

УДК 69.032.21

Миронова Юлия Викторовна

кандидат технических наук, доцент

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Габдрахманова Лейсан Мунировна

инженер производственно-технического отдела

E-mail: gleysanm@gmail.ru

ООО «ТСИ»

Адрес организации: 420044, Россия, г. Казань, ул. Енисейская, д. 3а

Ветровые воздействия на существующие малоэтажные здания при размещении высотных и многоэтажных зданий в сложившейся застройке

Аннотация

Постановка задачи. Цель исследования – моделирование ветровых потоков, для определения максимальных аэродинамических ветровых воздействий на высотные и многоэтажные здания и окружающую их застройку, совершенствование выражения по определению максимальной ветровой нагрузки в зависимости от высотности зданий и расстояния до них.

Результаты. На основании результатов численных экспериментов по моделированию распределения ветровых потоков в виртуальной аэродинамической трубе, для существующей малоэтажной застройки предложен повышающий коэффициент в выражение по определению ветровой нагрузки в зависимости от высоты многоэтажного здания и расстояния до него.

Выводы. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что эти результаты могут быть использованы при определении ветровых нагрузок при реконструкции малоэтажных зданий и их поверочных расчетах при размещении многоэтажных и высотных зданий в существующей застройке. Предложенный повышающий коэффициент рекомендуется учитывать при определении среднего значения ветровой нагрузки.

Ключевые слова: многоэтажное здание, высотное здание, малоэтажные здания, ветровой поток, аэродинамические колебания, максимальная скорость ветра, ветровая нагрузка, реконструкция пятиэтажных зданий, численное моделирование, виртуальная аэродинамическая труба.

Введение

Многоэтажные и высотные здания – основной тип зданий при застройке городов. Оптимальным является возведение отдельно расположенных комплексов таких зданий, но это не всегда возможно, поэтому достаточно часто точечные многоэтажные и высотные административные и жилые здания размещают в условиях существующей малоэтажной застройки, которая, как правило, представлена «хрущевками». Такие дома, высотой 4 или 5 этажей получили широкое распространение благодаря высокой скорости возведения и решению жилищных проблем граждан. На сегодняшний день практически все плоские крыши «хрущевок» реконструированы в скатные. С точки зрения распределения и изменения ветровых воздействий и нагрузок такое соседство вносит свои коррективы в напряженно-деформированное состояние существующих зданий, обладающих определенной степенью износа и наличием множества дефектов, полученных в ходе эксплуатации.

Основная горизонтальная нагрузка, которая действует на высотное здание – ветровая. Наиболее важным фактором, с точки зрения обеспечения устойчивости и комфортности нахождения человека на высоких или последних этажах, является оказание несущей системой сопротивления ветровым нагрузкам. При увеличении высоты здания ветровые нагрузки увеличиваются, в дополнение к статическим возникают

аэроупругие динамические колебания, значение которых может часто доминировать [1-3]. Существующие нормативные документы и методики не в полной мере отражают специфику учета ветровых воздействий на высотные и многоэтажные здания, прежде всего, в условиях их компактного расположения, даются рекомендации по уточнению значений ветрового давления путем проведения испытаний в аэродинамической трубе, что достаточно дорого и не всегда возможно [4-7]. С другой стороны, какие-либо рекомендации по реконструкции, усилению, обследованию близлежащих зданий и уточнению значений ветровой нагрузки на их элементы нормами не приводятся. При этом, воздействующий на высотные здания, ветер будет создавать дополнительные аэродинамические колебания, такие как бафтинг, флаттер, галопирование, резонансное вихревое возбуждение, в том числе и на существующую малоэтажную застройку.

Наличие препятствий на пути ветрового воздействия в виде многоэтажной застройки приводит к повышению эффекта проветривания и способствует образованию застойных явлений, так называемой «ветровой тени», что приводит к дискомфорту людей в пешеходных зонах, испытывающих на себе высокие скорости ветра и образованные им завихрения. Анализ, учет, влияние и перераспределение ветровых потоков с учетом реальной застройки является малоизученной и сложной задачей. При воздействии ветра на боковую поверхность здания ему передается ветровое давление. При этом в общем случае наветренная сторона здания испытывает растяжение, а подветренная сторона – сжатие, следовательно, горизонтальная ветровая нагрузка вызывает изгиб высотного здания по консольной схеме.

В соответствии с нормативными документами, величина ветровой нагрузки определяется скоростью ветра, плотностью воздушного потока, типом местности, высотой здания, его конфигурацией, климатическими особенностями района строительства. При решении расчетных и проектных задач, касающихся зданий сложных форм и задач, связанных с определением действующих нагрузок на реконструируемые или модернизируемые здания сложившейся застройки, затруднения вызывает определение аэродинамических коэффициентов, для случаев, которые не предусмотрены нормами.

Воздействие ветра на здания и сооружения и обратное влияние городской застройки на ветровые потоки – это взаимозависимый процесс. Несмотря на то, что атмосфера является турбулентной средой, подверженной воздействию многочисленных внешних факторов, влияние рельефа, как препятствия, постоянно действующего на поток, считается одинаковым. Высокие препятствия в виде зданий деформируют воздушный поток, его направление и скорость, тем самым становясь причиной возникновения аэродинамических колебаний и механических воздействий, поэтому важно уметь прогнозировать какие изменения претерпевает ветер в условиях застройки и места, где появятся повышенные скорости ветра. Выделяют четыре типа возмущений воздушного потока над препятствием: ламинарное течение, течение стоячего вихря, волновое движение потока и течение ротора. К основным аэроупругим явлениям, рекомендуемым к расчету нормативными документами, относят флаттер и бафтинг, как наиболее часто возникающие. Однако в отношении воздействий на конструкции необходимо рассматривать вихревое возбуждение, галопирование поперек воздушного потока, дивергенцию и параметрический резонанс. Все эти воздействия являются недопустимыми для несущих систем зданий.

Для зданий и сооружений сложной формы рекомендуется аэродинамические коэффициенты определять путем испытаний в аэродинамической трубе, что является достаточно точным, но дорогостоящим мероприятием. Определение ветровых воздействий, исходя из опыта проектирования зданий малой и средней высотности, невозможно, так как рассматриваются в основном простые формы, вследствие чего методики на этой основе становятся неприменимы. Однако необходимая информация о распределении ветровых нагрузок на высотные сооружения сложной конфигурации и окружающую их застройку вполне адекватно может быть получена с помощью методов математического (компьютерного) моделирования [4-5, 8-9], что также отражено в работе Куприянова В.Н., Альтапова С.Р. по моделированию ветровых воздействий изменением формы здания.

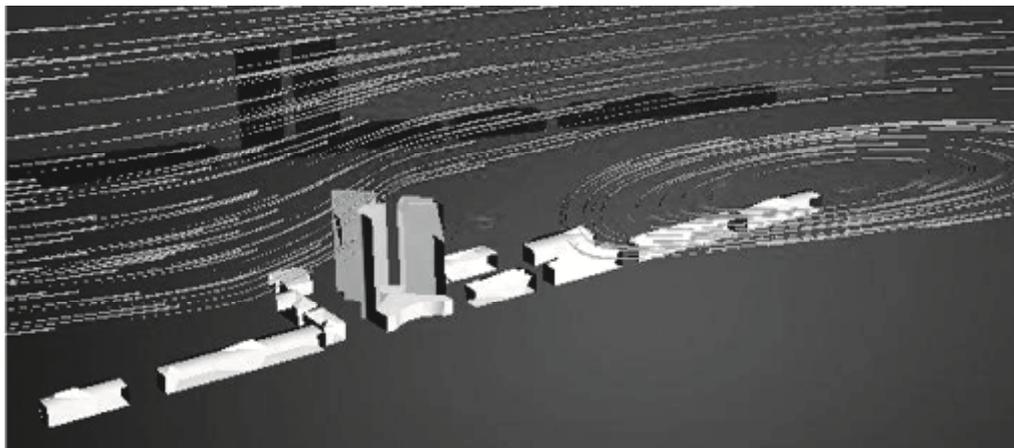
Для уточнения характера распределения ветровых потоков, определения максимальных аэродинамических воздействий на здания повышенной этажности и

окружающую их застройку были проведены численное исследование в программе моделирования виртуальной аэродинамической трубы для визуализации воздушного потока – Autodesk «Flow Design» и анализ изменения ветрового давления в зависимости от направления ветровой нагрузки и ее значений. Построение модели для продувки выполнено в программном комплексе для моделирования трехмерных объектов – SketchUp. Аналогичные исследования проводились Фабричной К.А., Абдрахимовой Н.С., Альтаповым С.Р. при моделировании каркаса здания с учетом податливости узлов сопряжения при ветровых воздействиях.

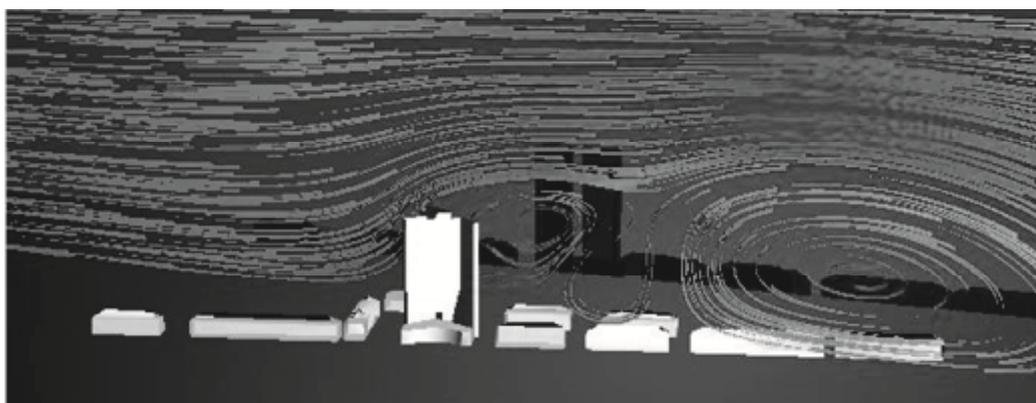
Численное моделирование аэродинамических воздействий на существующую застройку

В качестве объекта исследования рассмотрена существующая застройка на улице Павлухина, г. Казани и жилой комплекс «Золотая подкова», состоящий из трех 23-х этажных башен, высотой 77,5 м. Существующая застройка представлена пятиэтажными зданиями серии 1-446С, построенными с 1958 по 1964 год, с замененной при реконструкции плоской кровлей на скатную.

Рассмотрено влияние ветра на комплекс зданий и его влияние на распределение ветровых потоков на окружающую застройку. Рассматривались максимальная скорость и давление при расчетной ветровой нагрузке по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» и при ураганной нагрузке, определенной по статистическим данным.



а)



б)

Рис. 1. Распределение ветровых потоков на существующую застройку при возведении многоэтажных и высотных зданий:

а) при высоте 77,5 м; б) при высоте 100 м (иллюстрация авторов)

Направление ветра было принято в соответствии с розой ветров и рассматривалось в наиболее характерных направлениях. Для выявления максимально неблагоприятных ветровых воздействий на существующие малоэтажные здания в зависимости от высоты возводимых зданий, застройка была смоделирована на высоту 77,5, 85, 100 и 120 метров.

При высоте здания 77,5 метров наблюдается течение стоячего вихря, возникающего при средних значениях ветра. На подветренной стороне здания образуется вихрь, практически параллельный земле, за зданием образуется область ветровой тени. Это область возникновения и интенсивного движения вихрей, оказывает давление на существующую малоэтажную застройку. При высоте 85 метров наблюдается волновое движение потока, возникающее при усиливающихся с высотой сильных ветрах, когда стационарный вихрь на подветренной стороне распадается на систему вихрей, оказывая еще большее давление на малоэтажную существующую застройку. При моделировании высотного здания на высоте 100 и 120 метров наблюдается течение ротора. Сильные ветры образуют завихрения на близком расстоянии как друг к другу, так и к препятствию, движение потоков становится неупорядоченным.

К опасным метеорологическим явлениям на территории Республики Татарстан относятся явления погоды, которые интенсивностью, продолжительностью и временем возникновения представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб отраслям экономики. Перечень и критерии опасных явлений и климатических явлений утверждены приказом ФГБУ «УГМС Республики Татарстан» № 98 от 17.10.2014. Для определения возможных негативных воздействий на здания был выполнен расчет нормативного давления ветра, исходя из скорости урагана 25 м/с. Результаты определения максимальной скорости ветра приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальные скорости ветра, м/с

Высота $h(z_0)$, м	15	20	30	40	50	60	77,5	80	90	100	120
V_{max} СП 20.13330	18,2	19,3	21,6	23,1	24,6	25,6	26,6	27,9	29,2	29,9	30,6
V_{max} «Flow design»	36,6	35,9	36,6	37,2	37,7	44,2	50,2	58,3	57,5	59,3	60,6
V_{max} Ураганная	29,3	30,1	32,5	35,4	37,5	39,5	42,0	42,9	43,3	44,2	46,3

С увеличением высоты, наблюдается повышение давления с надветренной стороны и увеличение вихревых потоков с подветренной стороны высотного здания, оказывающих воздействие не только на высотные здания, но и на малоэтажную существующую застройку [10]. При этом максимальная скорость ветра в аэродинамической трубе в 1,5-2 раза больше расчетной максимальной скорости ветра по СП. В результате расчетов получено, что воздействие ураганного ветра на существующую застройку, больше скорости ветра по СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» примерно в 1,5 раза; при моделировании с учетом аэродинамики воздействия больше ураганной скорости ветра в 1,3 раза. На следующем этапе для выявления максимальных давлений моделировались ураганные ветровые воздействия в виртуальной аэродинамической трубе.

Распределение ветрового потока от высотных зданий на существующую малоэтажную застройку

В процессе эксплуатации зданий меняются не только техническое состояние конструктивных элементов ввиду появления дефектов и повреждений, но и нормативные и расчетные нагрузки на эти элементы, в частности, при изменении нормативно-правовой базы. При определении ветровых нагрузок на здания и сооружения используются статистические данные, на основании которых установлены значения этих нагрузок. Однако, в силу многих причин, эти данные меняются, и требования, которые использовались на момент проектирования и строительства зданий в прошлом столетии, не могут быть применены сегодня. В связи с увеличением нормативных нагрузок, восприятие их существующей несущей системой может быть различным, в частности, это может привести к перераспределению усилий в элементах и изменению напряженно-

деформированного состояния в целом [9]. Исходя из этого, в работе проведено сравнение ветрового давления по нормам 1962 года и действующему на сегодня СП, а также их сравнение с возможными неблагоприятными воздействиями и результатами продувки в виртуальной аэродинамической трубе, результаты представлены в табл. 2.

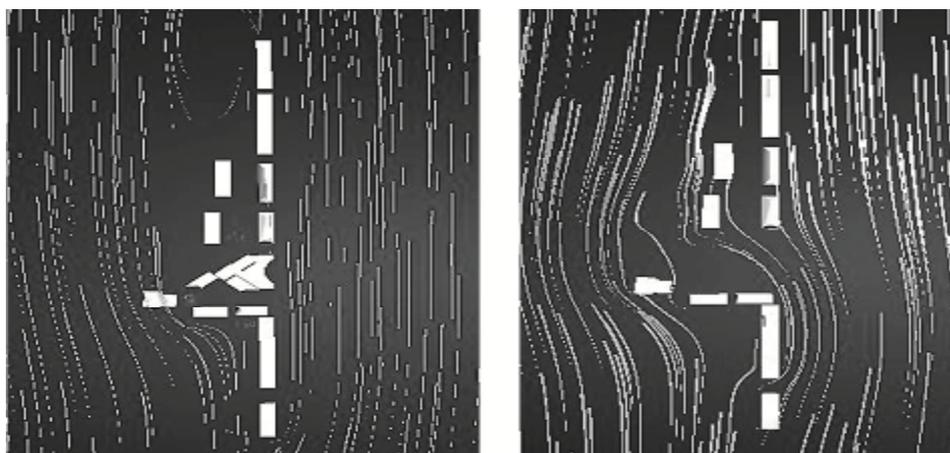
Таблица 2

Ветровое давление на существующее пятиэтажное здание

Н, м	СНиП П-А.11-62, кПа	СП 20.13330.2016, кПа	В результате эксперимента «Flow Design» с учетом многоэтажной застройки, кПа	В результате эксперимента «Flow Design» без многоэтажной застройки, кПа
2,70	0,21	0,26	0,28	0,083
5,40	0,225	0,26	0,28	0,098
8,10	0,225	0,26	0,33	0,11
10,80	0,23	0,27	0,37	0,13
13,50	0,25	0,29	0,42	0,15
17,50	0,27	0,33	0,46	0,17

Численным экспериментом установлено, что ветровое давление, при моделировании с учетом аэродинамики, в 1,8-2 раза больше ветрового давления, полученного по СНиП П-А.11-62 «Нагрузки и воздействия», действовавшего на момент строительства. Необходимо отметить, что до постройки многоэтажного комплекса, ветровое давление было приблизительно в 2 раза меньше и в 2,5 раза меньше, чем при моделировании с учетом аэродинамики.

Численное моделирование в программе «Flow Design» показало, что при воздействии ветра с боковой стороны воздушный поток направлен на стену и крышу здания, происходит завихрение потока по стене, затем поток частично устремляется вниз к фундаменту, частично поднимается вверх, ударяя в карниз крыши. Ветровой поток, попадающий на скат крыши, двигается по касательной к коньку кровли, поднимает спокойный воздух с подветренной стороны и движется от здания дальше. Получено, что одновременно возникают три силы – две касательные с наветренной стороны и подъемная сила, образующаяся от разности давлений воздуха, с подветренной стороны, которые могут привести к срыву и опрокидыванию. Под прямым углом к склону действует еще одна сила, оказывающая давление на скат крыши. В зависимости от угла наклона кровли, нормальные и касательные силы могут изменять свое значение. При большем наклоне нормальные силы имеют большее значение, при уменьшении угла увеличиваются касательные, которые способствуют увеличению подъемной силы с подветренной стороны.



а)

б)

Рис. 2. Распределение ветровых потоков:
а) с учетом многоэтажного здания; б) без многоэтажного здания (иллюстрация авторов)

Ветровое давление на малоэтажную застройку, в зависимости от высот рядом стоящих зданий, при моделировании застройки в аэродинамической трубе, при нормативном давлении в $w_0 = 0,3$ кПа составило: ветровое давление с учетом аэродинамики – 0,46 кПа; при ураганной скорости ветра $v = 25$ м/с, – 0,7 кПа; при ураганной скорости ветра, смоделированной в аэродинамической трубе – 1,2 кПа.

Необходимо отметить, что аэродинамическая неустойчивость вызывает дополнительные усилия в элементах существующих малоэтажных зданий, рассчитанных по нормам 1962 года, что может негативно сказаться на элементах кровли и несущей системы в целом. Расчет подъемной силы крыши, при воздействии ураганной скорости ветра на существующую застройку с учетом возведенных многоэтажных зданий, показал, что подъемная сила P , больше собственного веса крыши G , с разницей на 254,1 кН, что может привести к срыву крыши с пятиэтажных зданий при превышении ветровой нагрузки.

В результате моделирования в аэродинамической трубе ветровых воздействий, действующих на здания повышенной этажности и существующую застройку, полученное ветровое давление и максимальная скорость ветра примерно в 2 раза превышают значения, рассчитанные по СП 20.13330 «Нагрузки и воздействия»; наблюдаются срыв ветрового потока на рядом стоящие малоэтажные застройки, вызывающий вихревые возбуждения и аэродинамическую неустойчивость типа бафтинга; ветровая нагрузка на малоэтажное здание при моделировании, с учетом аэродинамики в 1,8-2 раза больше ветровой нагрузки по СНиП II-A. II-62 «Нагрузки и воздействия».

Таким образом, установлено, что возведение высотных и многоэтажных зданий в сложившейся застройке может негативно сказаться на существующих зданиях и их отдельных конструктивных элементах. Максимальная нагрузка на крышу пятиэтажного дома в рассматриваемом варианте жилого комплекса возникает при ураганном ветре, смоделированном с учетом реальных условий местоположения в аэродинамической трубе. Было определено, что ветровая нагрузка на малоэтажную застройку изменяется в зависимости от скорости ветрового воздействия и расстояния от высотного здания. В табл. 3 предложен повышающий коэффициент к расчетной ветровой нагрузке в зависимости от высоты здания и расстояния до него.

Таблица 3

Повышающий коэффициент $k_{v,max}$

Расстояние S , м	Высота здания H , м				
	75	85	100	110	120
-	75	85	100	110	120
10	-	-	-	-	-
30	-	-	-	1,1	1,21
50	-	-	1,2	1,28	1,41
70	-	1,0	1,27	1,5	1,72
100	1,1	1,17	1,47	1,75	2,02
120	1,14	1,224	1,55	1,83	2,13
150	1,22	1,33	1,67	1,99	2,29

По результатам исследования предлагается при расчете средней составляющей основной ветровой нагрузки w_m , ввести добавочный коэффициент $k_{v,max}$, для учета ураганного воздействия ветра в зависимости от высоты вновь возведенного здания и расстояния до него:

$$w_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c \cdot k_{v,max}, \quad (1)$$

где w_0 – нормативное значение ветрового давления;

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

c – аэродинамический коэффициент;

$k_{v,max}$ – коэффициент при ураганном воздействии ветра, определяемый по табл. 3.

Заключение

Проведённые численные эксперименты по исследованию влияния высотных и многоэтажных зданий на существующую застройку при воздействии ветра доказали, что перераспределение ветровых потоков вызывает аэроупругие колебания и значительно повышает ветровое давление. Вследствие этого предлагается учитывать повышающий

коэффициент при определении ветровых нагрузок при поверочных расчетах и реконструкции малоэтажных зданий. Повышающий коэффициент зависит от высоты вновь возводимого здания и расстояния между ним и существующим. Значение средней составляющей ветровой нагрузки предлагается определять по выражению (1).

Список библиографических ссылок

1. Vikram M. B., Chandradhara G., Keerthi Gowda B. A study on effect of wind on the static and dynamic analysis // International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development. 2014. Vol. 3. № 6. P. 885–890.
2. Ганин С. М., Гузеев А. С., Лебедев А. О., Короткин А. И., Пустошный А. В. О воздействии ветра на высотные монолитные здания // СтройПРОФИль. 2006. № 8 (32). С. 27–28.
3. Повзун А. О., Бузун Н. И., Зимин С. С. Ветровая нагрузка на здания и сооружения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 3 (30). С. 70–78.
4. Sumukam Sai Charan Raj, Suraj Baraik, Dr. G Venkata Ramana Wind analysis of high-rise buildings using SAP2000 // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol. 9. № 8. P. 1083–1091.
5. Гутников В. А., Кирякин В. Ю., Лифанов И. К., Сетуха А. В. Математическое моделирование аэродинамики городской застройки. М. : Пасья, 2002. 244 с.
6. Aly A. M. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: Past, present and future // Building and Environment. 2014. № 75. P. 206–221.
7. Гагарин В. Г., Гувернюк С. В. О достоверности компьютерных прогнозов при определении ветровых воздействий на здания и комплексы // Жилищное Строительство. 2014. № 7. С. 3–9.
8. Егорычев О. О., Чуринов П. С. Экспериментальное исследование ветровых нагрузок на высотные здания // Жилищное Строительство. 2015. № 6. С. 20–23.
9. Chen X., Kwon D. K., Kareem A. High-frequency force balance technique for tall buildings: a critical review and some new insights // Wind and Structures. 2014. Vol. 18. № 4. P. 391–422.
10. Шмелев Г. Н., Хайдаров Л. И. Натурный эксперимент по определению распределения давления в надкрышной зоне здания : сб. мат. X международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам / ПГТУ. Йошкар-Ола, 2015. Т. 2. С. 231–232.

Mironova Iuliya Viktorovna

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: yul.mironova2018@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Gabdrakhmanova Leysan Munirovna

engineer of production and technical department

E-mail: gleysanm@gmail.ru

LLC «TSI»

The organization address: 420044, Russia, Kazan, Eniseyskaya st., 3A

Wind impact on existing low-rise buildings when placing high-rise and multi-storey buildings in the existing buildings

Abstract

Problem statement. The aim of the study is to simulate wind flows, to determine the maximum aerodynamic wind effects on high – rise and multi-storey buildings and the surrounding buildings, to improve the expression to determine the maximum wind load depending on the height of buildings and the distance to them.

Results. Based on the results of numerical experiments to simulate the distribution of wind flows in a virtual wind tunnel for the existing low-rise buildings, an increasing coefficient in the expression for determining the wind load depending on the height of the multi-storey building and the distance to it is proposed.

Conclusions. The results can be used to determine wind loads in the reconstruction of low-rise buildings and their verification calculations when placing multi-storey and high-rise buildings in the existing buildings. The proposed increasing coefficient is recommended to be taken into account when determining the average value of the wind load.

Keywords: multi-storey building, high-rise building, low-rise buildings, wind flow, aerodynamic vibrations, maximum wind speed, wind load, reconstruction of five-storey buildings, numerical simulation, virtual wind tunnel.

References

1. Vikram M. B., Chandradhara G., Keerthi Gowda B. A study on effect of wind on the static and dynamic analysis // International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development. 2014. Vol. 3. № 6. P. 885–890.
2. Ganin S. M., Guzeev, A. S., Lebedev A. A., Korotkin A. I., Pustoshny A. V. On the effect of wind on high-rise reinforced concrete building // StroyPROFIL. 2006. № 8 (32). P. 27–28.
3. Povzun A. O., Buzun N. I., Zimin S. S. Wind load on buildings and structures // Construction of unique buildings and structures. 2015. № 3 (30). P. 70–78.
4. Sumukam Sai Charan Raj, Suraj Baraik, Dr. G Venkata Ramana Wind analysis of high-rise buildings using SAP2000 // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. Vol.9. № 8. P. 1083–1091.
5. Gutnik V. A., Karakin V. J., Lifanov I. K., Setukha A. V. Mathematical modeling of the aerodynamics of urban development. M. : Pasva, 2002. 244 p.
6. Aly A. M. Atmospheric boundary-layer simulation for the built environment: Past, present and future // Building and Environment. 2014. № 75. P. 206–221.
7. Gagarin V. G., Guvernyuk S. V. About the reliability of computer predictions in determining wind effects on buildings and complexes // Zhilishchnoye Stroitel'stvo. 2014. № 7. P. 3–9.
8. Egorychev O. O., Churin P. S. Experimental study of wind loads on high-rise buildings // Zhilishchnoye Stroitel'stvo. 2015. № 6. P. 20–23.
9. Chen X., Kwon D. K., Kareem A. High-frequency force balance technique for tall buildings: a critical review and some new insights // Wind and Structures. 2014. Vol. 18. № 4. P. 391–422.
10. Shmelev G. N., Khaydarov L. I. Full-scale experiment to determine the pressure distribution in the roof area of the building : col. of art. of the X international youth scientific conference on natural science and technical disciplines / PGTU. Yoshkar-Ola, 2015. Vol. 2. P. 231–232.