

# Анализ влияния жесткости грунтового основания на частоты и формы колебаний сооружений

УДК 624.04+699.841

**Пшеничкина Валерия Александровна**

Заведующая кафедрой, Волгоградский государственный технический университет (г. Волгоград, Россия);  
e-mail: strok.s@mail.ru

**Дроздов Вячеслав Вячеславович**

Доцент, Волгоградский государственный технический университет (г. Волгоград, Россия); e-mail: drozdoff777@rambler.ru

**Строк Сергей Иванович**

Аспирант техн. наук, Институт архитектуры и строительства, Волгоградский государственный технический университет (г. Волгоград, Россия); e-mail: strok.s@mail.ru

Статья получена: 24.02.2018. Рассмотрена: 28.02.2018. Одобрена: 04.03.2018. Опубликовано онлайн: 26.06.2018. ©РИОР

**Аннотация.** Представлены результаты исследования влияния жесткости грунтового основания на динамические характеристики сооружений, а именно частоты, модальные массы, формы колебаний. Рассмотрены два типа конструктивных решений сооружений: симметричное в плане относительно одной оси здания и симметричное в плане относительно двух осей здания. Определены параметры для моделирования жесткостных динамических характеристик различных типов грунтовых оснований.

**Ключевые слова:** жесткость грунтового основания, модуль деформации основания, динамические характеристики, частоты колебаний, формы колебаний, модальные массы, симметрия, оптимальная жесткость сооружения.

В процессе проектирования зданий и сооружений, возводимых в сейсмоопасных районах, постоянно возникает задача о нахождении опти-

мальной жесткости сооружения. Известна связь жесткости самих конструкций и их узлов с динамическими характеристиками сооружения [7], а также влияние жесткости (податливости) основания на частоты и формы колебаний [9; 13]. Разработаны методики по компоновке в плане сейсмоустойчивых зданий и сооружений [6]. Но возникает вопрос: есть ли такое отношение жесткости сооружения к жесткости основания, при котором динамические характеристики здания были бы не в ущерб его надежности? Начать решать данный вопрос можно с обратной стороны, предварительно проанализировав динамические характеристики зданий с постоянной жесткостью при изменении податливости основания.

В программном комплексе ЛИРА-10.6 был произведен расчет двух вариантов условных 5-этажных зданий.

Первый вариант (рис. 1) — здание, симметричное в плане относительно оси, параллель-

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SUBGRADE STIFFNESS ON THE FREQUENCIES AND MODE SHAPES OF STRUCTURES

**Valeriya Pshenichkina**

Head of the Department, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia); e-mail: strok.s@mail.ru

**Vyacheslav Drozdov**

Associate Professor, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia); e-mail: drozdoff777@rambler.ru

**Sergey Strok**

Postgraduate Student, Institute of Architecture and Construction, Volgograd State Technical University (Volgograd, Russia);  
e-mail: strok.s@mail.ru

**Manuscript received:** 24.02.2018. **Revised:** 28.02.2018. **Accepted:** 04.03.2018. **Published online:** 26.06.2018. ©RIOR

**Abstract.** The results of the study of the influence of the rigidity of the soil base on the dynamic characteristics of structures, namely the frequency, modal mass, oscillation forms are given. Two types of structural solutions of structures are considered: symmetrical in plan with respect to one axis of the building and symmetric in plan with respect to two axes of the building. The parameters for modeling the stiffness dynamic characteristics of different types of soil bases are determined.

**Keywords:** soil bases stiffness, deformation modulus of the soil bases stiffness, dynamic characteristics, frequencies, mode shapes, modal masses, symmetry, optimal stiffness of the structure.

ной глобальной оси  $X$ . Размер здания в плане —  $4 \times 6$  м при шаге осей 2 м; высота этажа — 3 м. Фундамент условного сооружения представляет собой плиту толщиной 60 см; вертикальные конструкции представлены квадратными в сечении колоннами размером  $40 \times 40$  см и стенами толщиной 20 см; горизонтальные конструкции представляют собой плиты перекрытий толщиной 16 см. Материал всех конструкций — бетон класса  $B30$  [4].

Второй вариант (рис. 2) — здание симметричное в плане относительно двух глобальных осей  $X$  и  $Y$ . Размер здания в плане —  $6 \times 6$  м при шаге осей 2 м. Высота этажа, сечения фундамента, колонн, стен, плит перекрытий и материал конструкций — такие же, как и в первом варианте.

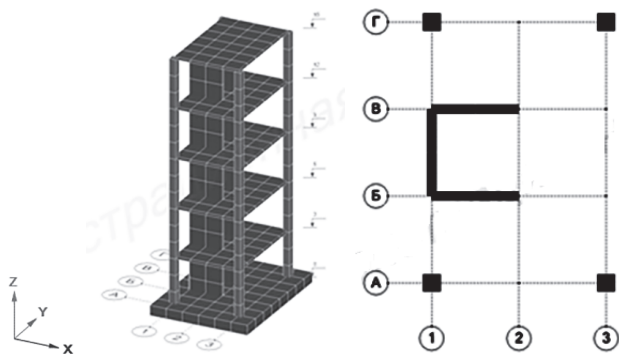


Рис. 1. Общий вид расчетной схемы и план типового этажа первого варианта здания (симметричного относительно одной оси)

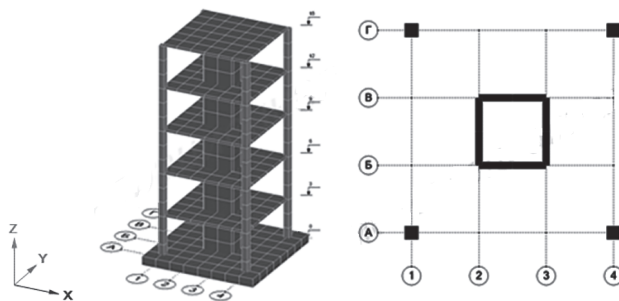


Рис. 2. Общий вид расчетной схемы и план типового этажа второго варианта здания (симметричного относительно двух осей)

В расчетной схеме были использованы конечные элементы КЭ 44 и КЭ 10.

Расчет производился на пять загрузений [2]: собственный вес, постоянное загрузение, полезное загрузение, сейсмическое воздействие

вдоль осей  $X$  и  $Y$ . Было выполнено по десять вариантов расчета каждого здания с различными параметрами жесткости основания [12]. Принята модель Пастернака с двумя коэффициентами постели, вычисляемыми по следующим динамическим характеристикам грунта: модуль деформации,  $тс/м^2$ , коэффициент поперечной деформации (Пуассона)  $\nu$ , удельный вес  $\gamma$ ,  $тс/м^3$ , коэффициент перехода ко второму модулю деформации, природная влажность  $W$ , показатель текучести  $I_L$ , коэффициент пористости  $e$ .

Были использованы коэффициенты пористости  $e$  и модули деформации  $E$  аллювиальных полутвердых суглинков ( $0 < I_L \leq 0,25$ ) при степени водонасыщения  $S_r \geq 0,8$ , приведенных в таблице А.3 приложения А СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений» [3]. Для вычисления значений коэффициентов пористости и модулей деформации, отличных от табличных, предварительно аппроксимировали их функцией вида  $E = ab^e$ . Выполнив аппроксимацию и вычислив коэффициенты  $a$  и  $b$ , вывели функцию зависимости модуля деформации грунта  $E$ ,  $тс/м^2$  от коэффициента пористости  $e$ :  $E = 9350 \cdot 0,1055^e$ . Коэффициент корреляции такой функции равен  $-0,9996$ .

Остальные требуемые характеристики были вычислены по общеизвестным из механики грунтов формулам [5; 11], задавшись степенью влажности  $S_r = 0,8$ , влажностью на границе раскатывания  $W_p = 0,26$ , числом пластичности  $I_p = 0,16$  и плотностью частиц грунта  $\gamma_s = 2,7 тс/м^3$  (из опыта проектирования). Полученные характеристики «виртуального» грунта представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики грунтов

№ $n/n$	$E$ , $тс/м^2$	$\nu$	$\gamma$ , $тс/м^3$	$E_2/E$	$W$ , доли ед.	$I_L$ , доли ед.	$e$ , доли ед.
1	986	0,35	1,75	5	0,30	0,25	1,000
2	1235	0,35	1,80	5	0,27	0,06	0,900
3	1547	0,35	1,86	5	0,24	-0,12	0,800
4	1937	0,35	1,92	5	0,21	-0,31	0,700
5	2425	0,35	1,99	5	0,18	-0,49	0,600
6	3037	0,35	2,07	5	0,15	-0,68	0,500
7	3803	0,35	2,16	5	0,12	-0,86	0,400
8	4762	0,35	2,26	5	0,09	-1,05	0,300
9	5963	0,35	2,38	5	0,06	-1,23	0,200
10	7467	0,35	2,53	5	0,03	-1,42	0,100

По результатам расчетов получены значения частот и модальных масс 15 форм колебаний для первого варианта здания (рис. 3) и 20 форм колебаний для второго (рис. 6), т.е. такое количество форм, чтобы их сумма модальных масс составляла более 90%. Для анализа рассматриваются только наиболее значимые формы, модальная масса которых более 5%. Частоты и модальные массы таких форм для первого варианта приведены соответственно в табл. 2 и 3, а для второго варианта — в табл. 4 и 5.

Для симметричного относительно одной оси здания во всех случаях при данной жесткости основания частоты и формы колебаний одинаковы независимо от направления сейсмического воздействия. Различаются только модальные массы. При увеличении жесткости основания (при динамическом модуле деформации грунта  $7467 \text{ тс/м}^2$ ) происходит изменение соотношений между формами колебаний. Так, 1-я изгибная вдоль оси  $X$  форма стала 2-й (рис. 5, б), а изгибная вдоль оси  $Y$  2-я форма (рис. 4, б) стала 1-й, приобретя еще и кручение (рис. 5, а). Эта новая 1-я форма имеет большой

вклад при направлении сейсмического воздействия вдоль  $Y$  (модальная масса 57,08%), что свидетельствует о нерациональной компоновке (асимметрии) и о недостаточной жесткости сооружения по отношению к жесткости основания. Анализируя графики частот и данные об их вкладах в общую картину колебаний здания, можно сделать вывод, что обмен позициями форм произошел при жесткостях основания между  $1547$  и  $1937 \text{ тс/м}^2$ . Аналогичный взаимообмен позициями происходит соответственно между формами 4 и 5 (рис. 4, г и д, рис. 5, г и д), 14 и 15 (рис. 4, з и и, рис. 5, з и и). Форма 6 не только сохранила свою позицию (рис. 4, е, рис. 5, е), но и увеличила свой вклад с 5,91 до 12,76% при направлении сейсмического воздействия вдоль  $X$ . Однако у 6-й формы сменился порядковый номер формы-партнера, которая заменяла бы ее при воздействии вдоль  $Y$ : форма 5 стала формой 4 (как было указано выше). Новая вклинившаяся между ними форма 5 (по виду, ранее форма 4) имеет модальную массу, близкую к нулю.

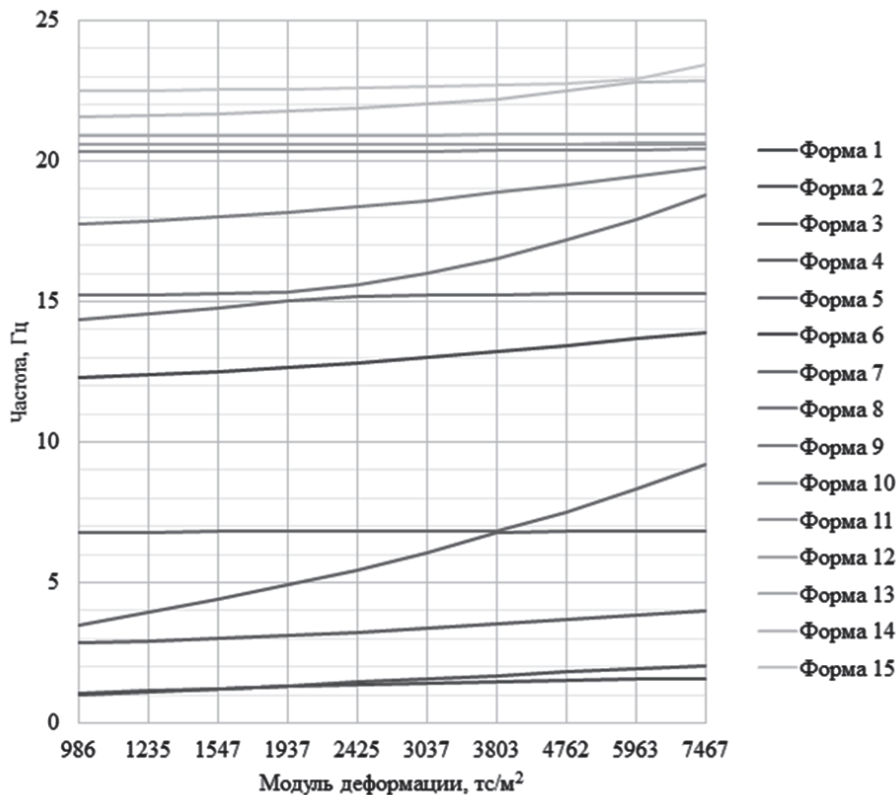


Рис. 3. Зависимость частоты колебаний от модуля деформации первого варианта здания (симметричного относительно одной оси)

Таблица 2

**Частоты по формам колебаний в зависимости от модуля деформации первого варианта здания  
(симметричного относительно одной оси)**

Форма	Частота, Гц, при модуле деформации, тс/м <sup>2</sup>									
	986	1235	1547	1937	2425	3037	3803	4762	5963	7467
1	1,01	1,11	1,22	1,30	1,36	1,42	1,47	1,52	1,56	1,59
2	1,07	1,15	1,22	1,33	1,45	1,57	1,70	1,82	1,94	2,06
3	2,86	2,93	3,02	3,13	3,25	3,39	3,53	3,69	3,85	4,01
4	3,51	3,93	4,39	4,90	5,46	6,08	6,77	6,82	6,82	6,83
5	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,81	6,82	7,51	8,32
6	12,29	12,40	12,52	12,67	12,84	13,02	13,22	13,44	13,66	13,90
9	17,78	17,88	18,01	18,17	18,37	18,61	18,88	19,18	19,48	19,75
14	21,58	21,63	21,69	21,77	21,87	22,02	22,21	22,49	22,82	22,89
15	22,49	22,51	22,54	22,58	22,62	22,66	22,71	22,77	22,89	23,44

Таблица 3

**Модальные массы по формам колебаний в зависимости от модуля деформации первого варианта здания (симметричного относительно одной оси)**

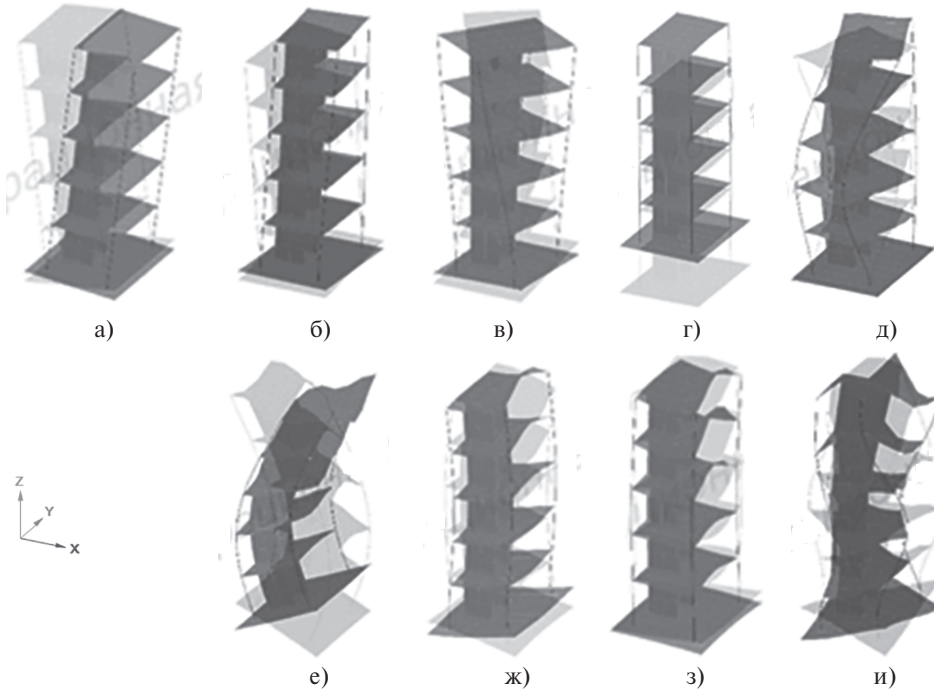
Напр.	Форма	Модальная масса, %, при модуле деформации, тс/м <sup>2</sup>									
		986	1235	1547	1937	2425	3037	3803	4762	5963	7467
Вдоль X	1	76,57	76,50	76,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	2	0,00	0,00	0,00	76,30	76,16	75,98	75,76	75,51	75,20	74,86
	3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	4	0,04	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
	5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,12	0,27
	6	5,91	6,36	6,91	7,56	8,32	9,17	10,10	11,05	11,97	12,76
	9	5,47	5,06	4,57	3,99	3,33	2,60	1,83	1,10	0,50	0,12
	14	1,61	1,61	1,62	1,63	1,64	1,65	1,64	1,59	0,00	0,00
	15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,46
Вдоль Y	1	0,00	0,00	0,00	69,01	67,10	65,02	62,89	60,81	58,86	57,08
	2	73,05	72,02	70,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	3	2,33	3,46	4,93	6,71	8,74	10,94	13,16	15,30	17,27	19,02
	4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,22	7,31	7,42
	5	6,93	6,95	6,97	7,00	7,04	7,09	7,14	0,00	0,00	0,00
	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,47
	15	5,21	5,31	5,43	5,57	5,73	5,90	6,09	6,28	0,00	0,00

Из всего ряда выделяются только формы 3 и 9. Это формы-одиночки, так как они не имеют каких-либо форм-соседей, заменявших бы их по вкладу при другом (перпендикулярном) направлении сейсмического воздействия.

Форма 3 (рис. 4, в, рис. 5, в) является чисто крутильной относительно оси Z и значима лишь при направлении сейсмического воздействия вдоль оси Y, т.е. в направлении асимметрии сооружения. С увеличением жесткости

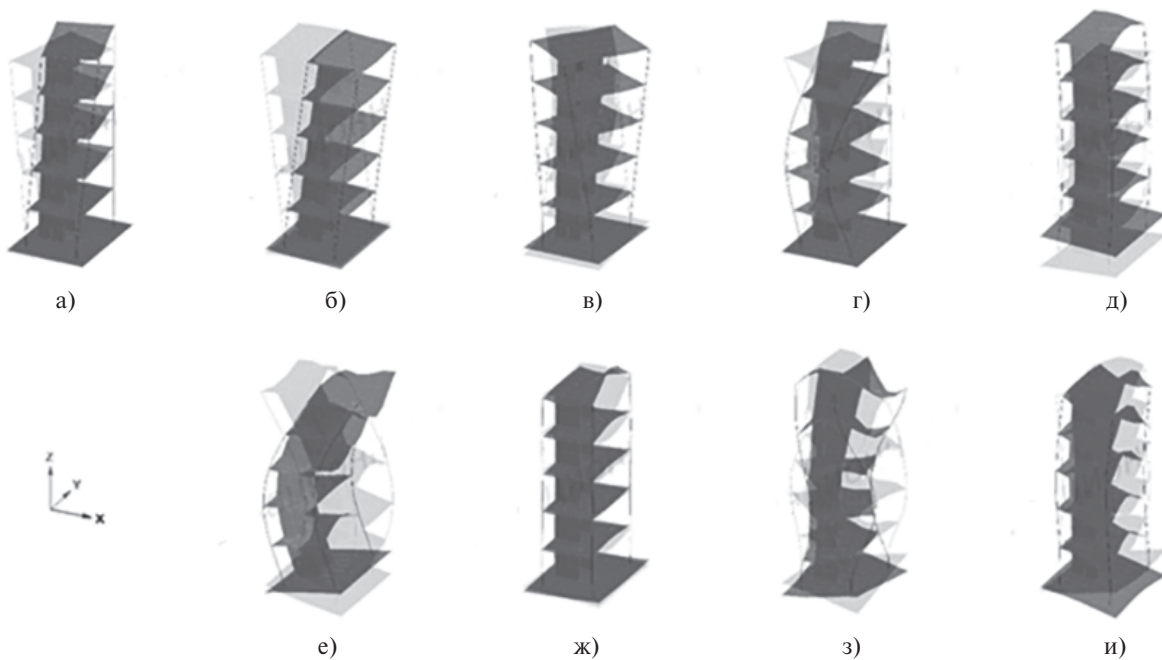
основания влияние данной формы только возрастает: модальная масса изменяется от 2,33% при модуле деформации грунта 986 тс/м<sup>2</sup> до 19,02% при 7467 тс/м<sup>2</sup>. Форма 9 (рис. 4, ж,

рис. 5, жс) представляет собой вертикальные колебания плит перекрытий. Данная форма значима при направлении сейсмического воздействия вдоль оси X, но с увеличением жест-



**Рис. 4.** Некоторые формы колебаний симметричного относительно одной оси здания при модуле деформации основания 986 тс/м<sup>2</sup>:

*a* — форма 1; *б* — форма 2; *в* — форма 3; *г* — форма 4; *д* — форма 5; *е* — форма 6; *ж* — форма 9; *з* — форма 14; *и* — форма 15



**Рис. 5.** Некоторые формы колебаний симметричного относительно одной оси здания при модуле деформации основания 7467 тс/м<sup>2</sup>:

*a* — форма 1; *б* — форма 2; *в* — форма 3; *г* — форма 4; *д* — форма 5; *е* — форма 6; *ж* — форма 9; *з* — форма 14; *и* — форма 15

кости основания ее вклад падает с 5,47% до 0,12%.

Для симметричного относительно двух осей здания имеют место быть те же явления, что и для симметричного относительно одной оси. Также во всех случаях при данной жесткости основания частоты и формы колебаний одинаковы независимо от направления сейсмического воздействия. Но в силу симметрии имеется одна особенность: формы-партнеры (т.е. те формы, которые дополняли бы друг друга по вкладу при взаимно перпендикулярных направлениях сейсмического воздействия) имеют одинаковые частоты. По сути, это

одночастотные формы. Форма 1 (рис. 7, а, рис. 8, а) является изгибной вдоль оси Y, а форма 2 — изгибной вдоль оси X (рис. 7, б, рис. 8, б). Обе формы имеют одинаковые частоты: от 1,16 Гц при жесткости основания 986 тс/м<sup>2</sup> до 2,29 Гц при 7467 тс/м<sup>2</sup>. При направлении сейсмического воздействия вдоль X вклады данных форм по отдельности при изменении жесткости основания непостоянны. Модальная масса формы 1 колеблется в пределах от 0,07% до 9,30%, формы 2 — от 65,56% до 75,37%. Но сумма модальных масс 1-й и 2-й форм изменяется плавно в пределах от 75,43% до 74,86%.

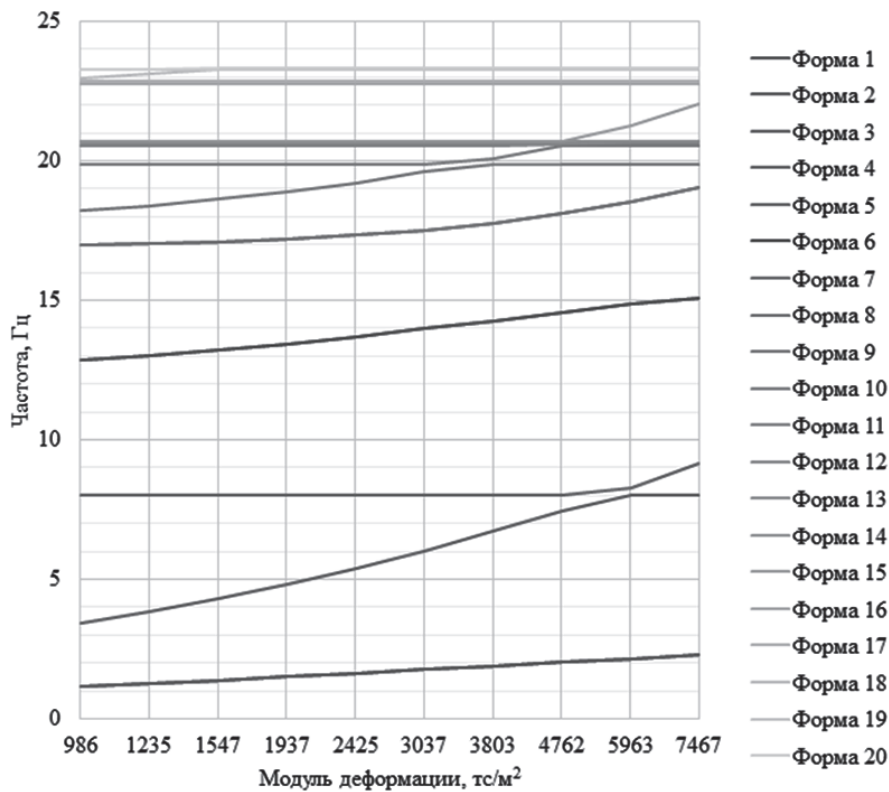


Рис. 6. Зависимость частоты колебаний от модуля деформации второго варианта здания (симметричного относительно двух осей)

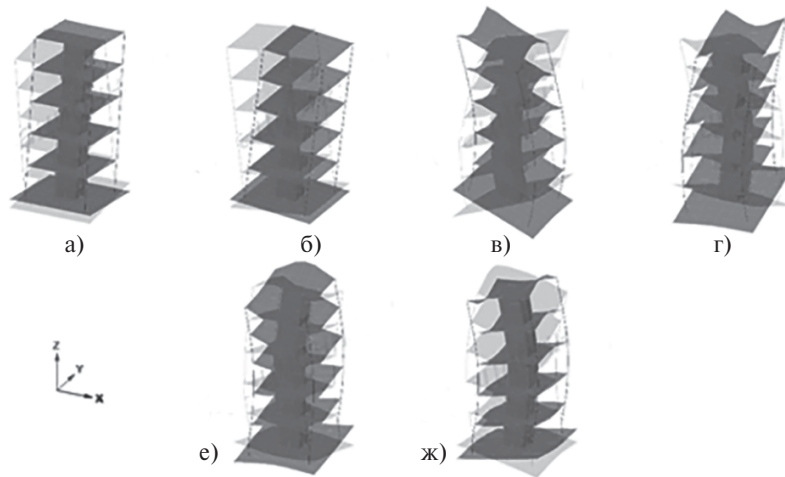
Таблица 4

**Частоты по формам колебаний в зависимости от модуля деформации второго варианта здания (симметричного относительно двух осей)**

Форма	Частота, Гц, при модуле деформации, тс/м <sup>2</sup>									
	986	1235	1547	1937	2425	3037	3803	4762	5963	7467
1, 2	1,16	1,27	1,39	1,52	1,65	1,78	1,91	2,04	2,17	2,29
5, 6	12,86	13,03	13,22	13,45	13,70	13,98	14,28	14,57	14,85	15,09
7, 8	16,97	17,03	17,10	17,20	17,34	17,53	17,77	18,11	18,53	19,05

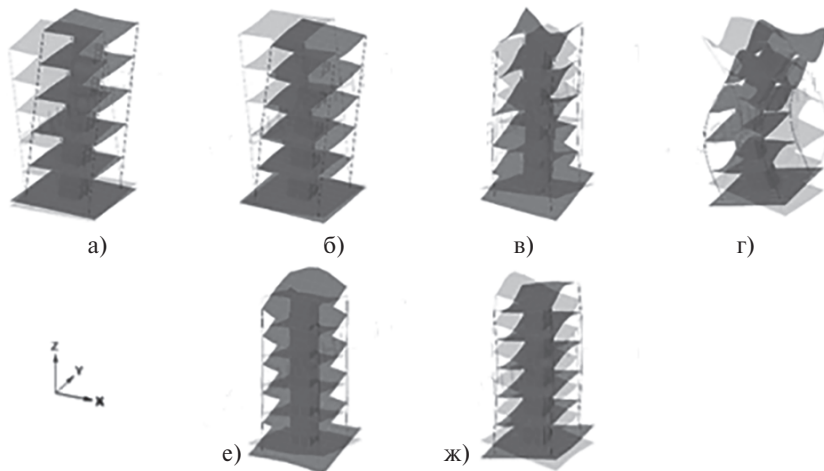
**Модальные массы по формам колебаний в зависимости от модуля деформации второго варианта здания (симметричного относительно двух осей) при направлении сейсмического воздействия вдоль оси X**

Форма	Модальная масса, %, при модуле деформации, тс/м <sup>2</sup>									
	986	1235	1547	1937	2425	3037	3803	4762	5963	7467
1	0,07	1,99	0,27	1,13	2,11	1,32	0,49	7,53	2,59	9,30
2	75,37	73,46	75,19	74,33	73,32	74,06	74,82	67,67	72,45	65,56
5	1,42	1,80	2,24	2,86	3,65	4,58	5,18	4,50	2,39	1,21
6	0,05	0,03	0,09	0,15	0,28	0,57	1,50	3,97	7,95	10,86
7	0,45	0,36	0,26	0,16	0,08	0,02	0,00	0,02	0,07	0,12
8	12,27	11,98	11,57	10,98	10,15	9,03	7,59	5,88	4,10	2,52
1+2	75,43	75,45	75,46	75,45	75,43	75,38	75,31	75,19	75,04	74,86
5+6	1,46	1,83	2,33	3,01	3,93	5,15	6,68	8,47	10,34	12,07
7+8	12,72	12,34	11,82	11,14	10,23	9,05	7,59	5,90	4,18	2,64



**Рис. 7.** Некоторые формы колебаний симметричного относительно двух осей здания при модуле деформации основания 986 тс/м<sup>2</sup>:

*a* — форма 1; *б* — форма 2; *в* — форма 5, *г* — форма 6; *д* — форма 7; *е* — форма 8



**Рис. 8.** Некоторые формы колебаний симметричного относительно двух осей здания при модуле деформации основания 7467 тс/м<sup>2</sup>:

*a* — форма 1; *б* — форма 2; *в* — форма 5, *г* — форма 6; *д* — форма 7; *е* — форма 8

Аналогично ситуация обстоит с формами-партнерами 5 и 6 (частоты от 12,86 до 15,09 Гц), 7 и 8 (частоты от 16,97 до 19,05 Гц). Формы 5 и 6 (рис. 7, в и г, рис. 8, в и г, изгибные в виде полной длины волны во взаимно перпендикулярных направлениях) с увеличением жесткости основания меняются порядковыми номерами, но ввиду равенности частот это роли не играет — их суммарный вклад плавно изменяется в пределах от 1,46% до 12,07%. Суммарный вклад форм 7 и 8 (рис. 7, д и е, рис. 8, д и е) плавно уменьшается с 12,72% до 2,64%.

В симметричном относительно двух осей здании крутильные формы присутствуют. Такие формы, как правило, являются формами-одиночками, так как не имеют такой же по частоте формы и формы, заменяющей ее при другом направлении воздействия. Но так как данные формы никак себя не проявили (их вклад при любом направлении сейсмического воздействия близок к нулю), то в данной работе интерес не представляют.

По результатам сравнительного анализа динамических характеристик двух сооружений, а именно, видов, частот и модальных масс форм колебаний, можно произвести следующую классификацию этих форм.

Формы-партнеры, как правило, имеют изгибный характер (в соответствующих нормальных друг другу направлениях) и значимы при сонаправленном внешнем воздействии. Они могут иметь как близкие частоты (например, формы 1 и 2 для симметричного относительно одной оси здания), так и далекие (формы 5 и 6). Также между формами-партнерами может вклиниться третья форма (форма 5 между формами 4 и 6 при более жестком основании первого варианта сооружения) с практически нулевым вкладом. При рациональной компоновке в плане и жесткости сооружения по отношению к жесткости основания изгибные

формы-партнеры свойственны низшим (первым) формам.

Одночастотные формы — частный случай пар форм-партнеров. Они обладают теми же свойствами в части взаимодополнения по вкладам при перпендикулярных направлениях воздействия с тем отличием, что имеют одинаковые частоты. Одночастотные пары форм свойственны зданиям, симметричным относительно двух осей, причем квадратных в плане.

Формы-одиночки — такие формы, которые не имеют какой-либо близкой по позиции и (или) частоте формы, заменяющей ее при другом (перпендикулярном) направлении воздействия. Как правило, они имеют крутильный характер и проявляют себя при определенном (или близком к нему) направлении сейсмической нагрузки.

Таким образом, при проектировании сейсмостойких зданий и сооружений большое внимание следует уделять не только частотам и их вкладам, но и характерам форм колебаний. Следует добиваться таких объемно-планировочных решений и жесткостных характеристик здания, чтобы на низших (первых) формах наибольший вклад имели формы-партнеры изгибного характера. Очевидно, что это достигается при большем отношении жесткости сооружения к жесткости основания, так как при уменьшении этого отношения начинают проявлять себя крутильные формы (формы-одиночки). Другой вопрос — это численное выражение этого отношения и, следовательно, определение той грани, за которой все большее значение имеют крутильные формы. Ответ на данный вопрос решит задачу оптимальной жесткости сооружения и, как следствие, проблему проектирования оптимального сейсмостойкого здания и оценки надежности таких зданий известными методами [8; 10].

## Литература

1. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*. Изд. официальное [Текст]. — М.: Минстрой России, 2014.
2. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. Изд. официальное [Текст]. — М.: Минстрой России, 2016.
3. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*. Изд. официальное [Текст]. М.: Минстрой России, 2016.
4. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003. Изд. официальное [Текст]. — М.: Минрегион России, 2012.



5. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Изд. официальное [Текст]. — М.: Стандартинформ, 2013.
6. ИСО 3010:2001. Основы расчёта конструкций. Сейсмические воздействия на конструкции [Текст].
7. Волгин Г.А. Численно-экспериментальное исследование динамических параметров крупнопанельного здания [Текст]/Г.А. Волгин, А.Ф. Рожков, И.С. Инжутов, Ю.М. Гончаров // Вестник ТГАСУ. — 2016. — № 3. — С. 111–120.
8. Дроздов В.В. Инженерная методика оценки сейсмической надёжности зданий по предельно допустимому риску [Текст] / В.В. Дроздов, В.А. Пшеничкина, С.И. Евтушенко // Вестник ВолгГАСУ. — 2013. — № 2. — С. 10.
9. Галиуллин Р.Р. Численные исследования динамических характеристик зданий с железобетонным каркасом [Текст] / Р.Р. Галиуллин, В.С. Изотов, Д.М. Нуриева // Известия КазГАСУ. — 2011. — № 2. — С. 81–85.
10. Пшеничкина В.А. Надёжность зданий как пространственных составных систем при сейсмических воздействиях [Текст]: монография / В.А. Пшеничкина; под ред. В.А. Пшеничкиной. — Волгоград: ВолгГАСУ, 2010.
11. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс) [Текст]: учебник для строит. вузов / Н.А. Цытович. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. школа, 1983.
12. Введение в программный комплекс ЛИРА-10.4 [Текст]: учеб. пособие / О.А. Ковальчук, А.В. Колесников, Е.М. Русанова [и др.]. — М.: НИУ МГСУ, 2015. — URL: <http://lira-soft.com/download/metodpos/index.php>
13. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст] / М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичёв, В.И. Крутов и др.; под общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.Г. Трофименкова. — М.: Стройиздат, 1985.

## References

1. SP 14.13330.2014. Stroitel'stvo v seysmicheskikh rayonakh. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP II-7-81\* [SP 14.13330.2014. Construction in seismic regions. Updated version of SNiP II-7-81\*]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2014.
2. SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85\* [SP 20.13330.2016. Loads and impacts. Updated version of SNiP 2.01.07-85\*]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2016.
3. SP 22.13330.2016. Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.01-83\* [SP 22.13330.2016. Bases of buildings and structures. Updated version of SNiP 2.02.01-83\*]. Moscow, Minstroy Rossii Publ., 2016.
4. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozeniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 52-01-2003 [SP 63.13330.2012. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions. Actualized edition of SNiP 52-01-2003]. Moscow, Minregion Rossii Publ., 2012.
5. GOST 25100—2011. Grunty. Klassifikatsiya [GOST 25100-2011. Soils. Classification]. Moscow, Standartinform Publ., 2013.
6. ISO 3010:2001. Osnovy rascheta konstruksiy. Seysmicheskie vozdeystviya na konstruksii [ISO 3010: 2001. Fundamentals of design calculations. Seismic effects on structures].
7. Volgin G.A., Rozhkov A.F., Inzhutov I.S., Goncharov Yu.M. Chislenno-eksperimental'noe issledovanie dinamicheskikh parametrov krupnopanel'nogo zdaniya [Numerically-experimental study of the dynamic parameters of a large-panel building]. *Vestnik TGASU* [Bulletin of TGAU]. 2016, I. 3, pp. 111–120.
8. Drozdov V.V., Pshenichkina V.A., Evtushenko S.I. Inzhenernaya metodika otsenki seysmicheskoy nadezhnosti zdaniy po predel'no dopustimomu risku [An engineering technique for estimating the seismic reliability of buildings according to the maximum permissible risk]. *Vestnik VolgGASU* [Vestnik VolgGASU]. 2013, I. 2, p. 10.
9. Galiullin R.R., Izotov V.S., Nurieva D.M. Chislennyye issledovaniya dinamicheskikh kharakteristik zdaniy s zhelezobetonnyim karkasom [Numerical studies of the dynamic characteristics of buildings with reinforced concrete skeleton]. *Izvestiya KazGASU* [Izvestiya KazGASU]. 2011, I. 2, pp. 81–85.
10. Pshenichkina V.A. *Nadezhnost' zdaniy kak prostranstvennykh sostavnykh sistem pri seysmicheskikh vozdeystviyakh* [Reliability of buildings as spatial composite systems under seismic influences]. Volgograd: VolgGASU Publ., 2010.
11. Tsytovich N.A. *Mekhanika gruntov (kratkiy kurs)* [Soil mechanics (short course)]. Moscow, Vyssh. shk. Publ., 1983.
12. *Vvedenie v programmnyy kompleks LIRA-10.4* [Introduction to the program complex LIRA-10.4]. Moscow, NIU MGSU Publ., 2015. Available at: <http://lira-soft.com/download/metodpos/index.php>
13. Gorbunov-Posadov M.I., Il'ichev V.A., Krutov V.I. *Osnovaniya, fundamentey i podzemnye sooruzheniya* [Grounds, foundations and underground structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985.