

С.Х. Достанова¹, Г.Т. Касымова², К.Е. Токпанова³
(¹Сатпаев Университет, ²КазГАСА, ³Университет Туран)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ ЕВРОСТАНДАРТОВ РК В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Аннотация. Рассмотрены динамические характеристики каркасного здания. В результате численного и аналитического решений получены значения собственных частот поперечных колебаний одноэтажного здания, узловые перемещения и усилия при горизонтальных сейсмических воздействиях с учетом диафрагм жесткости для различных соединений с основанием.

Ключевые слова: собственные частоты колебаний, перемещения, каркасные здания, диафрагмы жесткости.

Вопросы сейсмостойкости зданий и сооружений являются актуальными в мировом масштабе [1-6]. Это вызвано следующими причинами. Ежегодно во всем мире в среднем регистрируется, по меньшей мере, миллион землетрясений; из них только одно или два достигают магнитуду 8, около двадцати обладают достаточной силой, чтобы заставить содрогаться всю нашу планету, сто или две-сти бывают разрушительными, тысяча причиняют некоторый ущерб и триста тысяч отчетливо ощущаются. По современным оценкам экспертов, ежегодный ущерб от землетрясений составляет несколько десятков миллиардов долларов, и во многих развивающихся странах поглощает значительную часть национального дохода. Как установлено инструментальными наблюдениями, действительные ускорения грунта во время сильных землетрясений значительно превышают расчетные. В этих условиях во время землетрясений возможны сильные повреждения и даже обрушения большинства зданий.

В настоящее время на выявление, оценку и использование резервов прочности зданий и сооружений направлены усилия специалистов, занимающихся вопросами сейсмостойкого строительства [1-6]. Интенсивно развиваются экспериментальные и теоретические методы исследований, заключающиеся в углубленном изучении параметров сейсмических колебаний грунта, физических свойств реальных зданий и сооружений в условиях сильных сейсмических движений, совершенствуются модели и методы динамического расчета. Как выявлено многочисленными исследованиями, в процессе землетрясений жесткость отдельных элементов и узловых связей нарушается, что приводит к изменению конструктивной схемы реального здания. Для усиления жесткости всей системы в конструктивную схему зданий вводятся диафрагмы жесткости. В данной работе исследуется влияние диафрагм жесткости для каркасных зданий на динамические характеристики конструкции. Согласно Еврокодам РК [7],

сейсмические нагрузки зависят от спектра ускорений грунтового массива, величина которого зависит от периода собственных колебаний зданий и сооружений.

Постановка задачи исследования: рассматривается каркас трехэтажного железобетонного здания размером 12х30 м в плане. Расстояние между колоннами в поперечном и продольных направлениях – 6 м. Высота этажа – 3 м.

Колонны квадратного сечения с размерами 40х40 см, ригели прямоугольного сечения 35х50(h) см. Диафрагмы жесткости толщиной 20 см. Плиты перекрытий и покрытия из монолитного железобетона толщиной 20 см. Класс бетона для всех конструкций В25.

Представлены две расчетные схемы конструкции с учетом и без учета диафрагм жесткости. Рассмотрены два варианта граничных условий: первый соответствует жесткому соединению с землей, второй – упругому соединению с грунтовым основанием (рис. 1).

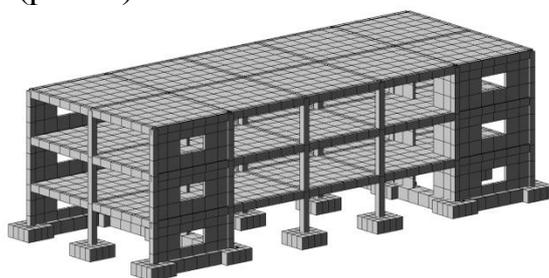


Рис. 1. Расчетная схема здания с диафрагмами жесткости

Для численного расчета использовался метод конечных элементов, который был реализован с помощью программы Ли́ра. Аналитический метод был реализован на рассмотрении трехмассовой системы [5] (рис. 2).

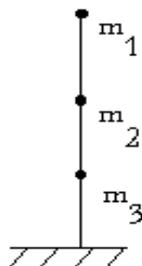


Рис. 2. Расчетная схема трехэтажного здания с сосредоточенными массами

Результаты расчета представлены в таблице 1. При аналитическом расчете значения собственных частот увеличились почти на 13%. В таблице 1 представлены значения первых трех собственных частот. Так как расхождения между различными гармониками малы, то для определения сейсмической нагрузки можно ограничиться первой частотой собственных колебаний.

Таблица 1. Значения собственных частот

Номер варианта	ω_1	ω_2	ω_3	Расхождения в % между 1-ой и 2-ой частотами
1. Без учета диафрагм жесткости при жестком соединении с основанием	Аналитическое решение			
	13,8	14,23	15,6	7,27
	Численное решение			
	12,2	12,54	13,82	5,3
2. Без учета диафрагм жесткости при упругоподатливом соединении с основанием	Аналитическое решение			
	13,35	13,56	15,0	1,6
	Численное решение			
	11,16	11,76	12,9	5,4
3. С учетом диафрагм жесткости при жестком соединении с основанием	Аналитическое решение			
	65,6	66,3	66,65	1,1
	Численное решение			
	57,03	57,4	57,88	0,6
4. С учетом диафрагм жесткости при упругоподатливом соединении с основанием	Аналитическое решение			
	25,4	26,3	29,7	3,5
	Численное решение			
	19,47	20,6	22,6	5,6

При наличии диафрагм жесткости первые собственные частоты увеличиваются на 79% в сравнении с их отсутствием. Соответственно периоды колебаний уменьшились на 21,57%. Наличие диафрагм жесткости уменьшает значение горизонтальных сейсмических нагрузок для грунтовых условий 2-ой категории на 46%. Уменьшение жесткости соединения здания с грунтовым основанием приводит к уменьшению собственных частот примерно в три раза. Жесткое соединение колонн с основанием при наличии диафрагм жесткости повышает резерв динамической прочности конструкции в целом.

Значения максимальных горизонтальных перемещений узлов каркасного здания, соответствующие первым формам колебаний представлены в табл. 2. Эти перемещения возникают в крайних волокнах.

Таблица 2. Значения максимальных горизонтальных перемещений узлов каркасного здания в мм

№ варианта	1. Без учета диафрагм жесткости при жестком соединении с основанием	2. Без учета диафрагм жесткости при упруго-податливом соединении с основанием	3. С учетом диафрагм жесткости при жестком соединении с основанием	4. С учетом диафрагм жесткости при упруго-податливом соединении с основанием
Аналитическое решение				
Максимальные перемещения	-27,5	-29,6	-1,85	-7,21
Минимальные перемещения	-0,321	-0,324	-0,02	-0,09
Численное решение				
Максимальные перемещения	-24,5	-26,7	-1,25	-5,89
Минимальные перемещения	-0,245	-0,266	-0,0125	-0,0688

Наличие диафрагм жесткости для жесткого соединения с основанием уменьшает максимальные перемещения в 19,6 раза, а для упругоподатливого основания в 4,5 раза. Без наличия диафрагм жесткости при жестком основании перемещения уменьшаются в 1,1 раза в сравнении с упругоподатливым основанием. При наличии диафрагм жесткости при жестком основании перемещения уменьшаются в 4,7 раза в сравнении с упругоподатливым основанием. Аналитическое решение дает завышенные значения перемещений, т.к. не учитывается пространственная работа конструкции и реальная жесткость связывающих элементов (ригеля и плиты перекрытий).

В таблице 3 представлены значения внутренних усилий в элементах диафрагмы жесткости для двух вариантов расчета.

Таблица 3. Значения внутренних усилий в диафрагме жесткости для 2-х вариантов расчета [Т], [ГМ]

Номер элемента	N_x	N_y	T_{xy}	M_x	M_y	M_{xy}	Q_x	Q_y
1-вариант (жесткое основание)								
1686	-37,0	-205,4	137,3	-0,02	-0,01	-0,03	-0,01	-0,097
1692	-92,55	-41,54	170,7	0,05	0,104	0,007	0,11	0,083
1704	67,08	-208,5	-114,3	-0,01	0,013	0,014	-0,03	0,018
1708	-30,52	-223,7	89,7	-0,002	-0,029	-0,009	-0,22	0,07
1730	-81,2	-184,1	-117,0	0,005	0,035	-0,019	0,07	0,31
2-вариант (упругоподатливое основание)								
1990	-44,2	-211,6	159,9	0,014	0,3	0,068	-0,077	-0,672
1994	-102,2	-88,2	164,1	0,035	0,068	0,019	-0,064	-0,1
1999	-68,3	-50,7	85,8	0,005	0,129	0,012	0,05	0,089
2011	-120,5	-42,2	-181	0,067	-0,015	0,022	0,02	-0,047
2020	-78,4	-154,6	116,0	0,01	-0,008	0,01	-0,037	0,12

Из таблицы 3 видно, что наиболее напряженными для двух вариантов расчета являются участки, близкие к нижним краям. Напряженное состояние диафрагм близко к плоскому напряженному состоянию. Жесткому основанию соответствует уменьшение значений продольных сил на 19%, сдвигающих усилий на 16,4%, изгибные усилия незначительны, ими в расчете можно пренебречь. Напряженное состояние медленно убывает к верхнему краю диафрагмы, в средней части наиболее напряженным является 1692 элемент для 1 варианта и 2011 – для 2 варианта. Максимальные перемещения для 2-х вариантов расчета возникают по верхнему краю диафрагмы, их значения для жесткого основания ($\Delta=1,16$ мм) в 4,9 раза меньше в сравнении с упругоподатливым ($\Delta=5,77$ мм).

Выводы:

1. При проектировании каркасных зданий и сооружений в сейсмических районах необходимо использовать диафрагмы жесткости, наличие которых резко уменьшает значения сейсмических нагрузок.

2. Использование аналитических расчетов увеличивает значения динамических характеристик в сравнении с численными расчетами.

3. Учет реального соединения зданий с грунтовым основанием существенно влияет на значения сейсмических нагрузок в несущих элементах каркасных зданий.

Литература:

1. Амосов А.А., Сеницын С.Б. Основы теории сейсмостойкости сооружений. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 136 с.
2. Шаблинский Г.Э., Джинчвелашвили Г.А., Зубков Д.А. Сейсмостойкость строительных конструкций атомных электростанций. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 216 с.
3. Жунусов Т.Ж. Землетрясение и сейсмостойкое строительство. – Алматы: Изд. «ЛЕМ», 2008. – 74 с.
4. Гордеев В.Н. и др. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 482 с.
5. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1983. – 306 с.
6. Кусаинов А.А., Достанова С.Х., Полякова И.М. Динамика и устойчивость сооружений. – Алматы, 2016. – 265 с.
7. ҚР нормативтік-техникалық құралы. Сейсмикаға төзімді ғимараттар мен имараттарды жобалау. Жалпы ережелер. Сейсмикалық әсер ету бөлімі. – Астана, 2015. – 174б.

Рамалық ғимараттың динамикалық сипаттамалары қарастырылады. Сандық және аналитикалық шешімдер нәтижесінде бір қабатты ғимараттың негізбен түрлі байланыстары үшін қаттылық диафрагмаларын ескере отырып көлденең тербелістерінің меншікті жиіліктерінің, түйіндердің орын ауыстыруларының және көлденең сейсмикалық әрекеттер кезіндегі күштердің мәндері алынған.

Түйін сөздер: тербелістің меншікті жиіліктері, орын ауыстыру, рамалық ғимараттар, қаттылық диафрагмалары.

The dynamic characteristics of the frame building are considered. As a result of numerical and analytical solutions, the values of the natural frequencies of the transverse vibrations of a single-storey building, nodal displacements and forces under horizontal seismic actions, taking into account the stiffness diaphragms for various connections with the base, were obtained.

Key words: natural vibration frequencies, displacements, frame buildings, diaphragm stiffness.