требования по оформлению работы

Текст пояснительной записки оформить в текстовом редакторе WORD на листах формата А4 (поля по всем сторонам листа – 2 см, шрифт Times New Roman, кегль 12, интервал – одинарный).

### Исходные данные для выполнения курсовой работы.

#### Геометрические характеристики зданий.

**Таблица 1. Варианты задания курсовой работы по геометрии здания.**

Параметр	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Геометрия здания										
Тип несущей системы	ТС-1	ТС-2	ТС-3	ТС-4	ТС-1	ТС-2	ТС-3	ТС-4	ТС-1	ТС-2
Размер в поперечном направлении (м)	15	18	15	18	15	18	15	18	15	18
Размер в продольном направлении	36	42	48	48	36	42	48	48	36	42

(м)										
Число надземных этажей	9	12	9	12	14	16	9	12	9	12
Высота этажа (м)	2,7	3,0	3,3	3,6	2,7	3,0	3,3	3,6	3,9	3,0

Таблица 1. Продолжение.

Параметр	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Геометрия здания										
Тип несущей системы	ТС-1	ТС-2	ТС-3	ТС-4	ТС-1	ТС-2	ТС-3	ТС-4	ТС-1	ТС-2
Размер в поперечном направлении (м)	15	18	15	18	15	18	15	18	15	18
Размер в продольном направлении (м)	36	42	48	48	36	42	48	48	36	42
Число надземных этажей	9	12	9	12	14	16	9	12	9	12
Высота этажа (м)	3,9	3,3	3,0	2,7	3,6	3,9	3,0	3,3	3,0	3,9

Тип несущей системы:

ТС-1 – монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами (рамно-связевая схема); перекрытия безбалочной конструктивной схемы с бескапитальным стыком колонны и плиты перекрытия.

ТС-2 – монолитный железобетонный каркас без связевых элементов (рамная схема); перекрытия – монолитные железобетонные по монолитным железобетонным ригелям.

ТС-3 - стальной каркас с диафрагмами (стальные колонны и ригели) и монолитное железобетонное перекрытие (рамно-связевая схема); перекрытия – монолитные железобетонные по ригелям из стального проката.

ТС-4 - стальной каркас без связевых элементов (стальные колонны и ригели) и монолитное железобетонное перекрытие (рамная схема); перекрытия – монолитные железобетонные по ригелям из стального проката.

### **Характеристики перекрытия типового этажа и покрытия**

#### **А). Типы перекрытия типового этажа и покрытия**

**1 – типовой этаж жилых и общественных зданий.**

- Плита перекрытия монолитная железобетонная толщиной  $h_1$  мм из тяжелого бетона.
- Подготовка толщиной 88 мм из мелкозернистого бетона объемным весом  $A$  кН/м<sup>3</sup>.
- Покрытие пола из материала  $B$  толщиной  $h_3$  мм.
- Тип пола: **B1** - керамическая плитка по основанию из легкого бетона D1500 толщиной 88 мм; **B2** – ламинат по основанию из легкого бетона D1500 толщиной 90 мм; **B3** - природный камень по основанию из мелкозернистого бетона толщиной 82 мм; **B-4** – паркет (16 мм) на подложке из фанеры (12 мм) по основанию из легкого бетона D1500 толщиной 72 мм.

**2 – покрытие жилых и общественных зданий.**

- Плита покрытия монолитная железобетонная толщиной  $h_4$  мм из тяжелого бетона.
- Выравнивающая стяжка толщиной  $h_5$  мм из мелкозернистого бетона объемным весом  $A$  кН/м<sup>3</sup>.
- Слой утеплителя толщиной  $h_6$  мм объемным весом  $C$  кН/м<sup>3</sup>.
- Слой керамзита объемным весом  $D$  кН/м<sup>3</sup> (для создания уклона) средней толщиной  $h_7$  мм.
- Выравнивающая стяжка толщиной  $h_8$  мм из мелкозернистого бетона объемным весом  $A$  кН/м<sup>3</sup>.
- Гидроизоляционный ковер из 2-х слоев гидростеклоизола.

Таблица 2. Параметры для определения нагрузок на перекрытия

Параметр	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Перекрытие</b>										
$h_1$ (мм)	200	220	180	220	200	220	180	200	220	180
$h_2$ (мм)	22	20	20	22	20	24	25	18	20	20
$h_3$ (мм)	8	10	20	8	10	12	10	12	8	12
$A$ (кН/м <sup>3</sup> )	15,0	15,0	18,0	15,0	15,0	18,0	15,0	18,5	15,0	17,0
$B$ – тип покрытия пола	B1	B2	B3	B1	B1	B1	B2	B3	B1	B2
Эквивалентная нормативная нагрузка от перегородок (кПа)	1,4	1,35	1,3	1,4	1,2	1,0	1,1	1,25	1,15	1,05
Тип помещений типового этажа (см. табл.3)	2.2	2.3	2.5	2.2	2.3	2.4	2.5	2.3	2.4	2.5
<b>Покрытие</b>										
$h_4$ (мм)	200	220	200	220	200	220	200	220	200	220
$h_5$ (мм)	20	15	22	25	24	18	24	20	18	24

h <sub>6</sub> (мм)	200	180	220	150	180	170	210	230	170	150
h <sub>7</sub> (мм)	250	200	240	220	230	250	210	240	235	245
h <sub>8</sub> (мм)	30	30	25	30	25	35	20	25	30	35
C (кН/м <sup>3</sup> )	0,98	0,80	0,90	0,75	0,85	0,65	0,85	0,70	0,60	0,50
D (кН/м <sup>3</sup> )	2,9	3,9	4,9	5,9	2,9	3,9	4,9	5,9	3,9	4,9

Таблица 2. Продолжение

Параметр	№ варианта									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Перекрытие										
h <sub>1</sub> (мм)	240	250	260	270	240	230	240	280	250	280
h <sub>2</sub> (мм)	22	20	20	22	20	24	25	18	20	20
h <sub>3</sub> (мм)	12	28	28	28	14	12	28	28	28	28
A (кН/м <sup>3</sup> )	19,0	19,0	18,0	16,0	15,0	21,0	19,5	18,5	17,0	17,5
B - тип покрытия пола	B1	B4	B4	B4	B1	B1	B4	B4	B4	B4
Эквивалентная нормативная нагрузка от перегородок (кПа)	0,75	0,7	0,6	0,65	0,8	0,55	0,65	0,55	0,7	0,75
Тип помещений типового этажа (см. табл.3)	2.1	2.6	2.9	2.8	2.7	2.1	2.6	2.9	2.8	2.9
Покрытие										
h <sub>4</sub> (мм)	200	220	200	220	200	220	200	220	200	220
h <sub>5</sub> (мм)	20	15	22	25	24	18	24	20	18	24
h <sub>6</sub> (мм)	200	180	220	150	180	170	210	230	170	150
h <sub>7</sub> (мм)	250	200	240	220	230	250	210	240	235	245
h <sub>8</sub> (мм)	30	30	25	30	25	35	20	25	30	35
C (кН/м <sup>3</sup> )	0,98	0,80	0,90	0,75	0,85	0,65	0,85	0,70	0,60	0,50
D (кН/м <sup>3</sup> )	6,8	6,4	6,2	6,0	7,0	7,4	6,4	7,2	6,8	7,0

Примечание: конструкции перегородок выполняются из красного полнотелого керамического кирпича с оштукатуриванием с двух сторон.

### Б). Назначение помещения для определения эксплуатационной нагрузки

Таблица 3. Назначение помещения

№ п/п	Тип помещения	Назначение помещения (для определения эксплуатационной нагрузки)
1	2.1	Торговые залы;

2	2.2	Квартиры жилых зданий; спальные помещения детских дошкольных учреждений и школ-интернатов; жилые помещения домов отдыха и пансионатов, общежитий и гостиниц; палаты больниц и санаториев;
3	2.3	Служебные помещения административного, инженерно-технического, научного персонала организаций и учреждений; офисы, классные помещения учреждений просвещения; бытовые помещения промышленных предприятий и общественных зданий и сооружений
4	2.4	Кабинеты и лаборатории учреждений здравоохранения, лаборатории учреждений просвещения, науки; помещения учреждений бытового обслуживания населения (парикмахерские, ателье и т.п.)
5	2.5	Технические этажи жилых и общественных зданий высотой менее 75 м; подвальные помещения
6	2.6	Залы читальные
7	2.7	Залы обеденные
8	2.8	Залы собраний, совещаний
9	2.9	Книгохранилища; архивы

### **Характеристики здания для расчета нагрузок от ветровых воздействий**

Геометрические характеристики здания и тип несущей системы принять по таблице 1.

Таблица 4. Параметры ветровых воздействий (номер варианта указан в формате дроби: в числителе – номер варианта первой десятки номеров варианта; в знаменателе – номер варианта второй десятки номеров варианта).

Параметр	№ варианта									
	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
Ветровой район	I	II	III	IV	V	VI	II	III	IV	V
Тип местности	A	B	C	A	B	C	A	B	C	B
Первая частота собственных колебаний $f_1$ (Гц)	0,8	1,0	1,1	1,3	1,5	1,6	1,0	1,1	1,3	1,5
Вторая частота собственных колебаний $f_2$ (Гц)	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	1,8	2,0	2,2	2,4

### **Характеристики здания для расчета нагрузок от сейсмических воздействий**

Геометрические характеристики здания и тип несущей системы принять по таблице 1.

**ВНИМАНИЕ!** Расчет нагрузок от сейсмических воздействий выполняется для здания высотой 5 этажей, где первые четыре этажа – типовые, пятый этаж – с покрытием. Геометрические характеристики зданий принять по таблице 1, характеристики типовых этажей и покрытия принять по таблице 2. Эксплуатационные нагрузки на перекрытия типовых этажей принять по таблице 3.

Таблица 5. Параметры для расчета нагрузок от сейсмических воздействий (номер варианта указан в формате дроби: в числителе – номер варианта первой десятки номеров варианта; в знаменателе – номер варианта второй десятки номеров варианта).

Параметр	№ варианта									
	1/11	2/12	3/13	4/14	5/15	6/16	7/17	8/18	9/19	10/20
Расчетная сейсмичность площадки строительства (балл)	7	8	9	7	8	9	7	8	9	8
Категория грунта площадки строительства по сейсмическим свойствам	1	2	3	1	2	3	1	2	3	2
Период собственных колебаний 1-го тона $T$ (сек)	0,25	0,28	0,35	0,40	0,45	0,50	0,30	0,35	0,4	0,25
Коэффициент $K_0$ (назначение здания)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Коэффициент $K_{\psi}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

### Требования по оформлению работы

Ответ представить в виде текста с включенными в текст изображениями (при необходимости). Текст оформить в текстовом редакторе WORD на листах формата А4 (поля по всем сторонам листа – 2 см, шрифт Times New Roman, кегль 12, интервал – одинарный).

## 1. КРАТКИЙ АНАЛИЗ НЕСУЩЕЙ СИСТЕМЫ ЗДАНИЯ

Несущая система здания воспринимает нагрузки и воздействия на здание (сооружение) и обеспечивает его функционирование с соблюдением требований нормативно-правовых документов. Важнейшим правовым документом является Федеральный закон №384 «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», требования которого определяют принципиальные положения по обеспечению прочности и устойчивости (первая группа предельных состояний), а также эксплуатационной пригодности (вторая группа предельных состояний).

Комплекс конструкций, формирующая несущую систему здания, должен обеспечить соблюдение критериев первой и второй групп предельных состояний, что необходимо подтвердить результатами расчетного анализа. Такой анализ выполняется путем статических расчетов расчетной модели сооружения или отдельного конструктивного элемента.

Важнейшей составляющей расчетной модели является модель нагрузок и воздействий. При этом отдельные виды нагрузок определяются как функция характеристик (прежде всего – динамических) несущей системы. Например, нагрузка от сейсмических воздействий рассчитываются на основе динамических характеристик несущей системы, а пульсационная составляющая ветрового воздействия определяется не только указанными динамическими свойствами несущей системы, но и способностью несущих конструкций рассеивать энергию воздействия.

Наиболее значимой характеристикой несущей системы является схема восприятия горизонтальных нагрузок, что должно быть отражено в особых признаках расчетной схемы. Так, в случае восприятия горизонтальных нагрузок колоннами (пилонами) и ригелями с жесткими узлами соединений с колоннами такая расчетная схема определяется как рамная. В случае восприятия горизонтальных нагрузок специальными конструкциями, установленными в вертикальной плоскости, расчетная схема определяется как связевая или рамно-связевая.

Таким образом, краткий анализ несущей системы должен содержать сведения о характеристиках несущей системы, геометрических характеристиках, типе расчетной схемы и виде конструкций, формирующих несущую систему в целом и отдельные конструктивные элементы.

***Пример:***

В соответствии с заданием по курсовой работе здание выполнено в несущей системе с признаком ТС-1: монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами (рамно-связевая схема).

Несущая система здания общественного назначения высотой 8 этажей размеры 15х36 м (в осях), высота типового этажа 3,3 м.

В соответствии с заданием по курсовой работе здание выполнено в несущей системе с признаком ТС-1: монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами.

Расчетная схема – рамно-связевая. Прочность и устойчивость обеспечивается совместной работой колонн, связевых элементов (диафрагмы жесткости и стены лестнично-лифтовых блоков) и дисков перекрытия. Колонны несущей системы обеспечивают восприятие вертикальных нагрузок, диафрагмы жесткости и стены лестнично-лифтовых блоков воспринимают горизонтальные нагрузки.

Несущие конструкции: колонны выполнены из монолитного железобетона, перекрытия безбалочной конструктивной схемы с бескапитальным стыком колонны и плиты перекрытия выполнены из монолитного железобетона.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДОВ НАГРУЗОК С ФОРМИРОВАНИЕМ ПЕРЕЧНЯ ЗАГРУЖЕНИЙ

В зависимости от продолжительности действия нагрузок следует различать постоянные  $P_d$  и временные (длительные  $P_l$ , кратковременные  $P_t$ , особые  $P_s$ ) нагрузки.

Нагрузки, возникающие при изготовлении, хранении и перевозке конструкций, а также при возведении сооружений, следует учитывать в расчетах как кратковременные.

К постоянным  $P_d$  нагрузкам следует относить:

а) вес частей сооружений, в том числе несущих и ограждающих строительных конструкций;

б) вес и давление грунтов (насыпей, насыпок), горное давление;

в) гидростатическое давление.

К длительным  $P_l$  нагрузкам следует относить:

а) вес временных перегородок, подливок и подбетонок под оборудование;

б) вес стационарного оборудования: станков, аппаратов, моторов, емкостей, трубопроводов с арматурой, опорными частями и изоляцией, ленточных конвейеров, постоянных подъемных машин с их канатами и направляющими, а также вес жидкостей и твердых тел, заполняющих оборудование;

в) давление газов, жидкостей и сыпучих тел в емкостях и трубопроводах, избыточное давление и разрежение воздуха, возникающее при вентиляции шахт;

г) нагрузки на перекрытия от складываемых материалов и стеллажного оборудования в складских помещениях, холодильниках, зернохранилищах, книгохранилищах, архивах и подобных помещениях;

д) температурные технологические воздействия от стационарного оборудования;

е) вес слоя воды на плоских водонаполненных покрытиях;

ж) вес отложений производственной пыли, если не предусмотрены соответствующие мероприятия по ее удалению;

и) пониженные нагрузки от оборудования, людей, животных и транспортных средств на перекрытия жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий, от мостовых и подвесных кранов, снеговых, температурных климатических воздействий;

к) воздействия, обусловленные деформациями основания, не сопровождающимися коренным изменением структуры грунта, а также оттаиванием вечномерзлых грунтов;

л) воздействия, обусловленные изменением влажности, усадкой и ползучестью материалов.

К кратковременным нагрузкам  $P_t$  следует относить:

а) нагрузки от оборудования, возникающие в пускоостановочном, переходном и испытательном режимах, а также при его перестановке или замене;

б) вес людей, ремонтных материалов в зонах обслуживания и ремонта оборудования;

в) нагрузки от людей, животных, оборудования на перекрытия жилых, общественных и сельскохозяйственных зданий с полными нормативными значениями.

г) нагрузки от подвижного подъемно-транспортного оборудования (погрузчиков, электрокаров, кранов-штабелеров, тельферов, а также от мостовых и подвесных кранов с полным нормативным значением), включая вес транспортируемых грузов;

д) нагрузки от транспортных средств;

е) климатические (снеговые, ветровые, температурные и гололедные);

К особым  $P_s$  нагрузкам следует относить сейсмические и аварийные воздействия.

К аварийным воздействиям относятся:

- а) взрывные;
- б) нагрузки, вызываемые резкими нарушениями технологического процесса, временной неисправностью или поломкой оборудования;
- в) воздействия, обусловленные деформациями основания, сопровождающимися коренным изменением структуры грунта (например, при замачивании просадочных грунтов) или оседанием его в районах горных выработок и в карстовых;
- г) нагрузки, обусловленные пожаром;
- д) нагрузки от столкновений транспортных средств с частями сооружения;
- е) климатические (снеговые, ветровые, температурные и гололедные) нагрузки, действие которых может привести к аварийной расчетной ситуации.

Таким образом, при выполнении курсовой работы следует сформировать перечень отдельных загрузений, соответствующих происхождению (генезису) нагрузок и признаку продолжительности действия.

**Пример:**

№ загрузки	Наименование и характеристика загрузки	Характеристика продолжительности действия нагрузки	Особенности загрузки	Примечания
1.	Собственный вес несущих конструкций.	Постоянные нагрузки		
2.	Давление от грунта насыпки котлована (в настоящей курсовой работе не рассматривается).	Постоянные нагрузки		В настоящей курсовой работе не рассматривается
3.	Нагрузки от ограждающих/фасадных конструкций (в настоящей курсовой работе не рассматривается).	Постоянные нагрузки		В настоящей курсовой работе не рассматривается
4.	Нагрузки от конструкций полов.	Временная длительно действующая нагрузка		
5.	Нагрузки от конструкций перегородок.	Временная длительно действующая нагрузка		
6.	Эксплуатационные нагрузки на перекрытия.	Временная кратковременная нагрузка		
7.	Нагрузки от ветровых воздействий в поперечном направлении здания (положительное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка	Не может действовать одновременно с загрузениями №	

			8, 9, 10	
8.	Нагрузки от ветровых воздействий в поперечном направлении здания (отрицательное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка	Не может действовать одновременно с загружениями № 7, 9, 10	
9.	Нагрузки от ветровых воздействий в продольном направлении здания (положительное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка	Не может действовать одновременно с загружениями № 7, 8, 10	
10.	Нагрузки от ветровых воздействий в продольном направлении здания (отрицательное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка	Не может действовать одновременно с загружениями № 7, 8, 9	
11.	агрузки от сейсмических воздействий в поперечном направлении здания.	Особая нагрузка	Не может действовать одновременно с загружением №12	
12.	Нагрузки от сейсмических воздействий в продольном направлении здания.	Особая нагрузка	Не может действовать одновременно с загружением №11	

Анализ набора нагрузок, сгруппированных по признаку генезиса в отдельные загружения, показывает, что для загружений, относящихся к временным, должна быть введена характеристика, учитывающая невозможность одновременного действия нагрузок – признак «взаимоисключающие загружения».

### 3. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОСТОЯННЫХ НАГРУЗОК $P_d$ НА ПЕРЕКРЫТИЕ ТИПОВОГО ЭТАЖА

Нагрузка от собственного веса несущих конструкций рассчитывается на основании характеристик объемного веса материала, из которого выполнена конструкция.

**Пример:**

В соответствии с заданием по курсовой работе здание проектируется в несущей системе с признаком ТС-1: монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами. Толщина монолитного железобетонного перекрытия 200 мм.

Характеристика объемного веса материала конструкции:

Объемный вес железобетона, выполненного с применением тяжелого бетона, в конструкции  $q = 24,53 \text{ кН/м}^3$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции из монолитного железобетона для расчета по первой группе предельных состояний определяется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,1$  - п.7.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85», табл.7.1.

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции перекрытия толщиной 200 мм для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$q_I = 24,53 \text{ кН/м}^3 \times 0,2 \text{ м} \times 1,1 = 5,3955 \text{ кПа} \approx 5,4 \text{ кПа.}$$

Расчет конструкций по второй группе предельных состояний выполняется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции перекрытия толщиной 200 мм для расчета по второй группе предельных состояний составляет:

$$q_{II} = 24,53 \text{ кН/м}^3 \times 0,2 \text{ м} \times 1,0 = 4,905 \text{ кПа} \approx 4,9 \text{ кПа.}$$

#### **4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗОК $P_I$ НА ПЕРЕКРЫТИЕ ТИПОВОГО ЭТАЖА**

Нагрузка от собственного веса конструкций полов и перегородок, а также иных конструкций, относящихся к временным длительно действующим нагрузкам, рассчитывается на основании характеристик объемного веса материала, из которого выполнены такие конструкции.

##### ***Пример:***

1. Нагрузки от собственного веса конструкций пола.

В соответствии с заданием по курсовой работе здание проектируется с полами с признаком В-1: керамическая плитка толщиной  $h_3 = 8 \text{ мм}$  по основанию из мелкозернистого бетона толщиной 88 мм;

Характеристика объемного веса материала конструкции:

1.1. Объемный вес керамической плитки  $p_I = 19,62 \text{ кН/м}^3$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции из керамической плитки для расчета по первой группе предельных состояний определяется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,1$  - п.7.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85», табл.7.1.

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции покрытия пола из керамической плитки толщиной 8 мм для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$p_{I-I} = 19,62 \text{ кН/м}^3 \times 0,08 \text{ м} \times 1,1 = 1,7266 \text{ кПа} \approx 1,7 \text{ кПа.}$$

Расчет конструкций по второй группе предельных состояний выполняется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции покрытия пола толщиной 8 мм для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$p_{I-II} = 19,62 \text{ кН/м}^3 \times 0,08 \text{ м} \times 1,0 = 1,5696 \text{ кПа} \approx 1,6 \text{ кПа.}$$

1.2. Объемный вес материала подготовки под покрытие пола – легкого бетона D1500:

$$p_2 = 14,71 \text{ кН/м}^3.$$

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции подготовки под покрытие пола из легкого бетона D1500, выполняемого на строительной площадке, для расчета по первой группе предельных состояний определяется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,3$  - п.7.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85», табл.7.1.

Расчетное значение нагрузки от собственного веса подготовки под покрытие пола из легкого бетона D1500 толщиной 88 мм для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$p_{2-I} = 14,71 \text{ кН/м}^3 \times 0,88 \text{ м} \times 1,1 = 16,8282 \text{ кПа} \approx 16,83 \text{ кПа}.$$

Расчет конструкций по второй группе предельных состояний выполняется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции подготовки под покрытие пола из легкого бетона D1500 толщиной 88 мм для расчета по второй группе предельных состояний составляет:

$$p_{2-II} = 14,71 \text{ кН/м}^3 \times 0,88 \text{ м} \times 1,0 = 12,9448 \text{ кПа} \approx 12,94 \text{ кПа}.$$

Полная нагрузка от конструкции пола составляет:

- для расчета по первой группе предельных состояний:

$$P_{\text{л-I}} = p_{1-I} + p_{2-I} = 1,7 \text{ кПа} + 16,83 \text{ кПа} = 18,53 \text{ кПа}$$

- для расчета по второй группе предельных состояний:

$$P_{\text{л-II}} = p_{1-II} + p_{2-II} = 1,6 \text{ кПа} + 12,94 \text{ кПа} = 14,54 \text{ кПа}$$

1.3. Подготовка из легкого бетона D1500 толщиной 88 мм. Объемный вес материала подготовки под покрытие пола – легкого бетона D1500:  $p_2 = 14,71 \text{ кН/м}^3$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции подготовки под покрытие пола из легкого бетона D1500, выполняемого на строительной площадке, для расчета по первой группе предельных состояний определяется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,3$  - п.7.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85», табл.7.1.

Расчетное значение нагрузки от собственного веса подготовки под покрытие пола из легкого бетона D1500 толщиной 88 мм для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$P_{3-I} = 14,71 \text{ кН/м}^3 \times 0,88 \text{ м} \times 1,3 = 16,8282 \text{ кПа} \approx 16,83 \text{ кПа}.$$

Расчет конструкций по второй группе предельных состояний выполняется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции подготовки под покрытие пола из легкого бетона D1500 толщиной 88 мм для расчета по второй группе предельных состояний составляет:

$$P_{3-II} = 14,71 \text{ кН/м}^3 \times 0,88 \text{ м} \times 1,0 = 12,9448 \text{ кПа} \approx 12,94 \text{ кПа}.$$

Полная нагрузка от конструкции пола составляет:

- для расчета по первой группе предельных состояний:

$$P_{\text{л-I}} = p_{1-I} + p_{2-I} + p_{3-I} = 1,7 \text{ кПа} + 4,2 + 16,83 \text{ кПа} = 22,73 \text{ кПа}$$

- для расчета по второй группе предельных состояний:

$$P_{\text{л-II}} = p_{1-II} + p_{2-II} + p_{3-II} = 1,6 \text{ кПа} + 3,26 + 12,94 \text{ кПа} = 17,8 \text{ кПа}$$

## 2. Нагрузки от собственного веса перегородок.

В соответствии с заданием по курсовой работе здание проектируется с перегородками из красного полнотелого керамического кирпича с оштукатуриванием с двух сторон. Эквивалентная равномерно распределенная нагрузка от перегородок (нормативное значение) равна 0,75 кПа.

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции перегородок для расчета по первой группе предельных состояний определяется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,1$  - п.7.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85», табл.7.1.

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции перегородок для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$P_{\text{par-I}} = 0,75 \text{ кПа} \times 1,1 = 0,825 \text{ кПа}.$$

Расчет конструкций по второй группе предельных состояний выполняется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$ .

Расчетное значение нагрузки от собственного веса конструкции перегородок для расчета по второй группе предельных состояний составляет:

$$P_{\text{par-II}} = 0,75 \text{ кПа} \times 1,0 = 0,75 \text{ кПа}.$$

Нагрузки от конструкций покрытия рассчитываются аналогично приведенному примеру.

## 5. РАСЧЕТ ВРЕМЕННЫХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ (ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ) НАГРУЗОК $P_t$ НА ПЕРЕКРЫТИЕ ТИПОВОГО ЭТАЖА

Эксплуатационные нагрузки на перекрытие типового этажа определяются по назначению помещений, расположенных на этаже. В соответствии с разделом 8.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85» по назначению помещений определяется величина эксплуатационной равномерно распределенной нагрузки.

Следует учитывать требование норм о том, что эксплуатационные нагрузки (в силу их малой определенности) следует прикладывать к конструкциям таким образом, чтобы в конструкциях формировались максимальные величины усилий. Как правило, при расчетах конструкций предусматривают несколько схем загрузки эксплуатационными нагрузками:

- сплошное загрузку по всей плоскости зоны действия нагрузки;
- загрузка эксплуатационной нагрузкой через пролет (вариант 1);
- загрузка эксплуатационной нагрузкой через пролет (вариант 2);
- загрузка эксплуатационной нагрузкой в виде «шахматной доски» (вариант 3);
- загрузка эксплуатационной нагрузкой в виде «шахматной доски» (вариант 4);

В случае использования приведенных выше схем загрузки эксплуатационной нагрузкой следует учитывать признак взаимоисключения таких загрузок.

**Пример:**

В соответствии с заданием по курсовой работе на типовых этажах располагаются помещения типа 2.2 (см. табл. 3) – квартиры жилых зданий; спальня детских дошкольных учреждений и школ-интернатов; жилые помещения домов отдыха и пансионатов, общежитий и гостиниц; палаты больниц и санаториев.

В соответствии с разделом 8.2. СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85», табл.8,3. Нормативное значение равномерно распределенной эксплуатационной нагрузки для помещений типа 2.2 равно  $p_t = 1,5$  кПа.

Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на перекрытие типового этажа определяется с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,3$  - п.8.2.2 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на перекрытие типового этажа для расчета по первой группе предельных состояний составляет:

$$p_{t-I} = 1,5 \text{ кПа} \times 1,3 = 1,95 \text{ кПа.}$$

Эксплуатационные нагрузки для расчета по второй группе предельных состояний выполняются с учетом коэффициента надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1,0$ .

Расчетное значение эксплуатационной нагрузки на перекрытие типового этажа для расчета по второй группе предельных состояний составляет:

$$p_{t-I} = 1,5 \text{ кПа} \times 1,0 = 1,5 \text{ кПа.}$$

## **6. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВРЕМЕННЫХ ДЛИТЕЛЬНО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ЧАСТИ ВРЕМЕННЫХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ (ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ) НАГРУЗОК НА ПЕРЕКРЫТИЕ ТИПОВОГО ЭТАЖА**

В соответствии с п. 8.2.3 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85» для отдельных видов временных кратковременных эксплуатационных нагрузок устанавливаются пониженные значения таких нагрузок. Указанные пониженные значения относятся к временным длительно действующим нагрузкам, которые используются в расчетах, учитывающих эффекты длительности действия нагрузок, как правило, это расчеты по второй группе предельных состояний, например, расчеты железобетонных конструкций, учитывающие реологические свойства бетонов и др.

**Пример:**

Для нагрузок на перекрытие в помещениях с назначением типа 2.2 (см. табл. 3) величина пониженного значения эксплуатационной нагрузки определяется умножением нормативного значения на коэффициент 0,35.

Расчетное пониженное значение эксплуатационной нагрузки на перекрытие типового этажа для расчета по второй группе предельных состояний составляет:

$$p_{t-I} = 1,5 \text{ кПа} \times 0,35 \times 1,0 = 0,525 \text{ кПа.}$$

## **7. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ – ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК (СТАТИЧЕСКОЙ И ПУЛЬСАЦИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ)**

Для зданий и сооружений необходимо учитывать следующие воздействия ветра:

- а) основной тип ветровой нагрузки (в дальнейшем - "основная ветровая нагрузка");
- б) пиковые значения ветровой нагрузки, действующие на конструктивные элементы ограждения и элементы их крепления (в дальнейшем - "пиковая ветровая нагрузка");
- в) резонансное вихревое возбуждение;
- г) аэродинамически неустойчивые колебания типа галопирования, дивергенции и флаттера.

Основной тип ветровой нагрузки и пиковые ветровые нагрузки связаны с непосредственным действием на здания и сооружения максимальных для места строительства ураганых ветров и должны учитываться при проектировании всех сооружений.

Нормирование ветровых нагрузок определяется положениями раздела 11 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

В рамках курсовой работы рассматривается *основной тип ветровой нагрузки*.

Основная ветровая нагрузка для зданий представляет собой (как основной тип такой нагрузки) нормальное давление  $w_e$ , приложенное к внешней поверхности сооружения или элемента.

Нормативное значение основной ветровой нагрузки  $w$  следует определять как сумму средней  $w_m$  и пульсационной  $w_p$  составляющих:

$$W = W_m + W_p$$

Нормативное значение средней составляющей основной ветровой нагрузки  $w_m$  в зависимости от эквивалентной высоты  $z_e$  над поверхностью земли следует определять по формуле:

$$w_m = w_0 k(z_e) c$$

где  $w_0$  - нормативное значение ветрового давления;

$k(z_e)$  - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления для высоты  $z_e$ ;

$c$  - аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветрового давления  $w_0$  принимается в зависимости от ветрового района по таблице 11.1 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

Эквивалентная высота  $z_e$  определяется в соответствии с положениями п. 11.1.5 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

Коэффициент  $k(z_e)$  определяется в соответствии с положениями п. 11.1.6 СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

При этом учитывается тип местности (**A**, **B**, **C**), где:

**A** - открытые побережья морей, озер и водохранилищ, сельские местности, в том числе с постройками высотой менее 10 м, пустыни, степи, лесостепи, тундра;

**B** - городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;

**C** - городские районы с плотной застройкой зданиями высотой более 25 м.

При расчете средней составляющей ветровой нагрузки следует учитывать значения аэродинамических коэффициентов, которые определяются в соответствии с положениями Приложения В.1 к СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85».

Нормативное значение пульсационной составляющей основной ветровой нагрузки  $w_p$  на эквивалентной высоте  $z_e$  следует определять следующим образом:

а) для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний  $f_1$ , Гц, больше предельного значения собственной частоты  $f_{lim}$  (11.1.10 СП 20.13330.2016), - по формуле:

$$w_p = w_m \xi(z_e) V$$

где:

$V$  - коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра;

$\xi(z_e)$  - коэффициент пульсации давления ветра, принимаемый по таблице 11.4 СП 20.13330.2016 или формуле для эквивалентной высоты  $z_e$ ;

$$\xi(z_e) = \xi_{10} (z_e / 10)^{-\alpha}$$

Значение параметров  $\xi_{10}$  и  $\alpha$  приведены в таблице 11.3. СП 20.13330.2016.

Значение логарифмического декремента колебаний  $\delta$  следует принимать:

а) для железобетонных и каменных сооружений, а также для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций  $\delta = 0,3$ ;

б) для стальных сооружений, футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаментов  $\delta = 0,15$ .

б) для всех сооружений (и их конструктивных элементов), у которых  $f_1 < f_{lim} < f_2$  (где  $f_2$  - вторая собственная частота) - по формуле:

$$w_p = w_m \xi \zeta(z_e) V$$

$\zeta$  - коэффициент динамичности, определяемый по рис. 11.1 СП 20.13330.2016 в зависимости от логарифмического декремента колебаний  $\delta$  и параметра  $\varepsilon_1$ , который определяется по формуле:

$$\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{w_0 k(z_{ЭК}) \gamma_f}}{940 f_1}$$

Здесь  $w_0$  (Па) - нормативное значение давления ветра;

$k(z_{ЭК})$  - коэффициент, учитывающий изменение давления ветра для высоты  $z_{ЭК}$ ;

$\gamma_f$  - коэффициент надежности по нагрузке.

в) для сооружений, у которых вторая собственная частота меньше предельной, необходимо производить динамический расчет с учетом  $s$  первых форм собственных колебаний. Число  $s$  следует определять из условия  $f_s < f_{lim} < f_{s+1}$ ;

г) при расчете зданий допускается учитывать динамическую реакцию по трем низшим собственным формам колебаний (двум изгибным и одной крутильной или смешанным крутильно-изгибным).

Коэффициент надежности по нагрузке для основной ветровой нагрузки и пиковым значениям ветровой нагрузки принимается равным 1,4.

Более детальная информация по расчету ветровых нагрузок представлена в теоретическом материале по курсу.

### **Пример расчета основной ветровой нагрузки.**

#### **Исходные данные:**

Размер здания в продольном направлении: 48 м, ( $d$ )

Размер здания в поперечном направлении: 18 м, ( $d$ )

Этажность здания: здание 12-ти этажное

Высота типового этажа: 3 м ( $h_{fl}$ )

Тип несущей системы: ТС-1 – монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами (рамно-связевая схема)

Ветровая зона (г. Казань) по карте: II

Тип местности: С

Первая частота собственных колебаний: 1,1 Гц ( $f_1$ )

Вторая частота собственных колебаний: 2,0 Гц ( $f_2$ )

Коэффициент надежности по нагрузке: 1.4 ( $\gamma_f$ )

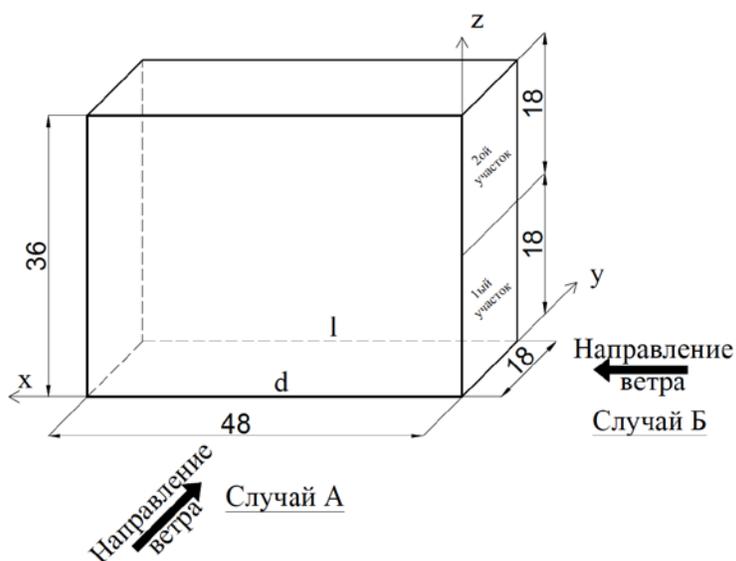


Рис. 1. Схема воздействия ветровой нагрузки на здание размером 48x18x36 метров.

#### **Решение:**

Высота здания: 36 м (12 этаже по 3 м)

Нормативное значение ветровой нагрузки  $w$  определяется согласно п.11 СП 20.13330.2016 как сумма средней  $w_m$  и пульсационной  $w_p$  составляющих по формуле:

$$w = w_m + w_p$$

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c$$

Определим величины всех значений формулы:

По таблице 11.1 нормативное значение ветрового давления для II ветрового района  $w_0 = 0,30$  кПа.

Расчет ветровой нагрузки при ветровых воздействиях в поперечном направлении здания (случай *A*).

По п. 11.1.5 для данного случая, (поскольку  $h < d$ ), значение эквивалентной высоты  $z_e$  принимается равным  $h$ .

По таблице 11.2 для типа местности С: коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления (для высоты  $z_e$ )  $k(z_e)$ , вычисляемый интерполяцией данных таблицы 11.2 СП 20.13330.2016, равен значениям, приводимым ниже для отметки каждого этажа. При этом по таблице 11.3 СП 20.13330.2016 определяем значения  $k_{10}$  для типа местности С равен 0,4, а  $\alpha$  равен 0,25

По Приложению В СП 20.13330.2016, таблица В2 находим значение аэродинамического коэффициента:

$c_d = 0.8$  для наветренной стороны здания;

$c_e = -0.5$  для подветренной стороны здания (отрицательное значение показателя свидетельствует об отрицательном давлении на подветренную стенку здания – отсос воздуха вдоль поверхности стены).

С учетом значений переменных определяется нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки (случай *A* – действие ветровой нагрузки в поперечном направлении здания):

Таблица 7

Высотная отметка, м	Значение $k(z_e) = k_{10} (z_e / 10)^{2\alpha}$	$w_m$ , для наветренной стороны
0	0.4	0.096
3	0.4	0.096
6	0.4	0.096
9	0.4	0.096
12	0.44	0.106
15	0.49	0.118
18	0.54	0.130
21	0.58	0.139
24	0.62	0.149
27	0.66	0.158
30	0.69	0.166
33	0.73	0.175
36	0.76	0.182

Для подветренной стороны нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки определяется аналогично.

Нормативное значение *пульсационной составляющей* основной ветровой нагрузки  $w_p$  на эквивалентной высоте  $z_e$ . Для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний  $f_1$  (по исходным данным для курсовой работы  $f_1 = 1.1$  Гц), больше или равна предельному значению собственной частоты  $f_{lim}$  (см. таблицу 11.5 СП 20.13330.2016, где ветрового района II:  $f_{lim} = 1.1$ ),  $w_p$  вычисляется по формуле:

$$w_p = w_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v.$$

Коэффициент пульсации давления ветра, (принимаемый по таблице 11.4 СП 20.13330.2016 или формуле (11.6) СП 20.13330.2016 для эквивалентной высоты  $z_e$ ),  $\zeta(z_e)$ :

$$\zeta(z_e) = \zeta_{10} (z_e / 10)^{-\alpha}$$

По таблице 11.4 для местности типа С:  $\zeta_{10} = 1.78$ ;  $\alpha = 0.25$ ,

$$\text{Тогда } \zeta(z_e) = 1.78 \cdot (36 / 10)^{-0.25} = 1.29$$

В плоскости  $hoz$  рассматриваемой схемы здания из таблицы 11.6 СП 20.13330.2016 для  $\rho = 0.4a = 0.4 \cdot 48 = 19.2$  и  $\chi = h = 36$ ,

Исходя из таблицы 11.6 или ниже приводимой таблицы 1 путем интерполяции по  $\rho$  и по  $\chi$  для значений 19.2 и 36, соответственно, находим значение  $\nu$  равное 0.739.

Таблица 8

$\rho$ , м (для 19.2)	Коэффициент $\nu$ при $\chi$ , равном							
	5	10	20	<b>36</b>	40	80	160	350
0,1	0,95	0,92	0,88		0,83	0,76	0,67	0,56
5	0,89	0,87	0,84		0,80	0,73	0,65	0,54
10	0,85	0,84	0,81		0,77	0,71	0,64	0,53
<b>19.2</b>			0,764	<b>0.739</b>	0,7332			
20	0,80	0,78	0,760		0,730	0,68	0,61	0,51
40	0,72	0,72	0,70		0,67	0,63	0,57	0,48
80	0,63	0,63	0,61	0,59		0,56	0,51	0,44
160	0,53	0,53	0,52	0,50		0,47	0,44	0,38

С учетом значений всех переменных величина пульсационной составляющей ветровой нагрузки для случая А (действие ветра в поперечном направлении здания) составляет:

Таблица 9

Высотная отметка, м	Значение $\zeta(z_e) = \zeta_{10} (z_e / 10)^{-\alpha}$	$w_p$ , для наветренной стороны
0	1.78	0.126
3	1.78	0.126
6	1.78	0.126
9	1.78	0.126
12	1.701	0.133
15	1.608	0.140
18	1.537	0.147
21	1.478	0.152
24	1.43	0.157
27	1.388	0.162
30	1.352	0.165
33	1.321	0.171
36	1.292	0.174

Согласно п.11 СП 20.13330.2016 коэффициент надежности для основной и пиковой ветровых нагрузок следует принимать равным 1.4.

Полное значение основного типа ветровой нагрузки для наветренной стороны случая А (действие ветра в поперечном направлении здания) составляет:

Таблица 10

Высотная отметка, м	$w_m$ , для наветренной стороны, кПа	$w_p$ , для наветренной стороны, кПа	Нормативное значение основной ветровой нагрузки $w = w_m + w_p$ кПа	Расчетное значение основной ветровой нагрузки $w_{расч} = w \cdot \gamma_f$ кПа
0	0.096	0.126	0.222	0.3108
3	0.096	0.126	0.222	0.3108
6	0.096	0.126	0.222	0.3108
9	0.096	0.126	0.222	0.3108
12	0.106	0.133	0.239	0.3346
15	0.118	0.140	0.258	0.3612
18	0.130	0.147	0.277	0.3878
21	0.139	0.152	0.291	0.4074
24	0.149	0.157	0.306	0.4284
27	0.158	0.162	0.32	0.448
30	0.166	0.165	0.331	0.4634
33	0.175	0.171	0.346	0.4844
36	0.182	0.174	0.356	0.4984

Расчет ветровых нагрузок для случая Б (ветровые воздействия в продольном направлении) выполняется по методике, аналогичной приведенной выше.

## 8. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Сейсмические воздействия относятся к особым нагрузкам. Сейсмическое воздействие является кинематическим — на сооружение воздействует принудительное смещение основания, быстро меняющееся во времени и потому вызывающее возникновение инерционных сил, которые затем рассматриваются как «сейсмическая нагрузка».

Переход от собственно воздействия (от акселерограммы или сейсмограммы) к инерционным силам связан с динамическим расчетом сооружения, и может выполняться двумя основными методами:

- прямым интегрированием уравнений движения, когда рассматривается поведение сооружения во времени (возможно с учетом нелинейных эффектов);
- с использованием линейно-спектральной теории, которая позволяет найти сейсмическую реакцию сооружения по каждой из учитываемых форм собственных колебаний используя заранее изученный закон движения простейшей динамической системы с известным периодом собственных колебаний  $T$  — спектральный коэффициент динамичности  $\beta(T)$ .

Линейно-спектральный метод расчета основан на приведении системы с  $N$  степенями свободы к  $N$  эквивалентным системам с одной степенью свободы с суперпозицией их колебаний. Колебания сооружения во время землетрясения моделируются колебаниями линейных осцилляторов, подобранных по частотам собственных колебаний конструкции, расположенных на общей платформе и имеющих осредненные характеристики затухания.

Наиболее значимым параметром, определяющим величину сейсмической нагрузки, является коэффициент допускаемых повреждений (в нормах РФ – коэффициент  $K_1$ ). Введение этого коэффициента определяется идеей учета пластической фазы работы конструкций при сейсмических воздействиях – с использованием параметра «состояния здания после землетрясения», который определяется как предельно допустимая величина «остаточных деформаций». Очевидно, что «остаточные деформации» представляют собой результат работы конструкций за пределами упругой фазы. На основе параметра «состояния здания после землетрясения» может быть получена величина коэффициента допускаемых повреждений, что позволяет выполнять упругий расчет конструкции, учитывая при этом допустимый уровень пластической работы конструкции. В условиях малой вероятности сейсмического события представляется вполне приемлемым допустить некоторый объем пластических деформаций несущих конструкций, который при этом обеспечивает общую прочность и устойчивость зданий и сооружений.

С учетом упругопластического характера работы конструкций при сейсмическом воздействии может (и должен) измениться динамический отклик системы.

Величина коэффициента допускаемых повреждений зависит не только от уровня допускаемых повреждений, но и от вида несущих конструкций: при недопустимости остаточных повреждений  $K_1=1,0$ ; для зданий и сооружений, в которых могут быть допущены остаточные деформации  $0,15 \leq K_1 \leq 0,4$  (в этом случае величина коэффициента  $K_1$  определяется возможностями того или иного типа конструкций реализовать больший или меньший объем пластической фазы деформирования); для зданий и сооружений, в которых могут быть допущены значительные остаточные деформации (одноэтажные производственные и сельскохозяйственные здания, не содержащие ценного оборудования)  $K_1=0,12$ .

Более детальные сведения по расчету сейсмических нагрузок представлены в теоретическом материале по курсу.

### **Пример расчета параметров сейсмических воздействий.**

По таблице исходных данных в соответствии с вариантом определяются параметры исходных данных:

№	Наименование данных	Значения для примера
1	<i>Сейсмичность площадки, балл</i>	9
2	<i>Коэффициент <math>K_0</math> (назначение здания)</i>	1,0
3	<i>Тип несущей системы</i>	ТС-1 – монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами (рамно-связевая схема).
4	<i>Средняя масса <math>m^2</math> перекрытия, т/м<sup>2</sup></i>	1,0
5	<i>Категория грунта площадки</i>	3
6	<i>Период колебаний 1-го тона, <math>T_1</math>, с</i>	0,35
7	<i>Коэффициент <math>K_\psi</math></i>	1,3
8	<i>Размер плана здания (<math>a \times b</math>), м</i>	45x15

9	Число этажей/высота этажа, м	2/4
---	------------------------------	-----

1. Определение сейсмической нагрузки для 1-й формы собственных колебаний  $S_{01k}^j$

$$S_{01k}^j = m_k^j A \beta_1 K_\psi \eta_{1k}^j$$

1.1 При сейсмичности площадки строительства 9 баллов коэффициент  $A=0,4\text{ м/с}^2$ .

1.2. Масса каждого перекрытия:  $m_k^j = a \cdot b \cdot 1,0 \text{ т/м}^2 = 45 \text{ м} \cdot 15 \text{ м} \cdot 1,0 \text{ т/м}^2 = 675 \text{ т}$ ;

1.3. Коэффициент динамичности  $\beta_1$  для 1-й формы колебаний ( $T_1=0,35 \text{ с}$ ) для грунтов III категории по сейсмическим свойствам:

при  $0,1 \text{ с} < T_i < 0,8 \text{ с}$ :  $\beta_1 = 2,5$ ;

1.4. Для зданий высотой до пяти этажей включительно с незначительно изменяющимися по высоте массами и жесткостями этажей при  $T_i$  менее 0,4 с коэффициент  $\eta_{1k}^j$ , при использовании консольной схемы для поступательного горизонтального (вертикального) сейсмического воздействия без учета моментов инерции массы, допускается определять по упрощенной формуле:

$$\eta_k = \frac{x_k \sum_{j=1}^n m_j x_j}{\sum_{j=1}^n m_j x_j^2},$$

где  $x_k$  и  $x_j$  - расстояния от точек  $k$  и  $j$  до верхнего обреза фундаментов (рис. 4.5.1.) (в рассматриваемой точке  $k$  и во всех точках  $j$ , где в соответствии с расчетной схемой масса принята сосредоточенной):

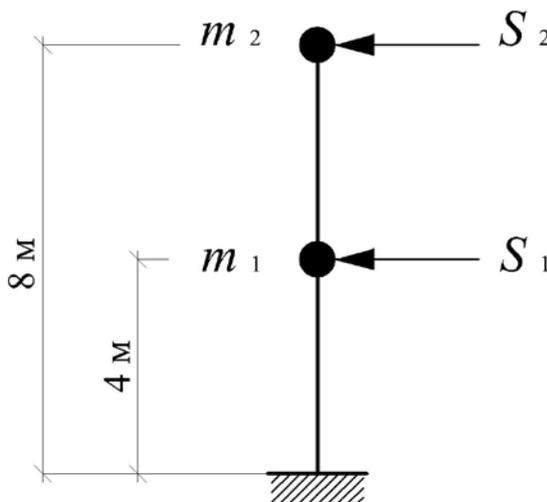


Рис.4.3. К примеру определения расчетной сейсмической нагрузки на здание

$$\eta_{11} = \frac{4 \cdot \sum_{j=1}^2 m_j x_j}{\sum_{j=1}^2 m_j x_j^2} = \frac{4 \cdot (675 \cdot 4 + 675 \cdot 8)}{(675 \cdot 4^2 + 675 \cdot 8^2)} = 0,6,$$

$$\eta_2 = \frac{8 \cdot \sum_{j=1}^2 m_j x_j}{\sum_{j=1}^2 m_j x_j^2} = \frac{8 \cdot (675 \cdot 4 + 675 \cdot 8)}{(675 \cdot 4^2 + 675 \cdot 8^2)} = 1,2$$

$$S_{01,1} = m_1 A \beta_1 K_\psi \eta_1 = 675 m \cdot 0,4 m / c^2 \cdot 2,5 \cdot 1,3 \cdot 0,6 = 526,5 \text{ кН},$$

$$S_{01,2} = m_2 A \beta_1 K_\psi \eta_2 = 675 m \cdot 0,4 m / c^2 \cdot 2,5 \cdot 1,3 \cdot 1,2 = 1053 \text{ кН}.$$

2. Определение расчетной сейсмической нагрузки  $S_{1k}^j$

$$S_{1k}^j = K_0 K_1 S_{01k}^j$$

2.1. Значение коэффициента, учитывающего назначение сооружения и его ответственность  $K_0=1,0$ ;

2.2. Значение коэффициента, учитывающего уровень допускаемых повреждений:

- Тип конструкций несущей системы (ТС-1 – монолитный железобетонный каркас с монолитными железобетонными диафрагмами (рамно-связевая схема) - Здания и сооружения, в конструкциях которых могут быть допущены остаточные деформации и повреждения, затрудняющие нормальную эксплуатацию, при обеспечении безопасности людей и сохранности оборудования, возводимые с железобетонным каркасом с диафрагмами или связями –  $K_1=0,3$ :

$$S_{1,1} = K_0 K_1 S_{01,1} = 1 \cdot 0,3 \cdot 526,5 = 157,95 \text{ кН},$$

$$S_{1,2} = K_0 K_1 S_{01,2} = 1 \cdot 0,3 \cdot 1053 = 315,9 \text{ кН}$$

## 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ УЧЕТА ОДНОВРЕМЕННОГО ДЕЙСТВИЯ НАГРУЗОК

Несущие системы зданий находятся, как правило, под одновременным действием нескольких различных по происхождению видов нагрузок. Очевидно, что нагрузки собственного веса конструкций несущей системы присутствуют всегда, т. к. эти нагрузки генетически связаны непосредственно с наличием конструкций. Весьма высока вероятность наличия нагрузок от наружных ограждающих конструкций, веса полов, перегородок и т.п. Достаточно высока вероятность наличия эксплуатационных нагрузок различного вида, соответствующих назначению здания. Имеется вероятность возникновения нагрузок (воздействий) климатического характера (снеговые, ветровые, гололедные, инсоляционные и т.п.). Таким образом, необходимо учитывать совместное действие нагрузок различного происхождения, что реализуется в рамках принципа расчетных сочетаний нагрузок.

В расчетные сочетания должны включаться такие воздействия, которые оказывают наиболее неблагоприятное влияние на конструкции с точки зрения рассматриваемого предельного состояния. В расчетах конструкций могут быть использованы сочетания воздействий двух типов:

- основные, применяемые при проверке надежности в установившихся и переходных расчетных ситуациях;

- особые, применяемые при проверке надежности в особых (аварийных) расчетных ситуациях.

Пониженная вероятность одновременного действия нескольких случайных воздействий, как правило, учитывается путем умножения суммы нагрузочных эффектов от действия расчетных значений всех воздействий на коэффициент сочетания  $\psi < 1$ . Коэффициент сочетания определяется из условия равнообеспеченности суммарного нагрузочного эффекта и расчетных значений отдельных воздействий и зависит от вида учитываемых воздействий и их долей в составе суммарного нагрузочного эффекта.

Основные сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных, формируются по формуле:

Расчет конструкций и оснований по предельным состояниям 1-й и 2-й групп следует выполнять с учетом неблагоприятных сочетаний нагрузок или соответствующих им усилий.

Эти сочетания устанавливаются из анализа реальных вариантов одновременного действия различных нагрузок для рассматриваемой стадии работы конструкции или основания.

В зависимости от учитываемого состава нагрузок следует различать:

а) основные сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных и кратковременных:

$$C_m = P_d + (\psi_{11}P_{11} + \psi_{12}P_{12} + \psi_{13}P_{13} + \dots) + (\psi_{21}P_{21} + \psi_{22}P_{22} + \psi_{23}P_{23} + \dots);$$

б) особые сочетания нагрузок, состоящие из постоянных, длительных, кратковременных и одной из особых нагрузок.

$$C_s = C_m + P_s,$$

где  $C_m$  - нагрузка для основного сочетания;

$C_s$  - нагрузка для особого сочетания;

$\psi_{i1}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) - коэффициенты сочетаний для длительных нагрузок;

$\psi_{i2}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots$ ) - коэффициенты сочетаний для кратковременных нагрузок.

Для основных и особых сочетаний нагрузок, за исключением случаев, оговоренных в нормах проектирования сооружений в сейсмических районах и в нормах проектирования конструкций и оснований, коэффициент сочетаний длительных нагрузок  $\psi_{11}$  определяется следующим образом:

$$\psi_{11} = 1,0; \psi_{12} = \psi_{13} = \dots = 0,95,$$

где  $\psi_{11}$  - коэффициент сочетаний, соответствующий основной по степени влияния длительной нагрузке;

$\psi_{12}, \psi_{13}$  - коэффициенты сочетаний для остальных длительных нагрузок.

Для основных сочетаний необходимо использовать следующие значения коэффициентов сочетаний кратковременных нагрузок

$$\psi_{21} = 1,0; \psi_{22} = 0,9, \psi_{23} = \psi_{24} = \dots = 0,7,$$

где  $\psi_{21}$  - коэффициент сочетаний, соответствующий основной по степени влияния кратковременной нагрузке;

$\psi_{22}$  - коэффициент сочетаний, соответствующий второй кратковременной нагрузке;

$\Psi_{13}, \Psi_{14}$  - коэффициенты сочетаний для остальных кратковременных нагрузок.

Для особых сочетаний нагрузок коэффициенты сочетаний для всех кратковременных нагрузок принимаются равными 0,8, за исключением случаев, оговоренных в нормах проектирования сооружений в сейсмических районах и в нормах проектирования конструкций и оснований.

При этом коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для всех кратковременных нагрузок принимается равным 0,5.

Более детальные сведения по расчету сейсмических нагрузок представлены в теоретическом материале по курсу.

### **Пример расчета параметров учета одновременного действия нагрузок.**

В соответствии с заданием по курсовой работе на здание воздействуют следующие нагрузки, сгруппированные по генезису и длительности воздействия:

№ загрузки	Наименование и характеристика загрузки	Характеристика продолжительности действия нагрузки	Особенности загрузки	Условное обозначение загрузки
1.	Собственный вес несущих конструкций.	Постоянные нагрузки $P_d$		<b>L1</b>
2.	Нагрузки от конструкций полов.	Временная длительно действующая нагрузка $P_l$		<b>L2</b>
3.	Нагрузки от конструкций перегородок.	Временная длительно действующая нагрузка $P_l$		<b>L3</b>
4.	Эксплуатационные нагрузки на перекрытия.	Временная кратковременная нагрузка $P_t$		<b>L4</b>
5.	Нагрузки от ветровых воздействий в поперечном направлении здания (положительное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка $P_t$	Не может действовать одновременно с загрузками № 6, 7, 8	<b>L5</b>
6.	Нагрузки от ветровых воздействий в поперечном направлении здания (отрицательное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка $P_t$	Не может действовать одновременно с загрузками № 5, 7, 8	<b>L6</b>
7.	Нагрузки от ветровых воздействий в продольном направлении здания (положительное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка $P_t$	Не может действовать одновременно с загрузками № 5, 6, 8	<b>L7</b>

8.	Нагрузки от ветровых воздействий в продольном направлении здания (отрицательное направление ветра).	Временная кратковременная нагрузка $P_t$	Не может действовать одновременно с загрузками № 5, 6, 7	<b>L8</b>
9.	агрузки от сейсмических воздействий в поперечном направлении здания.	Особая нагрузка $P_S$	Не может действовать одновременно с загрузкой №10	<b>L9</b>
12.	Нагрузки от сейсмических воздействий в продольном направлении здания.	Особая нагрузка $P_S$	Не может действовать одновременно с загрузкой №9	<b>L10</b>

Анализ набора нагрузок, сгруппированных по признаку генезиса в отдельные загрузки, показывает, что для загрузок, относящихся к временным, должна быть введена характеристика, учитывающая невозможность одновременного действия нагрузок – признак «взаимоисключающие загрузки».

#### **Основное сочетание нагрузок.**

Вариант №1 учета одновременного действия нагрузок:

$$C_{m1} = P_d (L1) + (1.0 \times P_l(L2) + 0.95 \times P_l(L3)) + (1.0 \times P_t(L4) + 0.9 \times P_t(L5)).$$

Вариант №2 учета одновременного действия нагрузок:

$$C_{m2} = P_d (L1) + (1.0 \times P_l(L2) + 0.95 \times P_l(L3)) + (1.0 \times P_t(L4) + 0.9 \times P_t(L6)).$$

Вариант №3 учета одновременного действия нагрузок:

$$C_{m3} = P_d (L1) + (1.0 \times P_l(L2) + 0.95 \times P_l(L3)) + (1.0 \times P_t(L4) + 0.9 \times P_t(L7)).$$

Вариант №4 учета одновременного действия нагрузок:

$$C_{m4} = P_d (L1) + (1.0 \times P_l(L2) + 0.95 \times P_l(L3)) + (1.0 \times P_t(L4) + 0.9 \times P_t(L8)).$$

#### **Особое сочетание нагрузок.**

При формировании особых сочетаний с учетом сейсмических воздействий учитываются требования норм сейсмостойкого строительства, которым определено, что ветровые воздействия не входят в состав таких особых сочетаний.

Вариант №1 учета одновременного действия нагрузок:

$$C_{S1} = 1.0 \times P_S(L9) + 0.9 \times P_d (L1) + 0.8 \times P_l(L2) + 0.5 \times P_t(L4)$$

Вариант №2 учета одновременного действия нагрузок:

$$C_{S1} = 1.0 \times P_S(L10) + 0.9 \times P_d (L1) + 0.8 \times P_l(L2) + 0.5 \times P_t(L4)$$

В особых сочетаниях нагрузок коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f$  для всех кратковременных нагрузок принимается равным 0,5.

### **ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ.**

- 
- Какая схема передачи эксплуатационных нагрузок от перекрытий на колонны?
- Какие из принятых загрузений относятся к длительно действующим нагрузкам?
- Какие из принятых загрузений относятся к кратковременным нагрузкам?
- Какие схемы загрузки эксплуатационными нагрузками следует рассматривать при расчетном анализе несущих систем?
- Как определяется величина длительно действующей части кратковременных нагрузок?
- Какие виды эксплуатационных нагрузок имеют длительно действующую часть?
- В каких целях выполняется учет одновременного действия нагрузок?
- Какие расчетные случаи могут быть рассмотрены на основе разработанной расчетной схемы сооружения и модели нагрузок?