УДК 624.04

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ И ПРОТЯЖЕННОСТИ ЗДАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ВНУТРЕННИХ УСИЛИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ОТ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ 18-ЭТАЖНОГО МОНОЛИТНОГО ДВУХСЕКЦИОННОГО ДОМА С НЕЖИЛЫМ ПЕРВЫМ ЭТАЖОМ В г. АСТРАХАНИ

О. Б. Завьялова, А. А. Вопилова
Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет

Цель работы: исследовать напряженно-деформированное состояние высотного здания от ветрового воздействия при увеличении числа учитываемых секций.

Строительство высотных зданий в России набирает стремительные обороты. Это развитие тесно связано с увеличением городов, недостатком земельных участков и их высокой стоимостью. Здания повышенной этажности имеют высокий уровень вертикальных и горизонтальных (ветровых) нагрузок. Поэтому при строительстве таких объектов должны предъявляться повышенные требования к расчету, заключающиеся в использовании наиболее точных и научно обоснованных методов расчета и повышенных критериев и уровней запаса, обеспечивающих повышенную надежность высотных зданий. С учетом грунтовых условий города Астрахани (слабые водонасыщенные пески), расчетная сейсмичность района строительства может быть увеличена на 1 балл и достигнуть 7 баллов, т. е. минимального уровня учитываемого сейсмического воздействия [2].

По мере увеличения высоты зданий влияние нагрузок возрастает. Особое значение для высотных объектов имеют горизонтальные ветровые нагрузки. Воздействие ветра на высотные здания имеет сложный характер и включает ряд составляющих, в том числе: среднюю ветровую нагрузку, пульсационную нагрузку, вихревые возбуждения [4].

Совместное действие этих составляющих в зависимости от геометрических и динамических характеристик здания может вызвать резонансные колебания, неустойчивые колебания типа галопирования (изгибные колебания), а также дивергенцию (крутильные колебания) [4, 5].

Основной вопрос, который приходится решать при проектировании высотного объекта – его безопасность. Для повышения безопасности технически сложных и ответственных зданий и сооружений, и в первую очередь высотных зданий производится защита от прогрессирующего обрушения. Пространственный расчет конструктивной системы производится методом конечных элементов (МКЭ) по сертифицированным в России программным комплексам. В ходе данной работы был использован программный комплекс «Мономах-САПР».

В данной исследовательской работе рассмотрен 18-этажный жилой дом с монолитными несущими стенами, состоящий из нескольких секций,

в городе Астрахани. Было определено ветровое давление на одну, две и три секции здания (рис. 1) для климатических условий города Астрахани (3-й ветровой район) при направлении ветра на фронтальную и боковую поверхности здания.

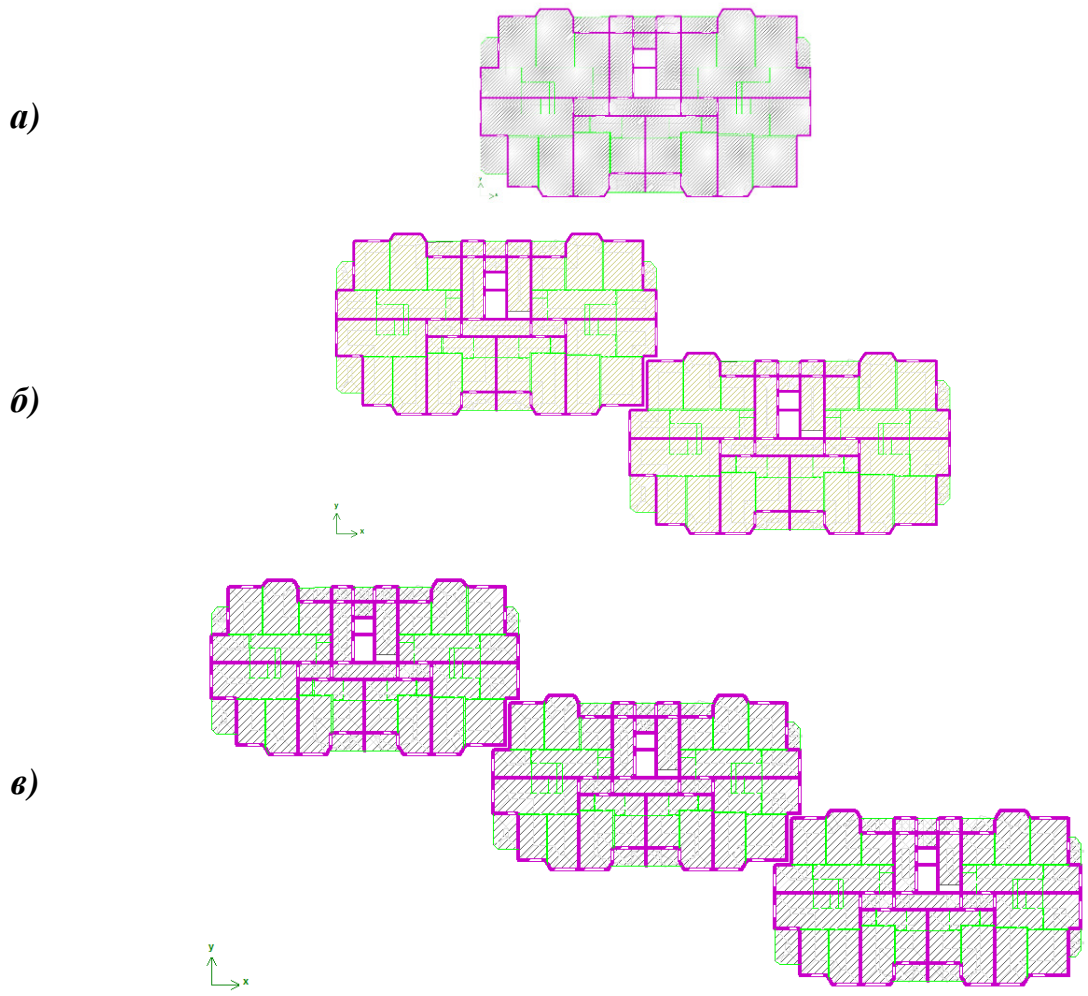

Рис. 1. Варианты расчетных схем: а) здание с одной секцией; б) здание с двумя секциями; в) здание с тремя секциями

Частоты и формы колебаний являются важными характеристиками здания, с которыми связаны его реакция на динамическое воздействие. Определение собственных частот и собственных форм колебаний здания или сооружения является первостепенной задачей проведения модального анализа. Также модальный анализ может быть первым шагом для других видов динамического анализа, таких, как анализ переходных процессов, гармонический и спектральный анализ [4].

Ветровые нагрузки были приложены к расчетной схеме на уровне перекрытий в виде равномерно распределенной нагрузки. Расчет произведен в программе «Мономах-САПР» [3].

По найденным средним значениям ветровой нагрузки и массам этажей произведен расчет здания на динамическое воздействие ветра. Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p

определялось по w_m (средней составляющей ветровой нагрузки) в зависимости от динамических характеристик (собственных частот, степеней свободы и коэффициента внутреннего трения) здания, на которое действует ветровая нагрузка [1]. Вследствие упругих свойств сооружения при действии порывов ветра здание испытывает колебания. В зависимости от соотношения между частотами собственных колебаний сооружения и частотой пульсации ветра, частотой срыва вихрей воздуха с сооружения в нем могут возникнуть крутильные и поступательные колебания [6]. При этом в его элементах возникают силы инерции, которые влияют на напряженно-деформированное состояние здания. Это приведет к значительному увеличению усилий, напряжений и перемещений в несущих элементах сооружения.

После выполнения расчета по МКЭ были вычислены значения частот и периодов колебаний первых 3-х форм (табл. 1) для одной отдельно стоящей секции здания, также для двух и трех секций.

Таблица 1

Модальный анализ

№ п/п	*Кол-во секций*	*Форма*	*Частота, Гц*	*Период, с*	*Присоединенные массы с учетом сейсмического воздействия, %*
1	Одна секция	1	1,43	0,7014	65,6
		2	2,03	0,4917	0,0
		3	3,09	0,3238	0,0
2	Две секции	1	1,45	0,6919	28,0
		2	1,45	0,6915	37,3
		3	2,06	0,4860	0,0
3	Три секции	1	1,43	0,7011	19,7
		2	1,43	0,6984	21,6
		3	1,44	0,6955	24,0

По результатам расчета были получены деформационные расчетные схемы с цветовой индикацией величины перемещения в узлах (таблицы 2–5) от воздействия ветровой нагрузки на фронтальную и боковую поверхности здания (рис. 2–5).

Таблица 2

Значения перемещений зданий при ветровом воздействии на боковую поверхность по оси X

Кол-во секций	*Одна секция*		*Две секции*		*Три секции*	
Значения перемещений по оси X, м	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*
	4,24e-004	-4,23e-006	3,69e-004	-3,69e-004	3,53-e004	-3,53e-006

При воздействии ветра на боковую поверхность максимальные перемещения по оси Y для одной отдельно стоящей секции здания возникают с подветренной стороны. Для двух секций зданий такие перемещения

преобладают на верхних этажах правой секции, причем слева направо они убывают. Максимальные перемещения в здании с тремя секциями появляются в крайней правой секции, а минимальные напряжения в крайней левой секции.

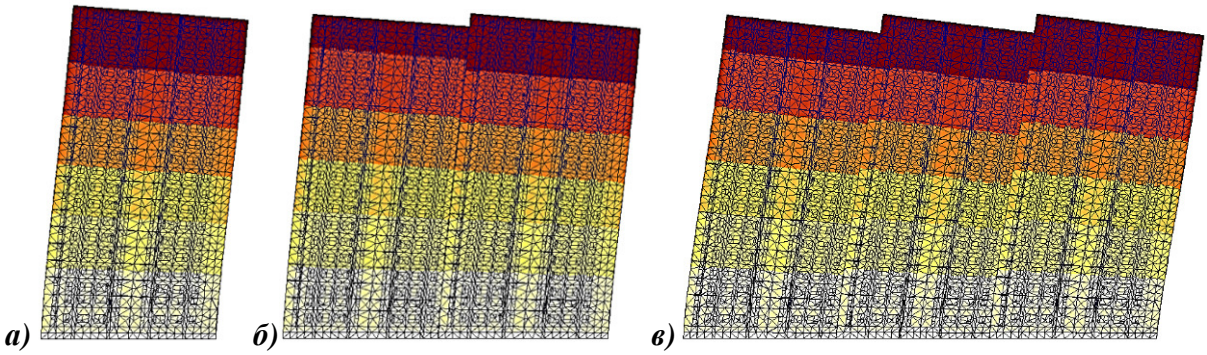

Рис. 2. Схемы деформации здания от воздействия ветровой нагрузки на боковую поверхность здания по оси X: а) для одной отдельно стоящей секции здания; б) для двух отдельно стоящих секций здания; в) для трех секций здания

Таблица 3

Значения перемещений зданий при ветровом воздействии на боковую поверхность по оси Y

Кол-во секций	*Одна секция*		*Две секции*		*Три секции*	
Значения перемещений по оси Y, м	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*
	1,69e-005	-4,29e-006	1,28e-005	-4,59e-006	1,10e-005	-3,42e-006

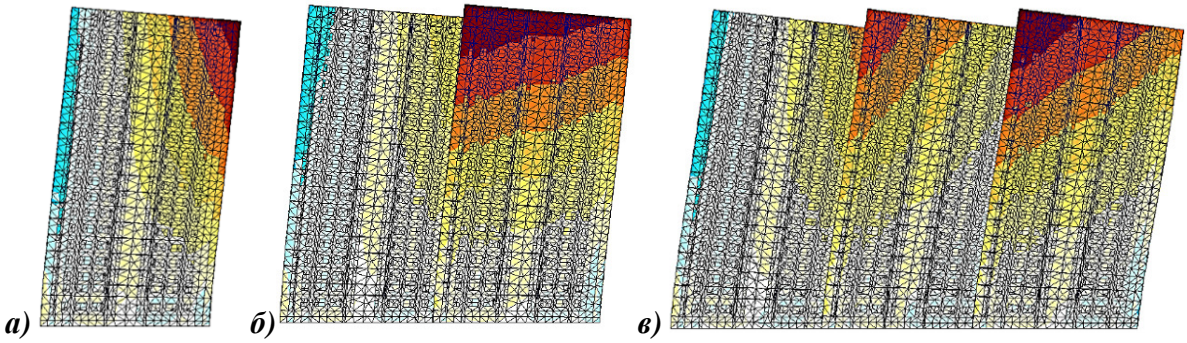

Рис. 3. Схемы деформации здания от воздействия ветровой нагрузки на боковую поверхность здания по оси Y: а) для одной отдельно стоящей секции здания; б) для двух отдельно стоящих секций здания; в) для трех секций здания

Максимальные перемещения одной отдельно стоящей секции здания от воздействия ветровой нагрузки на фронтальную поверхность преобладают с подветренной стороны на верхних этажах здания. При воздействии ветровой нагрузки на здание на рис. 3б в обеих секциях возникают наибольшие перемещения с подветренной стороны на верхних этажах, при этом, большие деформации возникают в правой секции. В здании на рис. 3в самые большие перемещения появляются в крайней левой секции здания, в двух остальных они уменьшаются.

Таблица 4

Значения перемещений зданий при ветровом воздействии на фронтальную поверхность по оси X

Кол-во секций	*Одна секция*		*Две секции*		*Три секции*	
Значения перемещений по оси X, м	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*
	2,97e-005	-1,08e-005	2,66e-005	-1,01e-005	2,62e-005	-9,67e-006

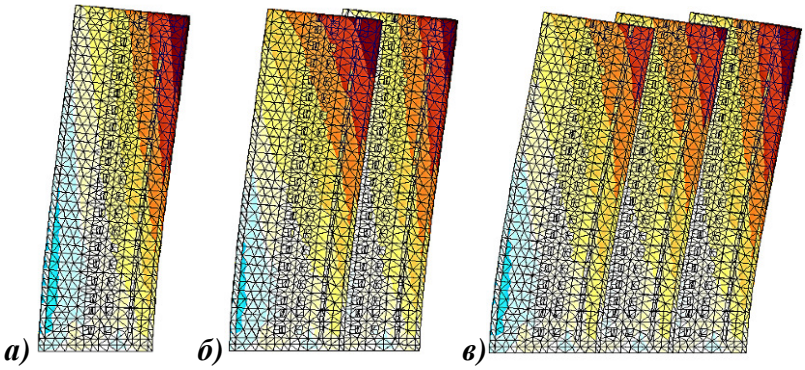

Рис. 4. Схемы деформации здания от воздействия ветровой нагрузки на фронтальную поверхность здания по оси X: а) для одной отдельно стоящей секции здания; б) для двух отдельно стоящих секций здания; в) для трех секций здания

Максимальные значения деформаций зданий от воздействия ветровой нагрузки на фронтальную поверхность по оси Y возникают на верхних этажах здания.

Таблица 5

Значения перемещений зданий при ветровом воздействии на фронтальную поверхность по оси Y

Кол-во секций	*Одна секция*		*Две секции*		*Три секции*	
Значения перемещений по оси Y, м	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*
	0,00209	-2,09e-005	0,00192	-1,92e-005	0,00188	-1,88e-005

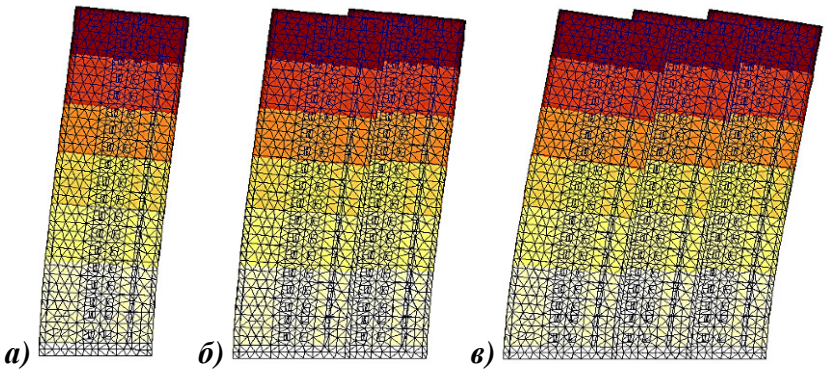

Рис. 5. Схемы деформации здания от воздействия ветровой нагрузки на фронтальную поверхность здания по оси Y: а) для одной отдельно стоящей секции здания; б) для двух отдельно стоящих секций здания; в) для трех секций здания

При влиянии ветра на фронтальную и боковую стороны зданий значения внутренних растягивающих усилий N_x, N_y в стенах для одной, двух и трех секций с наветренной стороны максимальны, наибольшие сжимающие усилия возникают с подветренной стороны.

Таблица 6

Значения внутренних усилий при ветровом воздействии на фронт и боковую поверхности зданий

Кол-во секций в здании	*Фронтальная поверхность*				*Боковая поверхность*			
	N_x, *тс/м*^{2}		N_y, *тс/м*^{2}		N_x, *тс/м*^{2}		N_y, *тс/м*^{2}	
	max	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*	*max*	*min*
Одна секция	11,9	-9,69	67,8	-48,5	3,81	-3,89	16,2	-17,1
Две секции	11,6	-9,63	65,5	-48,2	3,27	-3,31	14,6	-15,5
Три секции	10,9	-8,72	61,6	-47,0	3,20	-3,31	13,9	-14,6

Полученные горизонтальные перемещения не зависят от числа учитываемых секций здания, однако по СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» ветровые нагрузки должны определяться с учетом ширины наветренной поверхности здания [1]. При учете сейсмического воздействия за счет того, что сейсмические волны достигают секций, расположенных в ступенчатом порядке, в разное время, наблюдаются колебания секций в противофазах, что должно быть учтено при определении величины зазора в деформационном шве. Применение дополнительных конструктивных мер в рассмотренном здании не требуется, т. к. в нем в первых двух формах деформаций крутильных колебаний не возникает.

Список литературы

1. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : утв. приказом Минрегиона РФ от 27.12.2010 г. № 787.

2. МГСН 4.19-05. Многофункциональные высотные здания и комплексы.

3. Городецкий Д. А., Юсипенко С. В., Батрак Л. Г., Лазарев А. А., Рассказов А. А. Мономах-САПР : учеб. пособие. М., 2013. 368 с.

4. Попелло Е. С., Гурьева В. А. Влияние ветровых нагрузок на высотные здания // Научно-технический прогресс: актуальные и перспективные направления будущего : сборник материалов II Международной научно- практической конференции : в 2 т. Кемерово, 2016. 171 с.

5. Xu M., Zhang S. M., Gao S. Overview of analysis approaches in preventing progressive collapse of building structure // Harbin gongye daxue xuebao. 2010. Vol. 42. 239 p.

6. Pereira J. D. Wind Tunnels: Aerodynamics, Models and Experiments. New York : Nova Science Publishers, Inc., 2011. 227 p.