

Научно-исследовательский центр СтаДиО

Свидетельство СРО «АПОЭК» - Ассоциации «Проектировщики оборонного и энергетического комплексов»
Номер решения о приеме в члены СРО № 06-ПСС-38/2018 от 20.06.2018 г.

125124, Москва, ул. 3-я Ямского Поля, д.18, эт. 8, помещ. IX, ком. 13, т. (499)706-8810, e-mail: stadyo@stadyo.ru

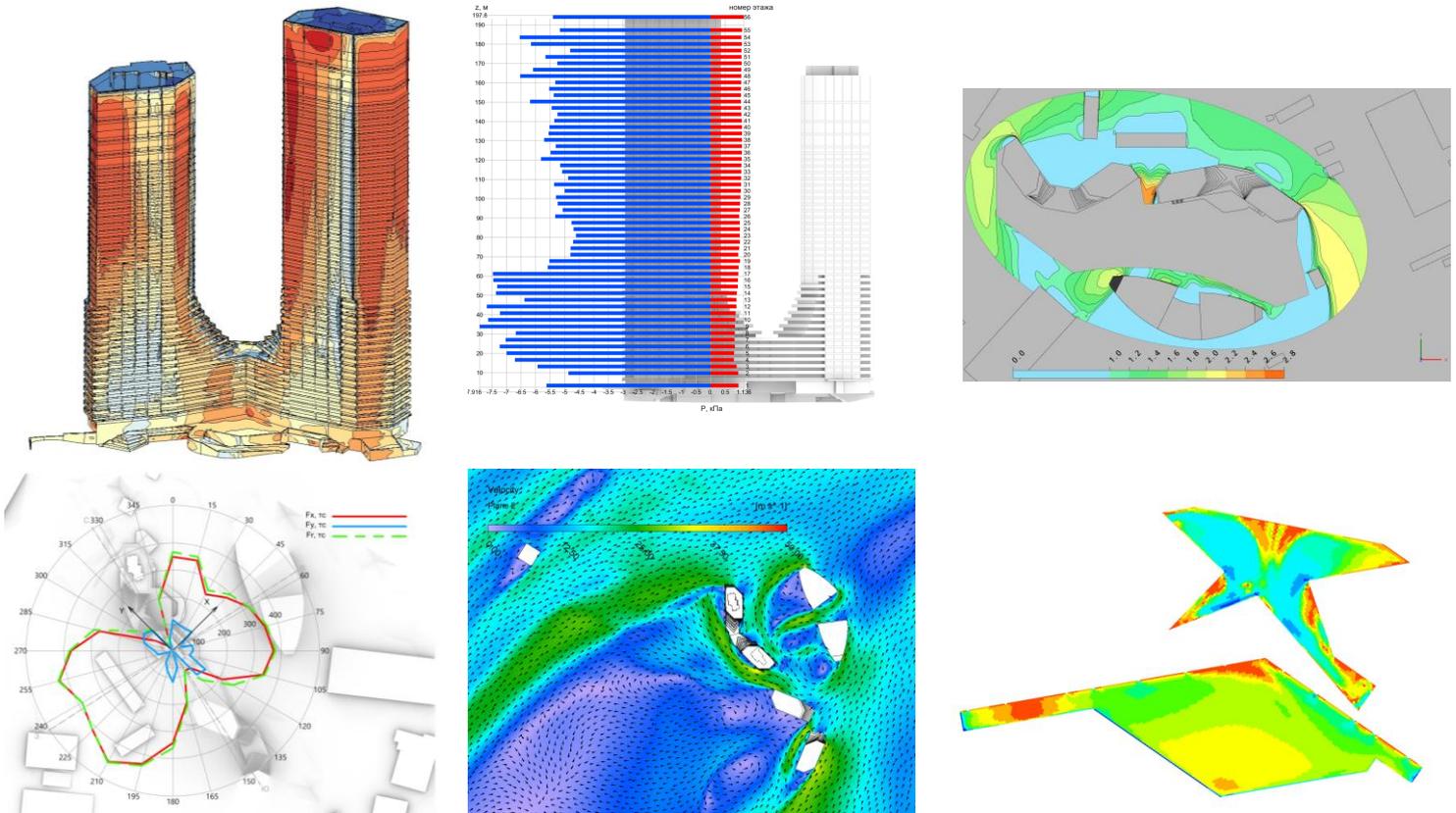
Инв. № ПИР-ЮП-11/29-3

«Утверждаю»
Генеральный директор АО НИЦ СтаДиО

_____ А.М. Белостоцкий

Научно-технический отчет

Определение расчётных ветровых и снеговых нагрузок на несущие и фасадные конструкции объекта «Многофункциональный жилой комплекс. Этап 1», расположенного по адресу: г. Москва, СЗАО, район Хорошево-Мневники, 3й Силикатный проезд, вл.10. 1-я очередь строительства



1. Исходные данные. Постановка задач

1.1. Площадка строительства, рельеф и застройка объекта

Участок строительства расположен в районе Хорошево-Мневники Северо-Западного административного округа Москвы. Общая площадь участка Объекта, включающего Высотно-градостроительный комплекс 1 высотой в 8-57 этажей, Высотно-градостроительный комплекс 2 и Офисно-деловой центр, составляет 2,75 га. С севера участок строительства ограничен административно-производственными зданиями, с востока – озелененной территорией, с юга и запада – существующей застройкой, преимущественно невысокой относительно зданий Объекта.

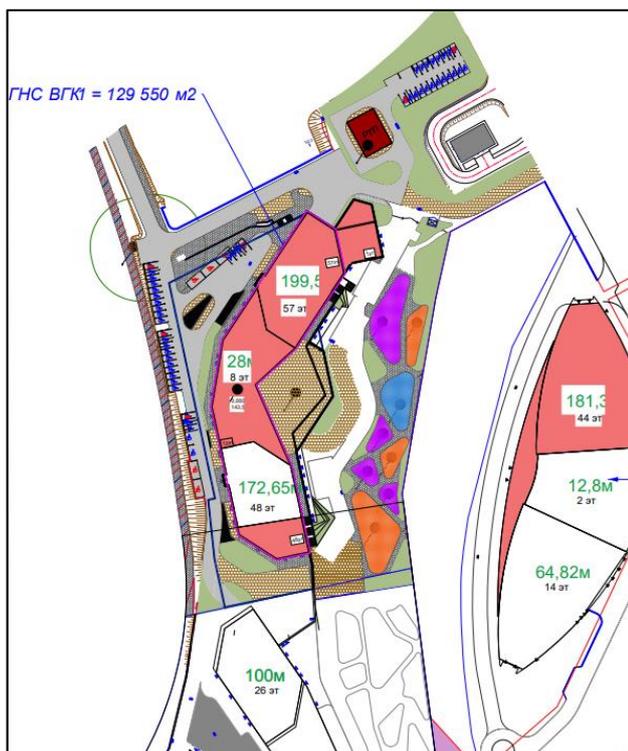


Рис. Генеральный план Объекта



Рис. Положение площадки строительства (в красной рамке) на карте Москвы (<https://yandex.ru/maps>)

Рельеф участка, на котором располагается проектируемый жилой комплекс, изначально имеет перепад высот с понижением около 6 м с севера на юг. На участке проектирования присутствуют зеленые насаждения, а также здания и строения, подлежащие сносу. Для исследования аэродинамики Объекта целесообразно учитывать только искусственное понижение рельефа во внутреннем дворе.

Локальный рельеф местности в радиусе 600 м от Объекта в основном ровный, перепад высот по сравнению с высотой Объекта незначительный. Рельеф местности учитывался в расчетах только в непосредственной близости к Объекту во внутреннем дворе.

Проектируемый Объект окружен городской застройкой неравномерной плотностью. Высотно-градостроительный комплекс 1 Объекта (~200м) является одним из самых высоких зданий вблизи Объекта при учете существующей застройки, и близок по высоте наиболее высоким корпусам перспективной застройки. В основном, ближайшие к Объекту постройки имеют высоту в 3-12 этажей и меньше. Аэродинамические расчеты проводились с учетом существующей застройки в радиусе 600 м от Объекта.

Согласно СП 20.13330.2016 площадка строительства находится в *I ветровом районе* (нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0.23 \text{ кПа}$).

Преобладают южный, юго-восточный и западные ветра.

Тип местности согласно СП 20.13330.2016 – В.

1.2. Краткая характеристика Объекта

Проектируемый Объект состоит из 3-х корпусов переменной этажностью: Высотно-градостроительный комплекс 1 — ВГК 1 (8-57эт.), Высотно-градостроительный комплекс 2 — ВГК 2, Офисно-деловой центр. Формы зданий выполнены в виде башен ромбовидной формы и «крыльев» с террасами.

Проектной документацией на отведенном участке предусматривается строительство многофункционального комплекса со встроенной 2-ухуровневой автостоянкой для ВГК 1 и 3-хуровневой для ВГК 2.

Все входы располагаются в уровне прилегающего благоустройства и обеспечивают беспрепятственный доступ всех групп населения.

На фасадах жилых секций и встроенно-пристроенных помещений общественного назначения предусматриваются модульное остекление с видимыми декоративными крышками, вентиляционные створки. Фасады облицованы терракотовыми панелями.

В настоящем работе исследуется аэродинамика ВГК 1.



Рис. Рендеры Объекта

1.3. Постановка целей и задач расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием в представленном НИР ставятся и решаются следующие задачи:

1. Анализ и обобщение проектной документации Объекта, постановка задач расчетных исследований.
2. Разработка и верификация трехмерных аэродинамических расчетных моделей Объекта с учетом существующей окружающей застройки и различных направлений ветра.
3. Выявление наиболее опасных и характерных направлений ветра на основе анализа интегральных ветровых нагрузок на несущие конструкции сооружений, полученных в результате численного моделирования.
4. Определение расчетных погонных поэтажных нагрузок от средней составляющей ветрового воздействия на несущие конструкции для опасных направлений ветра.
5. Определение распределения пиковых ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции Объекта.
6. Проведение критериального анализа ветровой комфортности пешеходных зон Объекта, включая эксплуатируемые поверхности стилобата.
7. Проведение математического (численного) моделирования снегопереноса на покрытиях Объекта.
8. Разработка на основе синтеза нормативных методик и результатов математического моделирования рекомендаций по назначению снеговых нагрузок на покрытиях Объекта.

2. Разработка и верификация расчётных моделей

2.1. Геометрические модели

Практическая подготовка расчетных моделей начинается с создания геометрических объемных моделей Объекта и окружающей застройки модуле ANSYS SpaceClaim. Геометрия зданий и сооружений Объекта выполнена по исходным данным и открытым источникам, с достаточно высокой детализацией фасадных элементов. Для исследования ветровых и снеговых нагрузок модель учитывает окружающую застройку (в радиусе до 600 м) от Объекта, в том числе здания перспективной застройки, учитывает рельеф местности. Для достижения наилучшей сходимости расчета геометрия модели выполнена из двух объемов – внутреннего цилиндра, содержащего Объект и учитываемые элементы, и внешнего прямоугольного объема. При исследовании пешеходной комфортности геометрическая модель исключала перспективную застройку.



Рис. Геометрическая модель. Вид сверху. Оранжевым цветом выделена существующая застройка, зеленым – проектируемая застройка, фиолетовым – перспективная застройка.

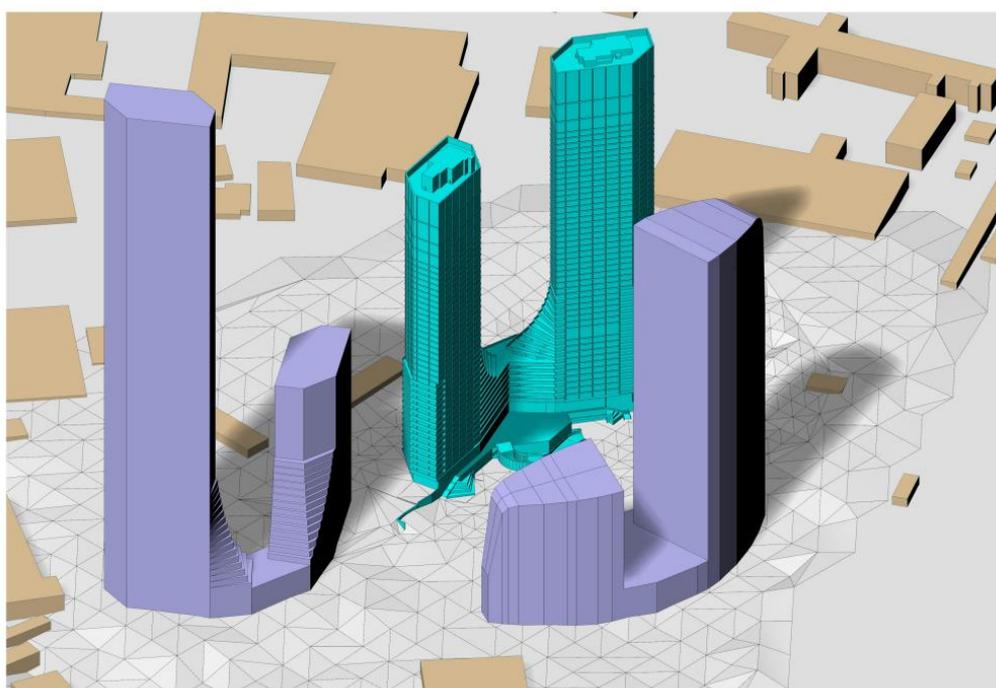


Рис. Изометрия Объекта и ближайшей застройки.

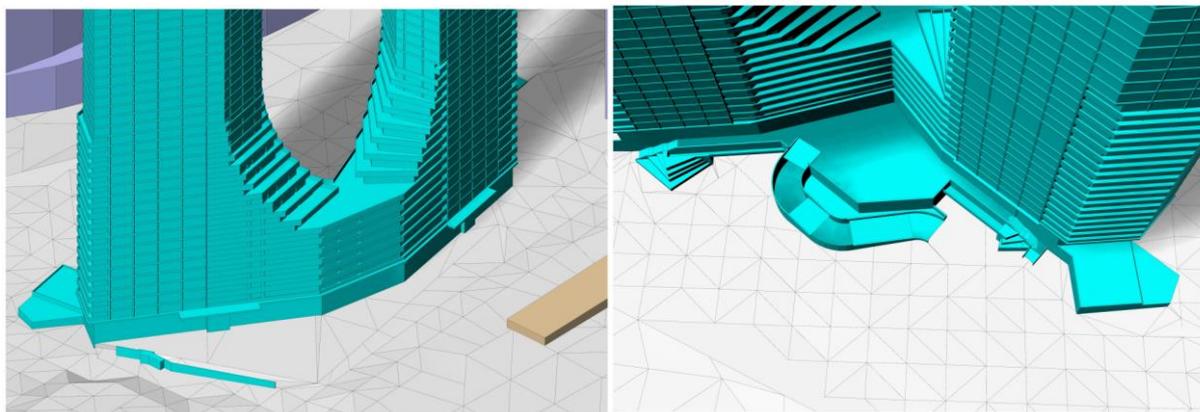


Рис. Фасады и стилобатная часть модели Объекта вблизи

2.2. Конечно-объемные сетки

Конечно-объемная сетка для последующих расчетов формируются следующим образом: после создания в модуле ANSYS SpaceClaim геометрическая модель Объекта «вычитается» из объема воздушного пространства. Расчетный объем (домен) воздушного пространства представляет из себя цилиндр радиусом 950 м и высотой 800 м, вложенный в прямоугольную область со сторонами 3800 м и 2850 м. В пространстве цилиндра для построения сетки заданы вспомогательные промежуточные области, используемые для направленного задания размера элементов в объеме что позволяет оптимизировать их количество. Для дискретизации пограничного слоя вдоль всех поверхностей Объекта назначен слой из 5 тонких призматических элементов, на поверхностях рельефа и окружающей застройки – из 3 элементов. Далее в модуле ANSYS Fluent Meshing в полученном расчетном объеме создается конечно-объемная сетка из элементов полигекс и гексаэдр и назначаются поверхности сбора аэродинамических нагрузок.

Для лучшего разрешения мест интереса, а также мест с высокими градиентами, используется более мелкая сетка по сравнению с глобальной. Параметры используемых для расчетов конечно-объемных сеток представлены в таблице.

Таблица. Параметры конечно-объемных сеток

Местоположение	Размер элементов у поверхностей, м	Размер элементов в объеме, м
(~15.2 млн. конечных элементов)		
В ближайшем от исследуемого корпуса объеме (5 тонких призматических элементов для дискретизации пограничного слоя)	<i>0.25-0.5</i>	<i>2</i>
В области, включающей вторую и третью очередь строительства	<i>4</i>	<i>4</i>
В области, включающей прочую окружающую застройку	<i>8</i>	<i>8</i>
В остальном цилиндрическом объеме и во всём прямоугольном объеме	<i>16</i>	<i>16</i>

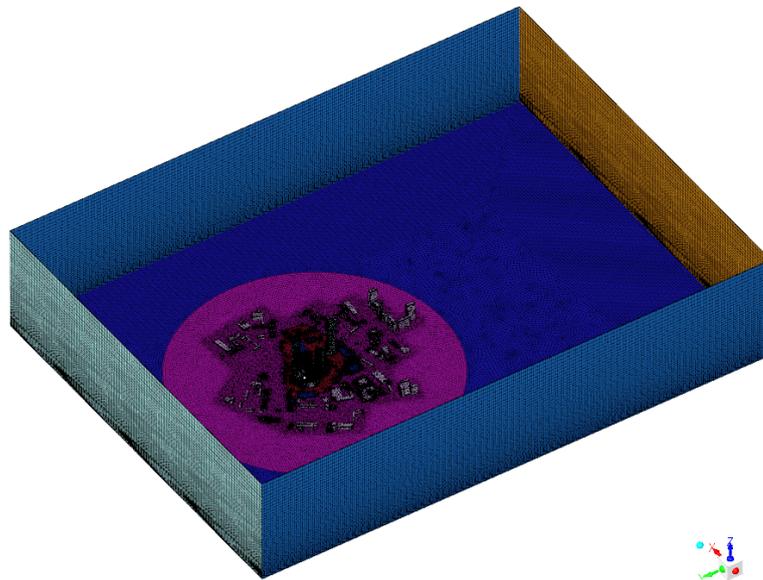


Рис. Общий вид конечно-объемной сетки Модели

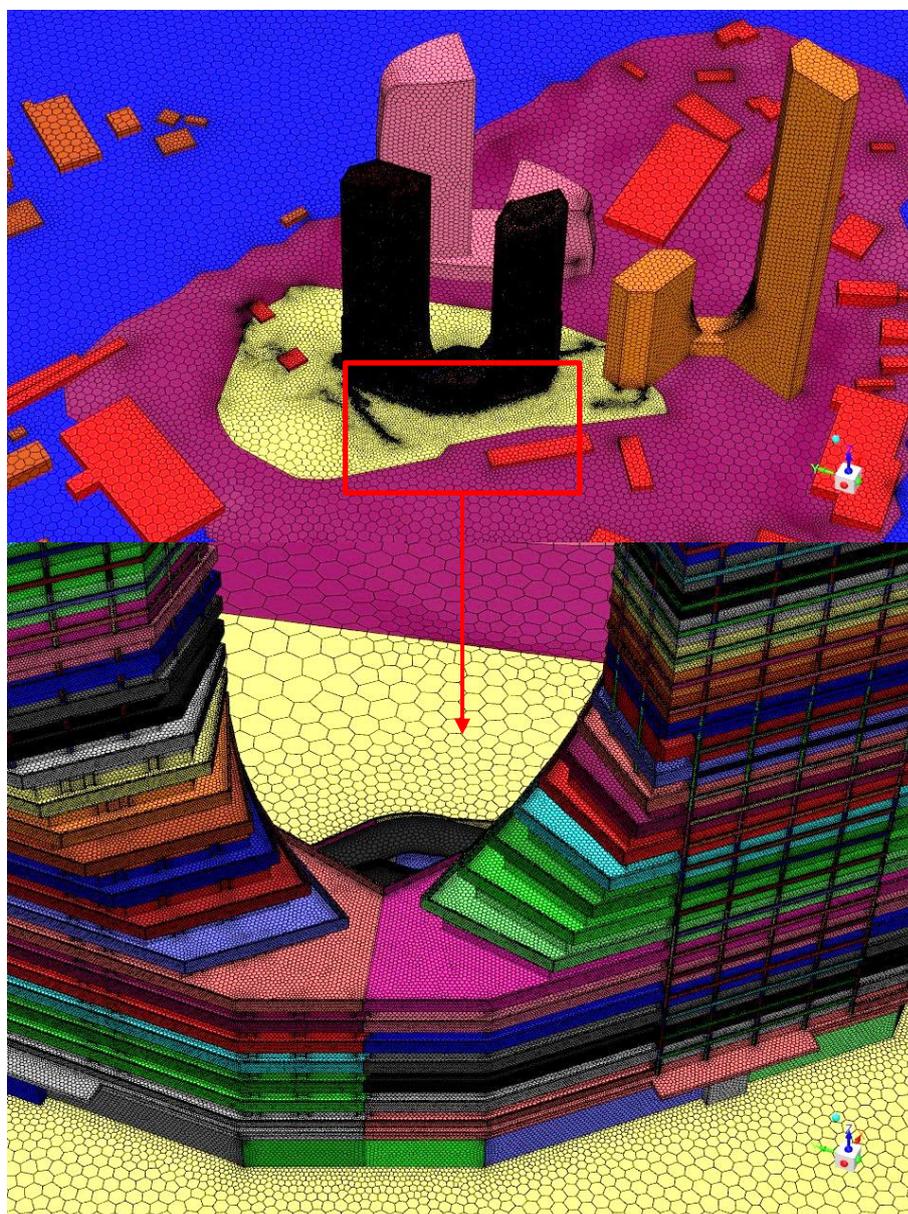


Рис. Конечно-объемная сетка на поверхностях

2.3. Граничные и начальные условия

Областям расчета присвоен домен Air (Воздух) со следующими физическими параметрами: тип среды – несжимаемый воздух при температуре (15°C) и давление 1 атм.

Граничные условия на «входе» (*Inlet*) для расчетной области (предназначенной для определения ветровых нагрузок) соответствуют 1-му ветровому району, типу местности В.

Граничные условия на «входе» (*Inlet*) для моделирования снеговых нагрузок указаны в соответствующей главе отчета.

На «выходе» (*Outlet*) назначаются «мягкие» граничные условия (*Opening*) с нулевыми дополнительными давлениями и такими же параметрами турбулентности для обратного затекания, как и на «входе».

Верхней границе области назначается граничное условие *Symmetry*, в данном случае моделирующее невозмущенность потока на большой высоте.

На «земле» и зданиях задано условие «стенки с прилипанием» (*No-Slip Wall*, $U=V=W=0$ м/с), исключающее проникновение вещества через поверхность.

Смена направлений ветра происходит путем поворота прямоугольной области вокруг центра координат.

В качестве начальных условий для ускорения выхода на устоявшееся решение использовалось соответствующее стационарное решение в RANS постановке.

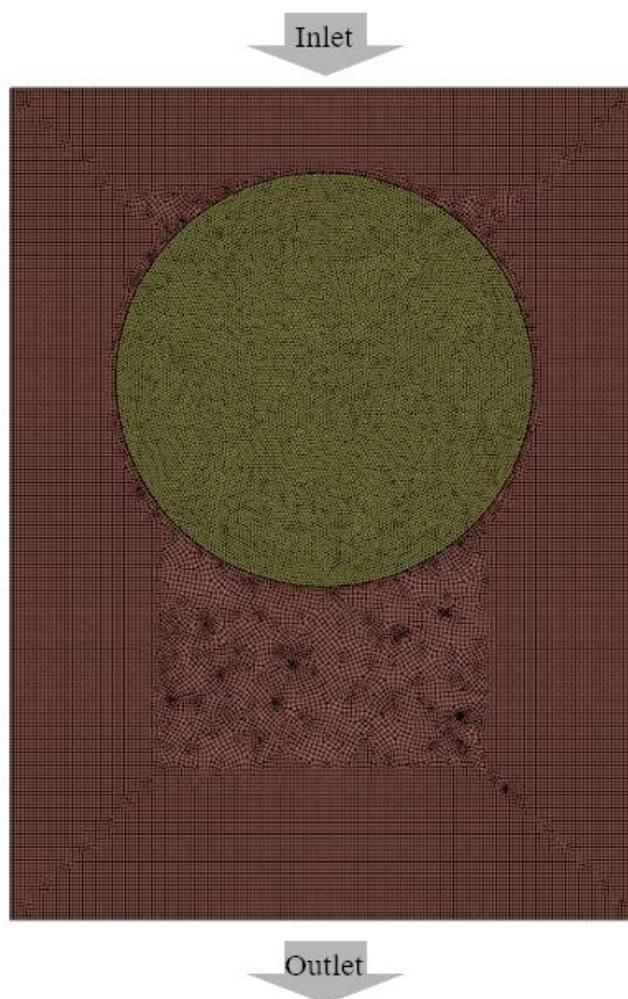


Рис. Расчетная область *Модели* (ANSYS Fluent) с обозначенными граничными условиями. Угол атаки 0°

2.4. Параметры расчетов

Расчеты проводилось в *стационарной постановке* с использованием подхода к моделированию турбулентности *RANS* (модель турбулентности *SST*) при 24-х направлениях ветра (углы атаки ветра от 0° до 345° с шагом 15°).

В целях удобства назначения ветровых нагрузок, система координат приведена в соответствие с механической моделью в программном комплексе ЛИРА-САПР (ось *Y* для угла атаки 0° совпадает с длинной стороной высотной части Объекта).

Критерием окончания счета назначено максимальное количество итераций – 150 или достижение максимальных невязок по давлению, по всем компонентам скорости, параметрам турбулентности и уравнениям сохранения 10^{-4} .

Для минимизации возможных осцилляций результатов, проявляющихся в стационарных расчетах, с 125-й по 150-ю итерацию производится сбор статистики для осреднения параметров моделирования (скоростей, давления, сил и турбулентности).

Расчёты для исследования снеговых нагрузок проводились в стационарной постановке с использованием подхода к моделированию турбулентности *RANS* (модель турбулентности *SST*) при 8-ми направлениях ветра (углы атаки ветра от 30° до 345° с шагом 45°). Критерием окончания счета назначено максимальное количество итераций 100 или достижение максимальных невязок по давлению, всем компонентам скорости, параметрам турбулентности и уравнениям сохранения 10^{-4} .

3. Определение ветровых нагрузок

В данной главе приведены результаты определения ветровых нагрузок на несущие (раздел 5.2) и ограждающие (раздел 5.3) конструкции.

3.1. Форма представления и номенклатура результатов

Система координат сооружений Объекта и расчетные направления ветрового потока показаны на рисунке.

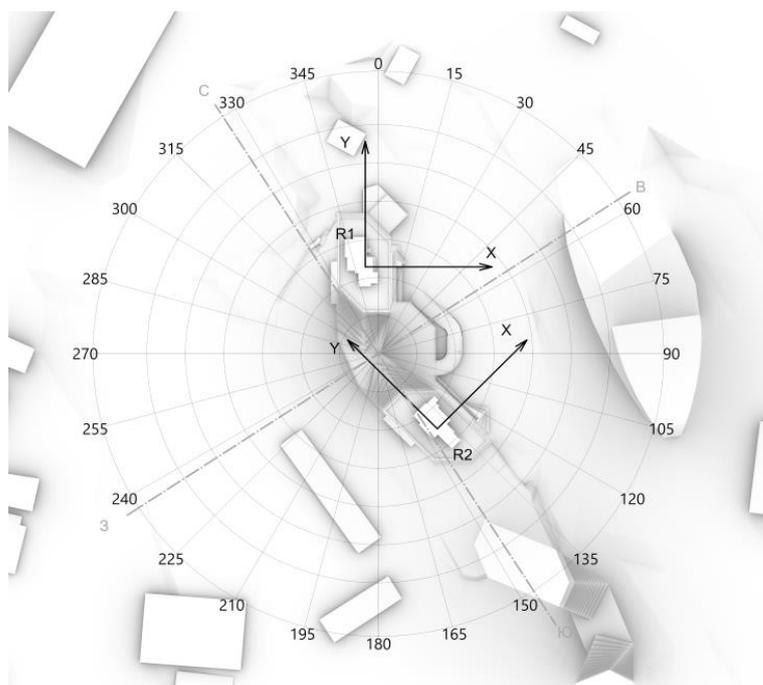


Рис. Исследуемые направления ветра и системы координат Башен



Рис. Нумерация поэтажных компонент Башек

Для удобства дальнейшего использования в прочностных расчетах *ветровые нагрузки на несущие конструкции* приведены в виде поэтажных погонных сил f_x , f_y и f_τ , где f_x , f_y – равномерно распределенные по периметру перекрытия составляющие ветровой нагрузки, эквивалентно передающие линейную (некрутящую) составляющую ветровой нагрузки; f_τ – равномерно распределенная по периметру перекрытия касательная нагрузка, эквивалентно передающая крутильный момент.

На рисунке схематически показан принцип разложения ветровых нагрузок на составляющие f_x , f_y и f_τ .

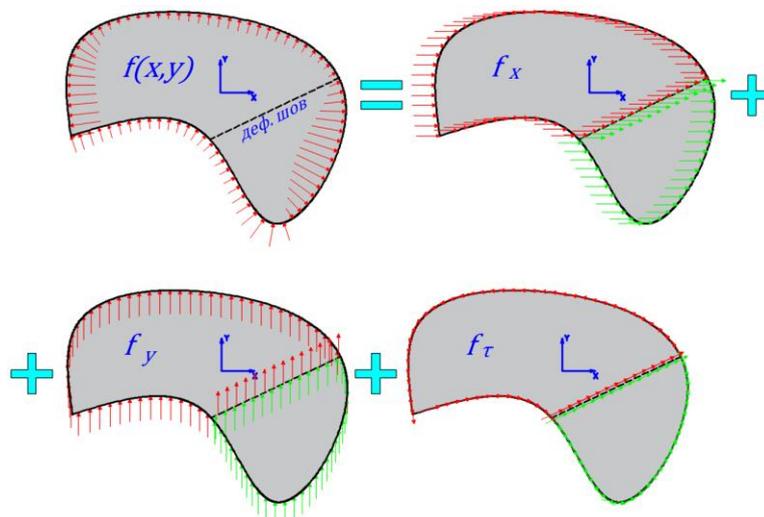


Рис. Схематическая иллюстрация разложения сложной ветровой нагрузки на перекрытие этажа на три составляющие f_x , f_y и f_τ с учетом деформационных швов

Поэтажные ветровые нагрузки на перекрытия вычисляются интегрированием по внешним поверхностям каждой Башни от середины одного этажа до середины вышележащего этажа.

Положительному значению нагрузок (кроме f_z) соответствует направление, сонаправленное соответствующей координатной оси, а отрицательному – противоположно направленное соответствующей оси.

Положительному значению моментов (и силы f_z) соответствует направление вращения против часовой стрелки при взгляде на здания сверху, а отрицательному значению – по часовой стрелке.

Пиковые ветровые давления для расчетов ограждающих (фасадных) конструкций представлены в виде изополей и поэтажных экстремумов давлений.

Положительным значениям ветровых давлений соответствует «напор» (направление на поверхность), а отрицательным – «отсос» (направление от поверхности).

Все приведенные в главе значения ветровых нагрузок являются *расчетными* (с учетом коэффициента надежности по нагрузке $\gamma_f = 1.4$).

3.2. Ветровые нагрузки на несущие конструкции

В разделе приведен пример представления следующих материалов по ветровым нагрузкам на несущие конструкции:

- средняя составляющая *интегральных* (на всю Башню) ветровых нагрузок ($F_x, F_y, tс$) для каждой Башни в собственной системе координат и векторная сумма нагрузки ($F_R, tс$) для 24-х направлений ветра в табличном виде и в форме круговых диаграмм;

- средняя составляющая *интегральных* (на всю Башню) опрокидывающих и крутящих моментов силы ($M_x, M_y, ктс·м; M_z, тс·м$) вокруг осей X, Y и Z для каждой Башни в собственной системе координат (см. рис. 5.1) и векторный сумма опрокидывающих моментов ($M_R, МН·м$) в табличном виде и в виде круговых диаграмм;

- погонные поэтажные ветровые нагрузки (средняя составляющая) на несущие конструкции каждой Башни ($f_x, f_y, f_z, Н/м$) для наиболее опасных направлений ветра представлены в табличном виде.

В таблицах **оранжевым** цветом выделены выявленные наиболее опасные направления ветра.

Пульсационную составляющую ветровой нагрузки рекомендуется определять на основе нормативных подходов, реализованных в соответствующих программных комплексах (например, SCAD Office, ЛИРА-САПР и ПК ЛИРА 10).

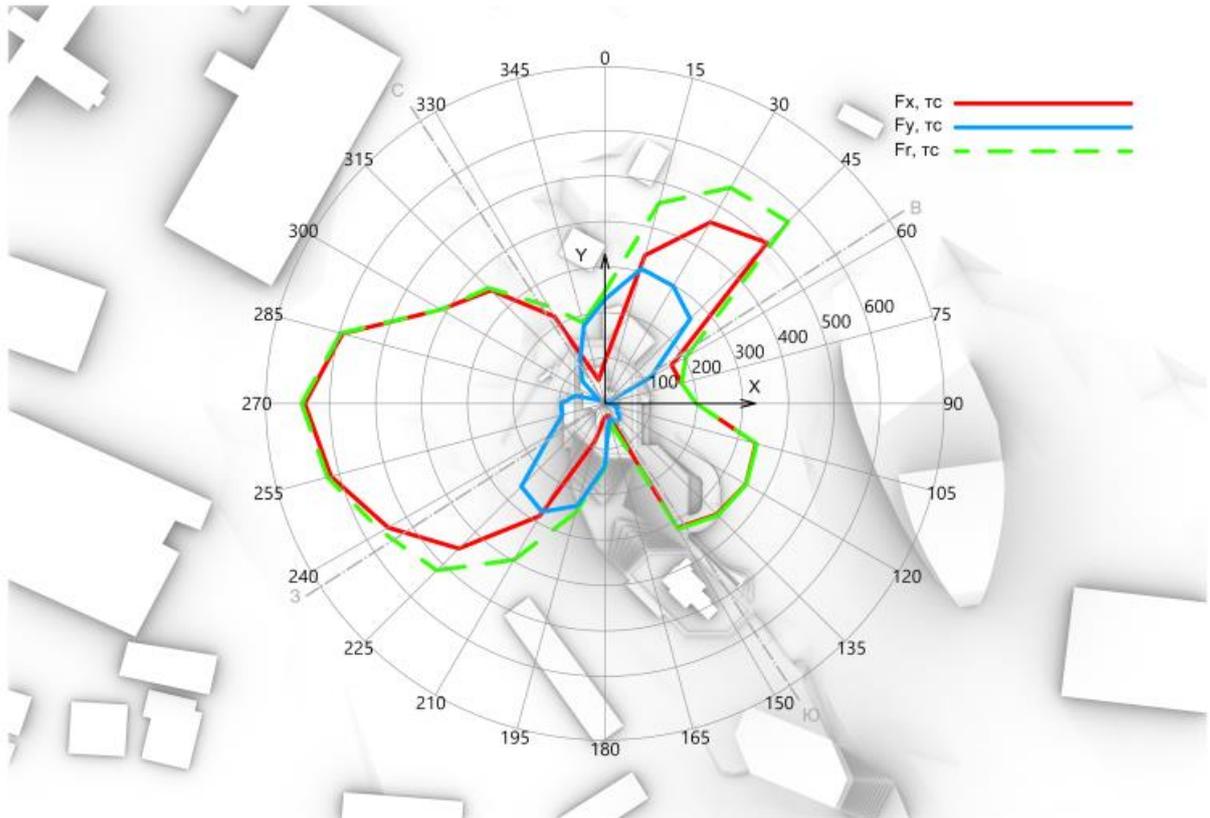


Рис. Интегральные ветровые нагрузки (F_x , F_y , F_R , кН) для Башни R1 для всех исследуемых направлений ветра

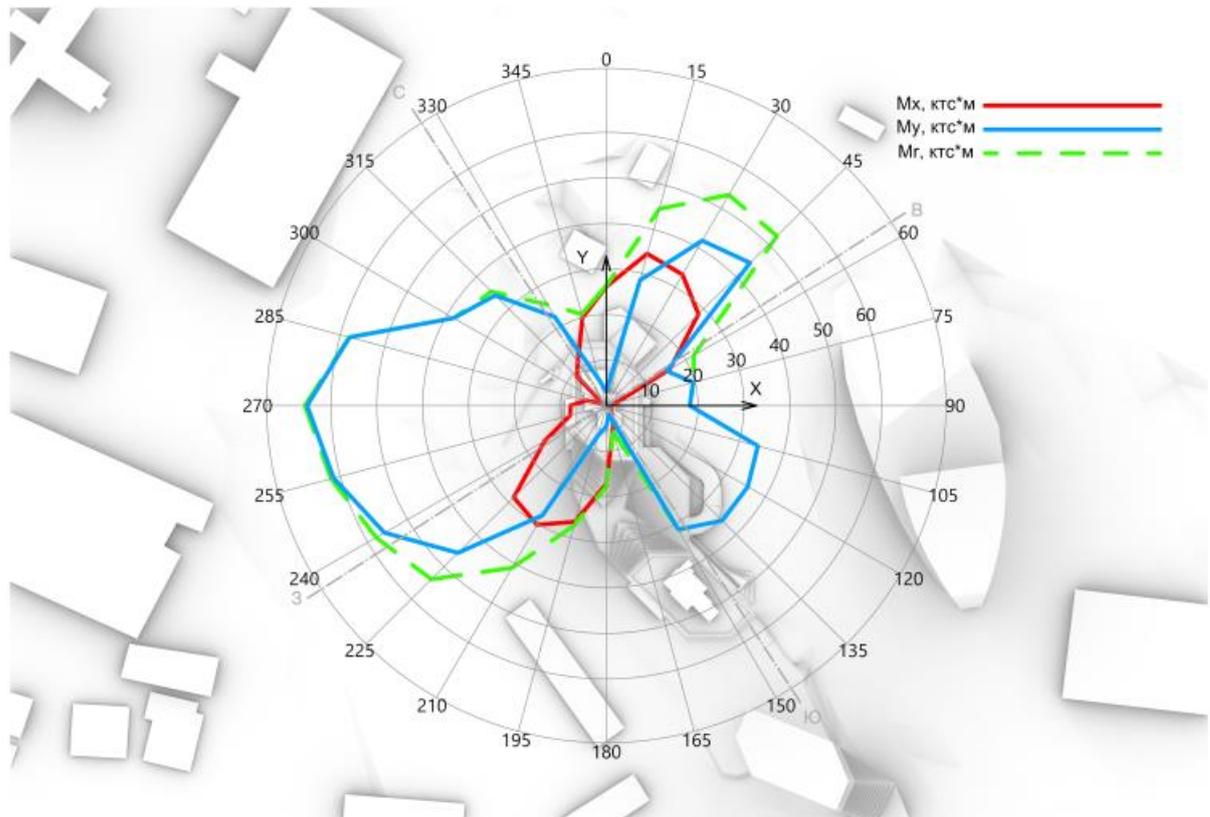


Рис Интегральные ветровые опрокидывающие моменты (M_x , M_y , M_R , кН) для Башни R1 для всех исследуемых направлений ветра

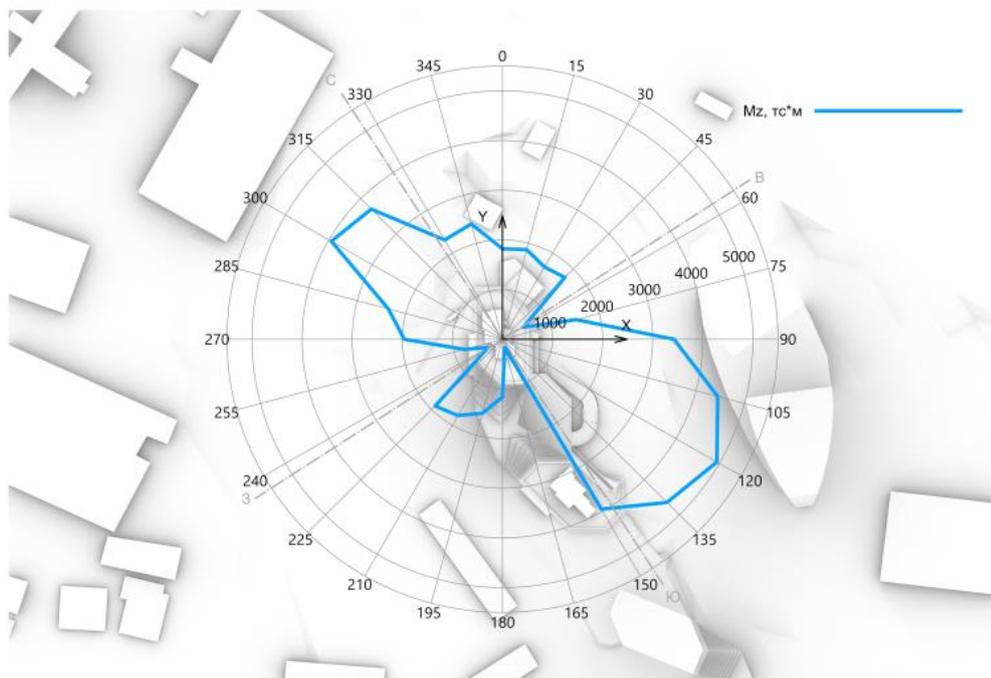


Рис. Интегральные ветровые крутящие моменты (M_z , кН) для Башни R1 для всех исследуемых направлений ветра

Табл. Интегральные ветровые нагрузки и моменты для Башни R1

Угол, °	F_x , тс	F_y , тс	F_R , тс	M_z , тс·м	M_x , кТс·м	M_y , кТс·м	M_R , кТс·м
0	-93	-229	247	1820	-26.1	-3.1	26.3
15	-337	-307	456	1868	-34.5	-28.5	44.7
30	-460	-298	548	1678	-33.2	-41.8	53.4
45	-500	-263	565	1761	-28.4	-44.3	52.6
60	-168	-115	204	483	-16.0	-15.2	22.0
75	-173	-1	173	-1522	-2.1	-19.6	19.7
90	-199	12	199	-3424	-1.1	-18.2	18.2
105	-341	29	343	-4450	0.4	-34.2	34.2
120	-355	30	356	-4943	-1.2	-35.6	35.6
135	-345	45	348	-4646	1.5	-35.7	35.7
150	-316	48	319	-3949	2.5	-31.4	31.5
165	-27	34	44	168	5.6	-2.0	6.0
180	-30	138	141	1165	17.2	-4.6	17.8
195	87	233	249	1542	26.4	6.7	27.3
210	286	275	397	1774	30.2	27.8	41.1
225	451	258	519	1901	28.5	45.7	53.9
240	546	137	563	326	15.5	55.8	57.9
255	619	96	627	-791	8.1	61.5	62.1
270	655	96	662	-1960	7.8	65.2	65.7
285	593	66	597	-2358	4.4	57.9	58.0
300	413	14	413	-3944	-0.8	38.4	38.4
315	352	-69	359	-3704	-9.1	34.2	35.4
330	221	-109	247	-2308	-12.2	22.5	25.6
345	-53	-177	184	2403	-20.0	-5.7	20.8

Табл. 3.1 Поэтажные компоненты средней равнодействующей силы для Башни 1

№ перекрытия	1-ый расчетный случай (45°)			2-ой расчетный случай (120°)			3-ий расчетный случай (270°)		
	f_x , Н/М	f_y , Н/М	f_z , Н/М	f_x , Н/М	f_y , Н/М	f_z , Н/М	f_x , Н/М	f_y , Н/М	f_z , Н/М
1	-1066	-108	-47	-548	251	-321	991	295	-160
2	-667	-83	-107	-347	150	-238	682	188	-28
3	-697	-88	-97	-343	159	-270	708	206	-52
4	-689	-93	-85	-337	181	-312	653	195	-43
5	-686	-100	-71	-342	191	-342	616	196	-31
6	-686	-107	-52	-351	198	-366	604	194	-23
7	-682	-118	-24	-384	195	-364	611	195	-19
8	-650	-178	42	-389	190	-352	631	176	-21
9	-576	-272	159	-344	171	-309	702	111	93
10	-597	-289	164	-368	183	-343	745	78	100
11	-591	-323	209	-382	183	-326	757	82	78
12	-621	-335	215	-377	181	-348	751	100	25
13	-645	-338	211	-384	137	-340	724	97	-32
14	-682	-353	206	-376	132	-338	760	99	-53
15	-658	-335	188	-338	129	-313	736	103	-55
16	-666	-342	174	-315	95	-303	707	98	-106
17	-669	-345	160	-311	85	-285	719	103	-109
18	-670	-349	150	-342	63	-289	722	96	-119
19	-665	-346	140	-362	39	-301	732	97	-123
20	-666	-360	149	-405	0	-292	746	95	-140
21	-662	-357	134	-425	-17	-310	763	85	-156
22	-646	-357	128	-432	-26	-317	772	83	-161
23	-626	-358	125	-431	-28	-319	776	83	-167
24	-605	-359	124	-433	-31	-323	780	88	-170
25	-582	-360	126	-439	-36	-326	780	88	-176
26	-561	-361	129	-439	-38	-330	778	89	-181
27	-543	-362	133	-442	-41	-332	776	92	-184
28	-529	-363	138	-438	-40	-335	772	91	-189
29	-518	-364	142	-437	-41	-338	768	90	-193
30	-511	-365	146	-438	-43	-339	765	91	-194
31	-506	-364	149	-438	-42	-339	765	93	-195
32	-505	-365	152	-443	-45	-339	766	92	-196
33	-504	-366	155	-446	-46	-339	767	88	-199
34	-504	-365	157	-450	-48	-340	772	88	-200
35	-505	-366	158	-453	-49	-340	780	89	-200
36	-507	-367	159	-456	-50	-341	789	90	-199
37	-508	-368	160	-457	-49	-341	798	93	-199
38	-508	-368	161	-460	-47	-341	808	97	-197
...

3.3. Пиковые ветровые давления на ограждающие конструкции

В разделе приведен пример представления следующих материалов по ветровым нагрузкам на ограждающие (фасадные) конструкции:

- поэтажные экстремумы пиковых положительных и отрицательных ветровых давлений (максимум для w_+ и минимум для w_-) на ограждающие (фасадные) конструкции каждой секции в табличном и графическом виде;

- изополя пиковых положительных и отрицательных ветровых давлений для всего Объекта. Эти же рисунки в 3D-формате приведены в *Приложении* к отчету (в электронном виде).

Табл. Поэтажные экстремумы пиковых положительных и отрицательных ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции

Этаж	Башня R1		Башня R2		Этаж	Башня R1		Башня R2	
	w_+ , Па	w_- , Па	w_+ , Па	w_- , Па		w_+ , Па	w_- , Па	w_+ , Па	w_- , Па
1	954	-5627	1035	-4785	29	1023	-5300	991	-6416
2	947	-4874	1035	-4774	30	1035	-5004	1003	-6570
3	888	-5932	872	-4711	31	1041	-5363	1018	-6164
4	795	-6708	928	-5244	32	1047	-4886	1032	-6264
5	804	-6989	966	-4996	33	1051	-5089	1041	-5965
6	828	-7229	983	-4909	34	1055	-5156	1059	-6444
7	817	-7026	971	-5188	35	1064	-5814	1072	-6465
8	825	-6679	941	-5328	36	1070	-5485	1081	-6368
9	835	-7916	904	-5349	37	1072	-5307	1097	-6463
10	845	-7627	858	-5417	38	1074	-5707	1106	-6608
11	855	-7222	850	-5657	39	1076	-5553	1118	-6421
12	887	-7671	859	-5673	40	1074	-5525	1127	-7033
13	885	-6381	884	-6114	41	1068	-5358	1134	-6488
14	896	-7358	901	-6920	42	1054	-5249	1142	-6817
15	930	-7315	894	-6931	43	1044	-5449	1145	-6985
16	936	-7448	886	-6960	44	1036	-6190	1147	-6304
17	950	-7465	903	-6078	45	1040	-5376	1160	-6257
18	960	-5581	915	-6289	46	1044	-5534	1145	-5974
19	1006	-5529	923	-6212	47	1048	-5325	1127	-6688
20	946	-4804	930	-6181	48	1051	-6529	1090	-6828
21	977	-4799	935	-6472	49	1053	-6087	1033	-5840
22	1001	-4715	946	-6505	50	1062	-5255		
23	997	-4617	954	-6447	51	1057	-5661		
24	1000	-4698	960	-6265	52	1059	-4816		
25	998	-4767	966	-6355	53	1068	-6158		
26	979	-5328	974	-6294	54	1055	-6544		
27	1001	-5070	979	-6769	55	1079	-5166		
28	1011	-5241	984	-6797	56	1136	-5404		

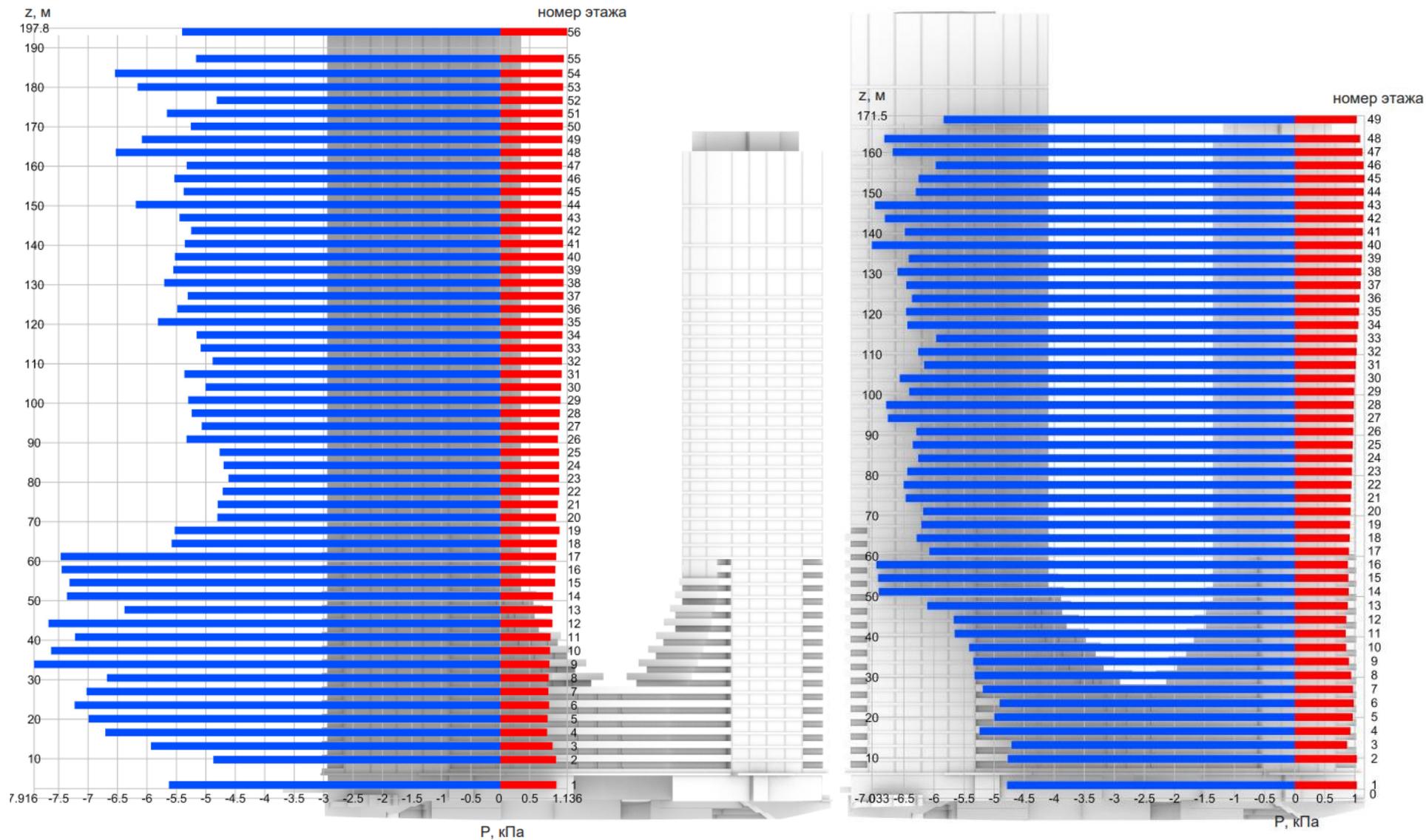


Рис. Поэтажные экстремумы пиковых положительных (красный цвет, $w_+ = P_+$) и отрицательных (синий цвет, $w_- = P_-$) значений давления (кПа) на ограждающие (фасадные) конструкции *Баишня R1* (слева) *Баишня R2* (справа)

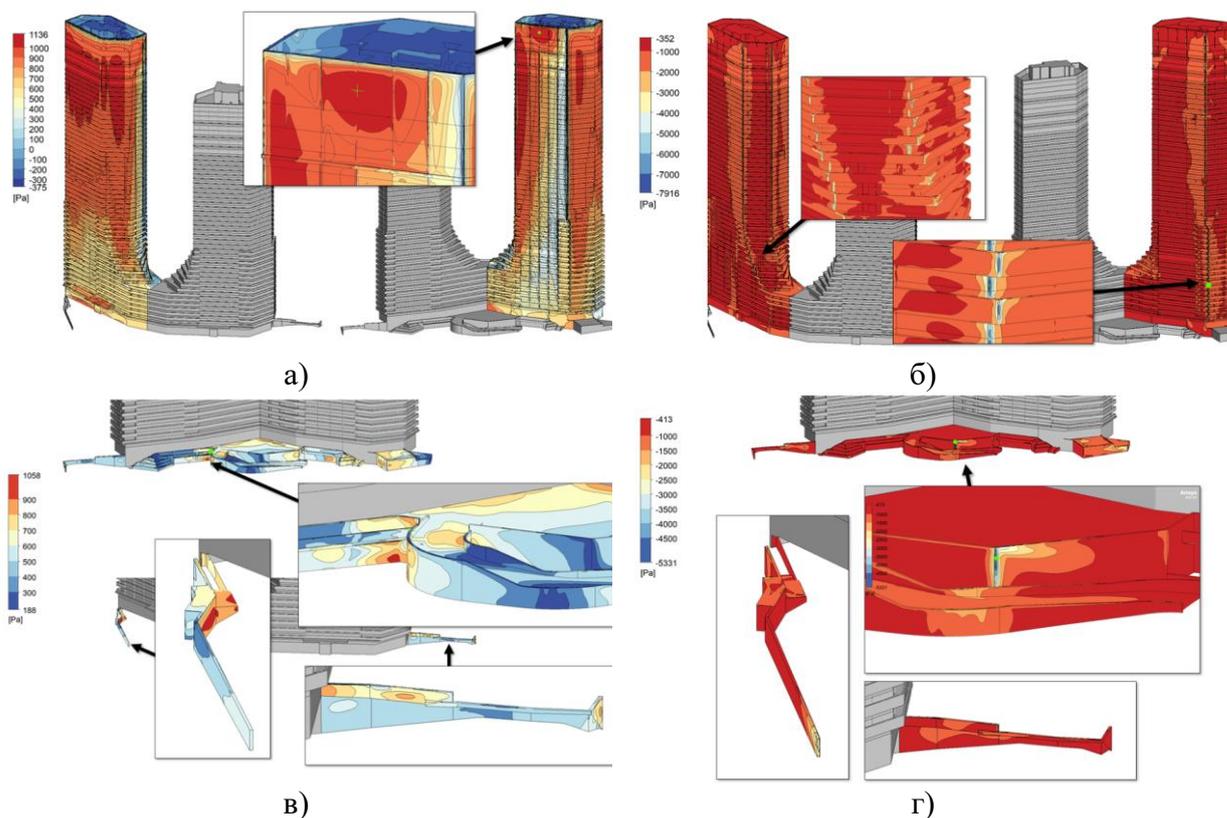


Рис. Положительные (а) и отрицательные (б) пиковые ветровые давления на поверхностях *Башня R1*, Па; Положительные (в) и отрицательные (г) пиковые ветровые давления на поверхностях стилобатной части *Объекта, П*

4. Результаты оценки пешеходной комфортности

В данной главе приведены результаты определения параметров пешеходной ветровой комфортности без учета перспективной застройки. Модели выполнены с упрощенной формой фасадных конструкций как не влияющих на ветровые потоки в приземной слое.

4.1. Форма представления и номенклатура результатов

В данной главе приведен пример представления основных результатов выполненных расчетных исследований по оценке ветровой комфортности пешеходных зон *Объекта*. Пешеходные зоны *объекта* показаны на рисунке ниже.

Полученные результаты представлены в следующем виде:

- расчетные поля коэффициентов усиления скоростей ветра (относительные средние скорости ветра $V_r = V_m / V_{prof}$, где V_m – средняя расчетная скорость ветра в пешеходной зоне на высоте 1.5 м, V_{prof} – средняя скорость ветра на той же высоте без учета зданий) для 8-ми характерных направлений ветра ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$, рис. 6.3 – 6.26);
- средневзвешенные для 24-х расчетных направлений ветра значения коэффициента усиления ветра \bar{V}_r ;
- вычисленные уровни пешеходной комфортности (повторяемость максимальной скорости ветра) по 3-м нормативно регламентированным критериям ($K_{cr1}, K_{cr2}, K_{cr3}$).

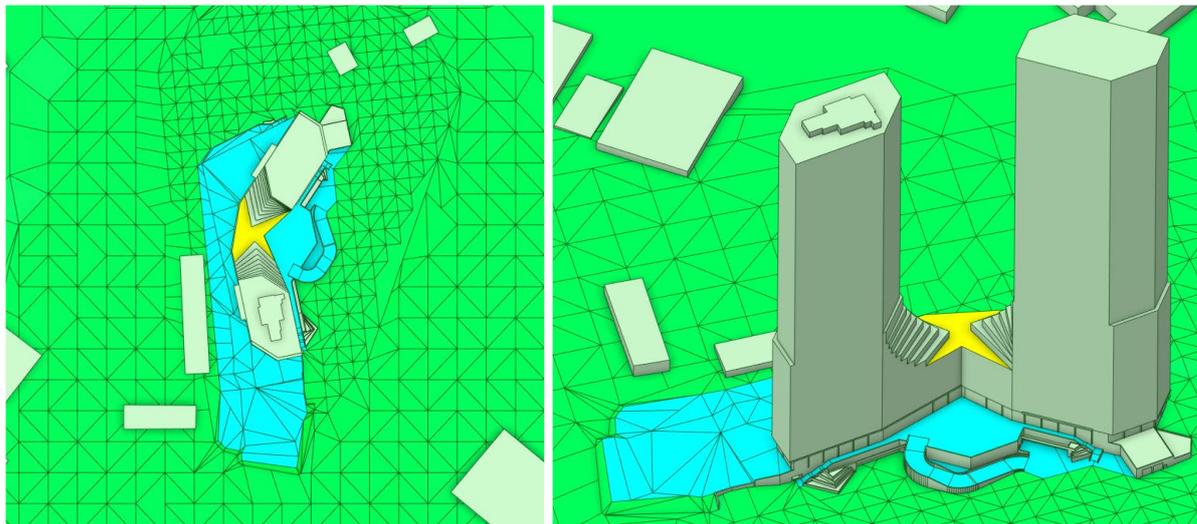


Рис. Зоны оценки параметров ветровой пешеходной комфортности:
 Зона 1 – зеленый цвет; зона 2 - синий цвет;
 зона 3 - желтый цвет.

4.2. Результаты оценки

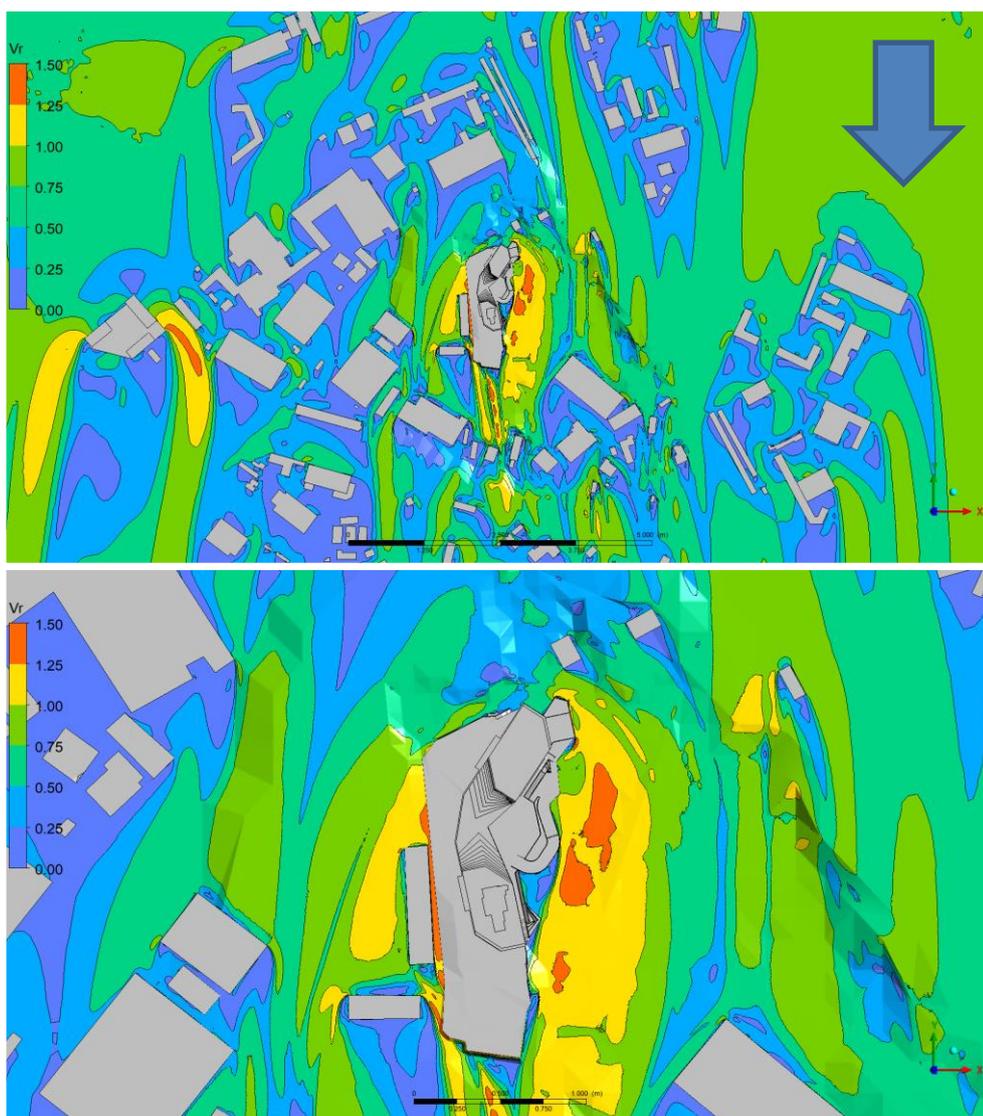


Рис. Коэффициенты усиления средней скорости ветра в пешеходной Зоне 1.
 Угол атаки ветра θ° (Северный)

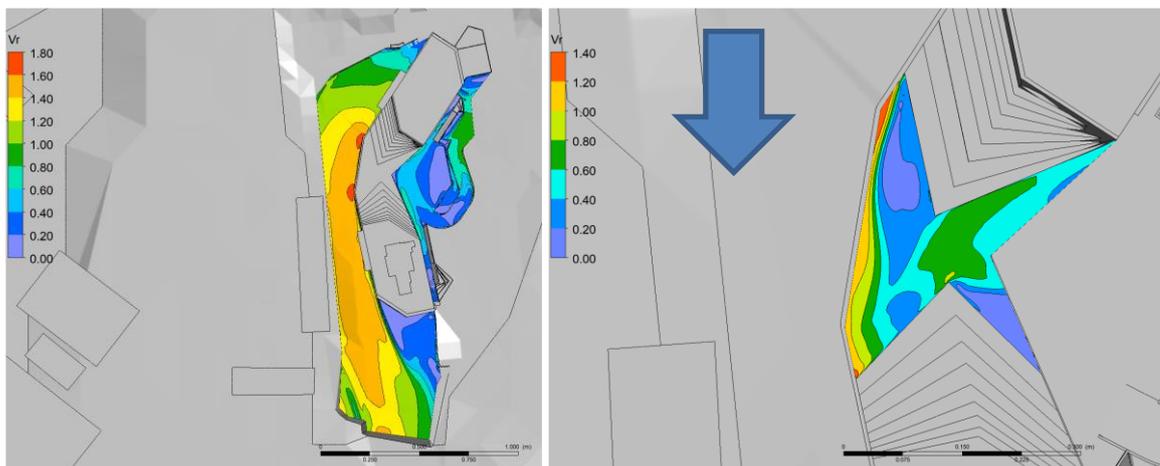


Рис. Коэффициенты усиления средней скорости ветра в пешеходной Зоне 2(слева) и Зоне 3 (справа). Угол атаки ветра 0° (Северный)

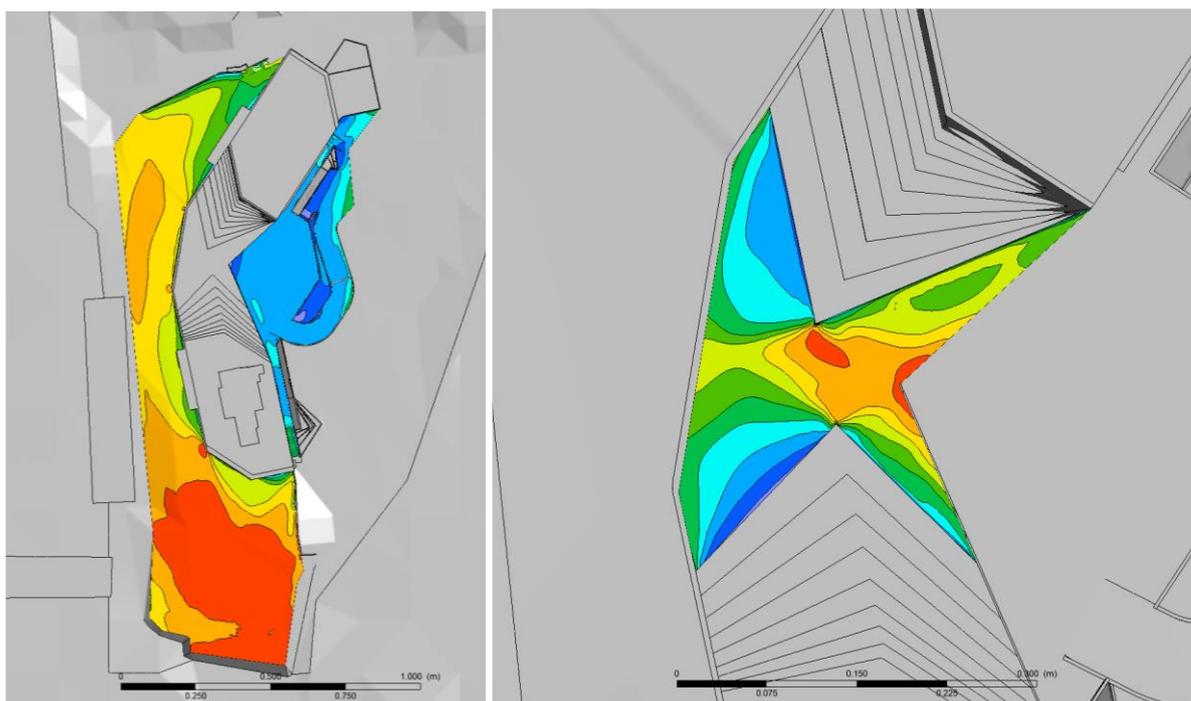
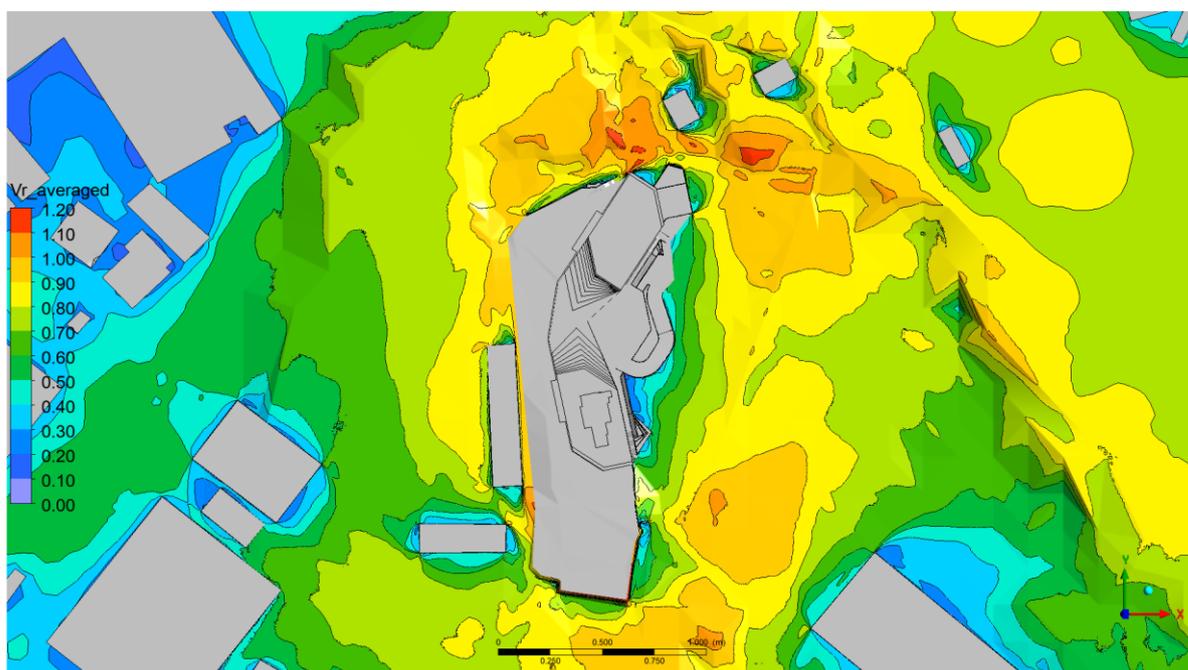


Рис. Средневзвешанный коэффициент усиления средней скорости ветра

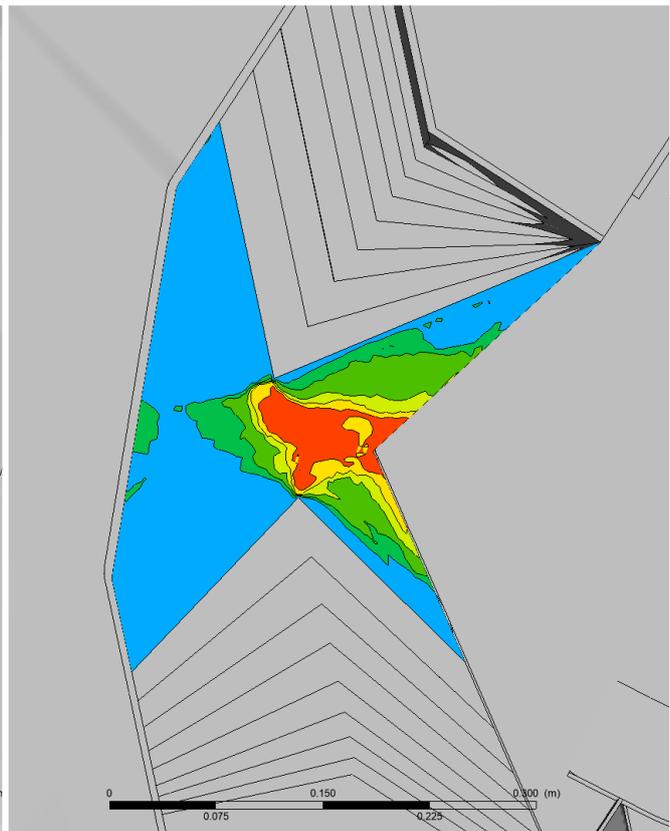
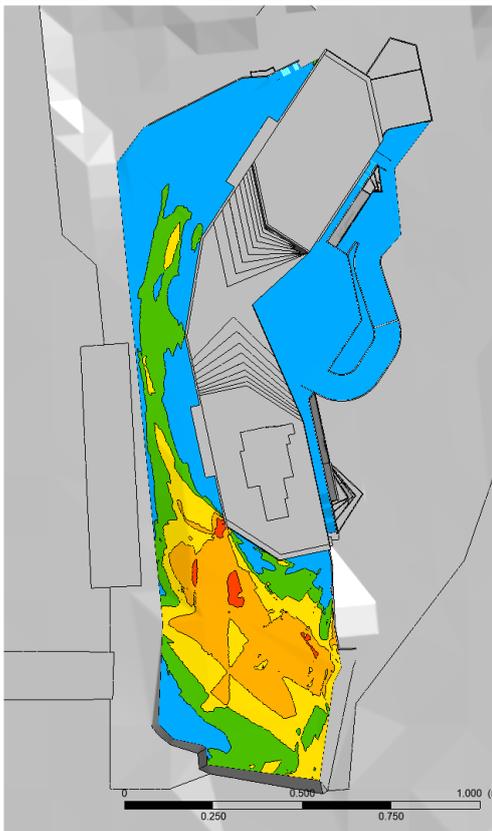
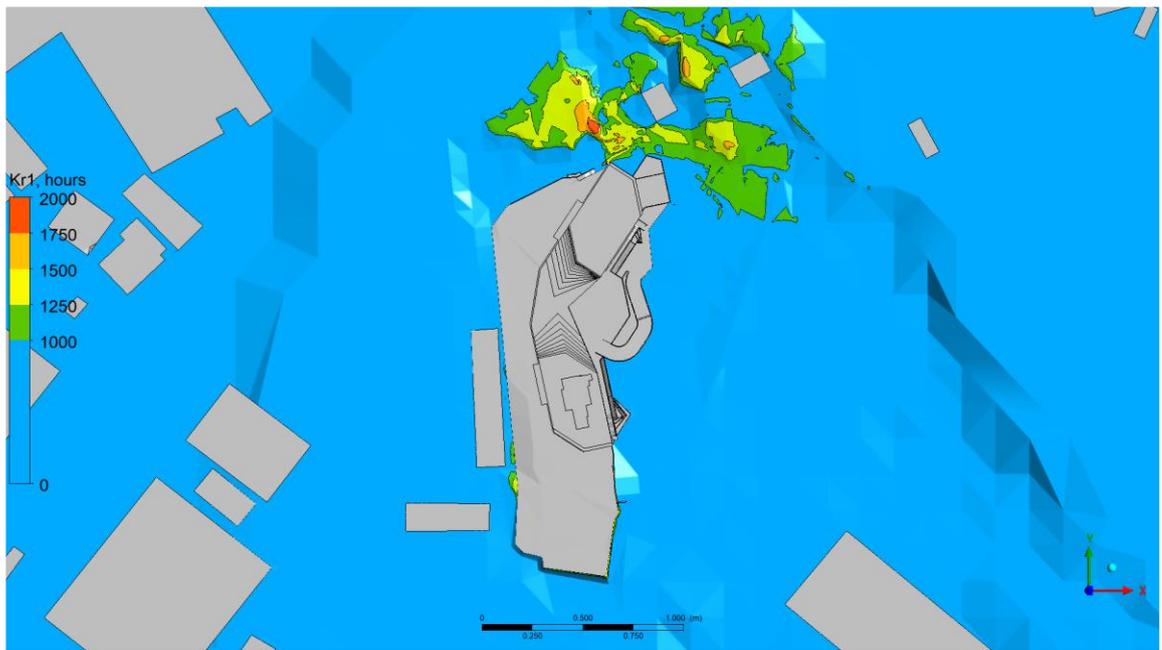


Рис. 1-й уровень пешеходной комфортности – превышение $V_{cr1}=6$ м/с не более $K_{cr1} = 1000$ часов в год в пешеходной зоне

5. Определение снеговых нагрузок

Для определения снеговых нагрузок используются данные СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (с учетом изменений № 1-4) и результаты математического (численного) моделирования снеговых нагрузок, представленные в соответствующем разделе отчета.

Методика математического (численного) моделирования снеговых нагрузок также представлена в соответствующем разделе отчета.

5.1. Расчетные значения снеговых нагрузок

Нормативное значение снеговой нагрузки S_0 , действующей на горизонтальную проекцию кровли *Объекта*, следует определять по формуле в соответствии с Приложением К СП 20.13330.2016.

Для *Террасы* и *Стилобата* необходимо рассмотреть *шесть вариантов нагружения* с коэффициентом формы, определяемым в соответствии со схемами Б.1, Б.8, Б.13 Приложения Б к СП и по результатам моделирования, представленным в соответствующем разделе отчета. Для удобства инженерного приложения каждый отдельный вариант нагрузки представлен в виде трёх нагружений, которые необходимо скомбинировать и прикладывать совместно, путём прямого суммирования. Для прочих покрытий *Объекта* (кровли башен, балконы, зоны у парапетов и пр.) снеговую нагрузку необходимо принимать в соответствии с рекомендациями СП.

Расчетное значение снеговой нагрузки следует определять как произведение ее нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке γ_f . Коэффициент надежности по нагрузке для снеговых нагрузок следует принимать равным 1.4.

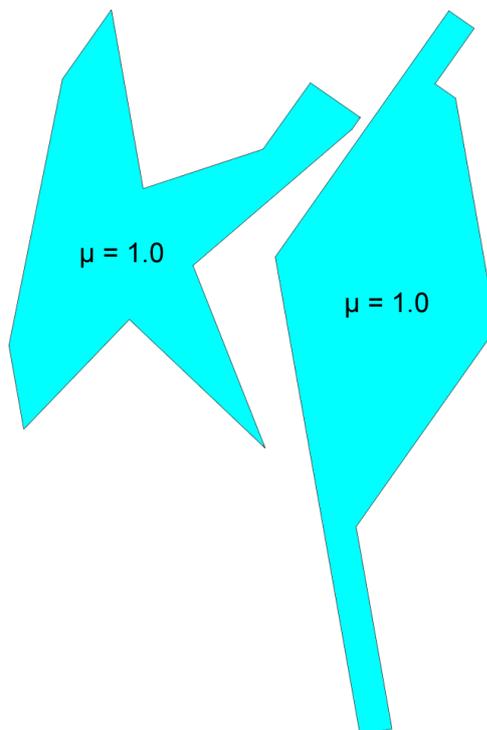
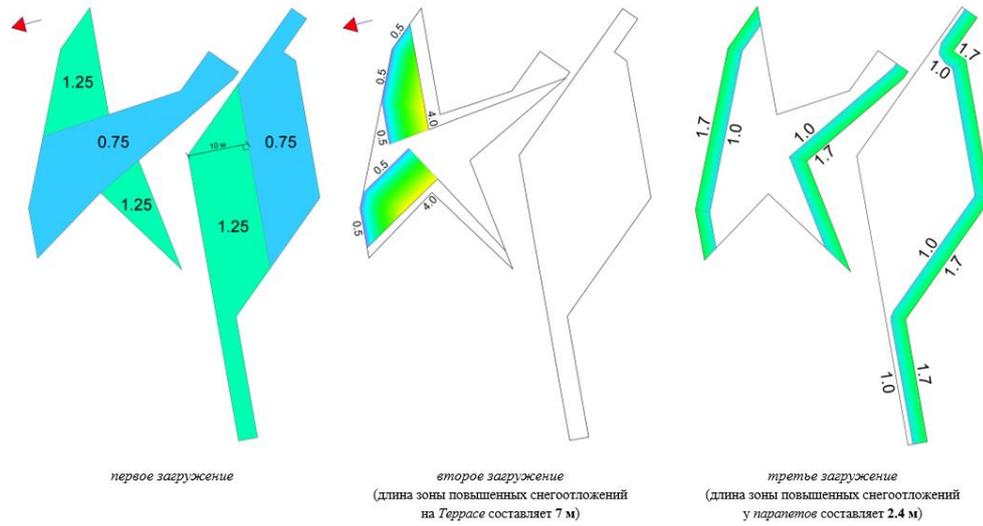
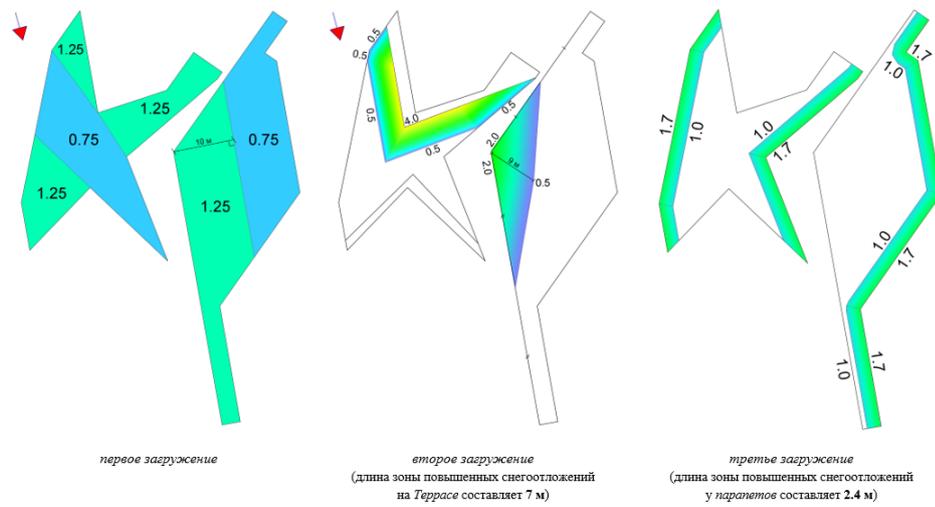


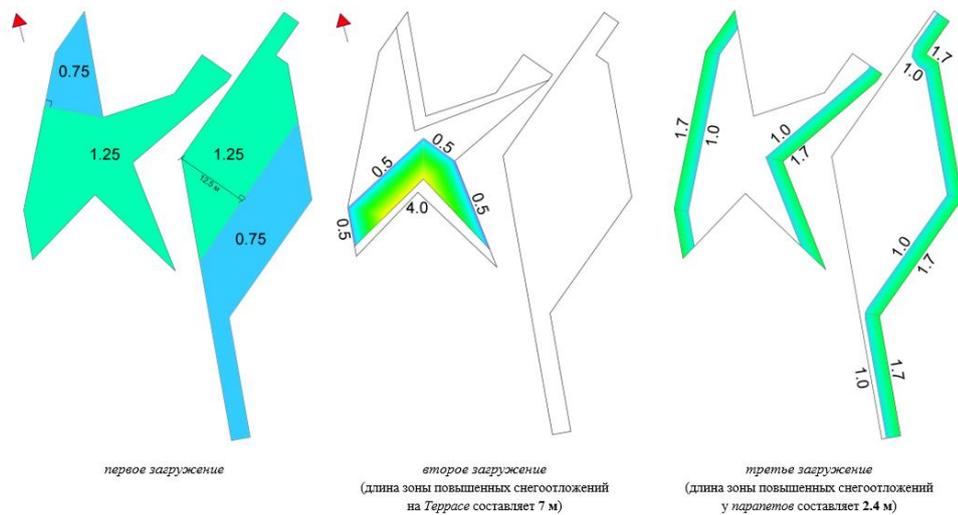
Рис. Схема расчётного коэффициента формы μ для *Террасы* и *Стилобата*, вариант 1
(равномерное распределение)



а)



б)



в)

Рис. Различные варианты схем расчётного коэффициента формы μ для Террасы и Стилобата

5.2. Смоделированные коэффициенты формы для расчётных направлений ветра

С применением численной методики, варьируя скорость ветра, было выполнено по три аэродинамических расчёта для восьми направлений ветра для *Объекта* (30°, 75°, 120°, 165°, 210°, 255°, 300°, 345°) с учётом окружающей застройки. В соответствии с табл. 7.1 СП 131.13330.2020 *Строительная климатология*, средняя скорость ветра на высоте 10 м за зимний период для г. Москва составляет 2.6 м/с (V_{10}). Расчёты проводились для скоростей 1.0, 3.0 и 6.0 м/с.:

Также были приняты следующие значения экспериментальных констант: $A\rho_a = 10^{-4}$ кг·с/м⁴, $w_f = 0.5$ м/с, $u_t = 0.25$ м/с. Концентрация снега C была принята равной 5 г/м³, что соответствует умеренному снегопаду. Для моделирования долгого снегопада, при котором получается неравномерное распределение снега, время выпадения осадков T_+ принято равным 6 ч, а время уноса осадков T_- – 240 ч.

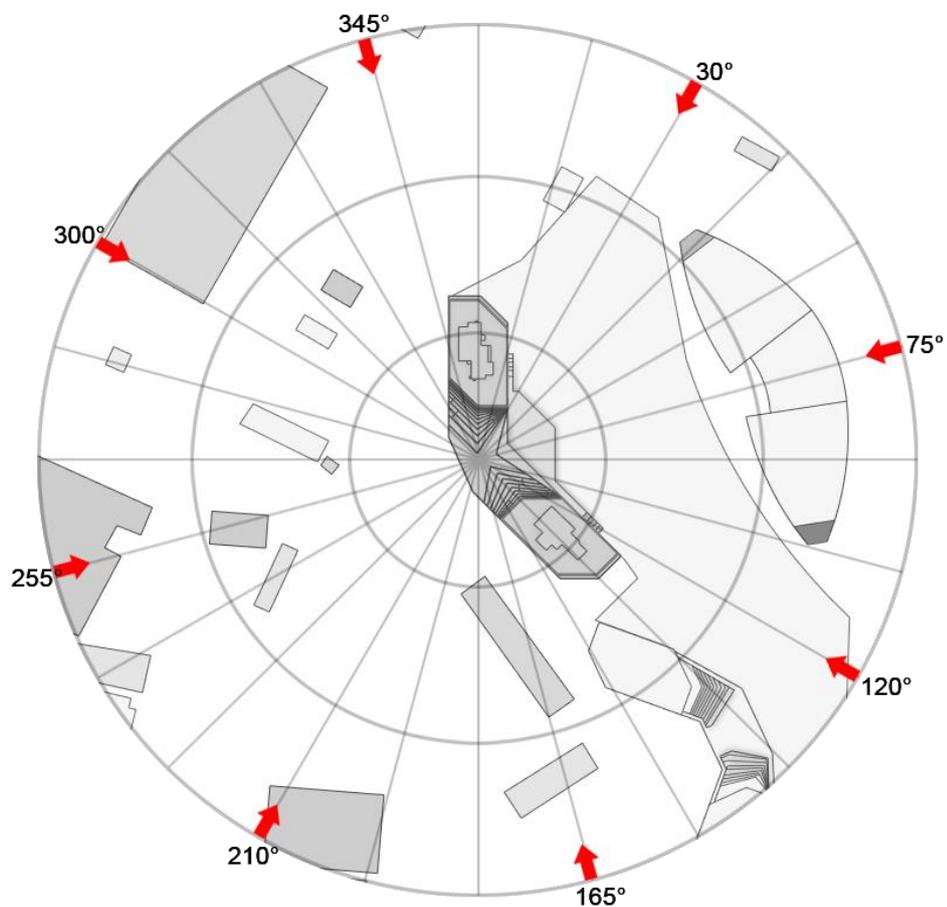


Рис. Расчетные направления ветрового потока для покрытий *Объекта*.

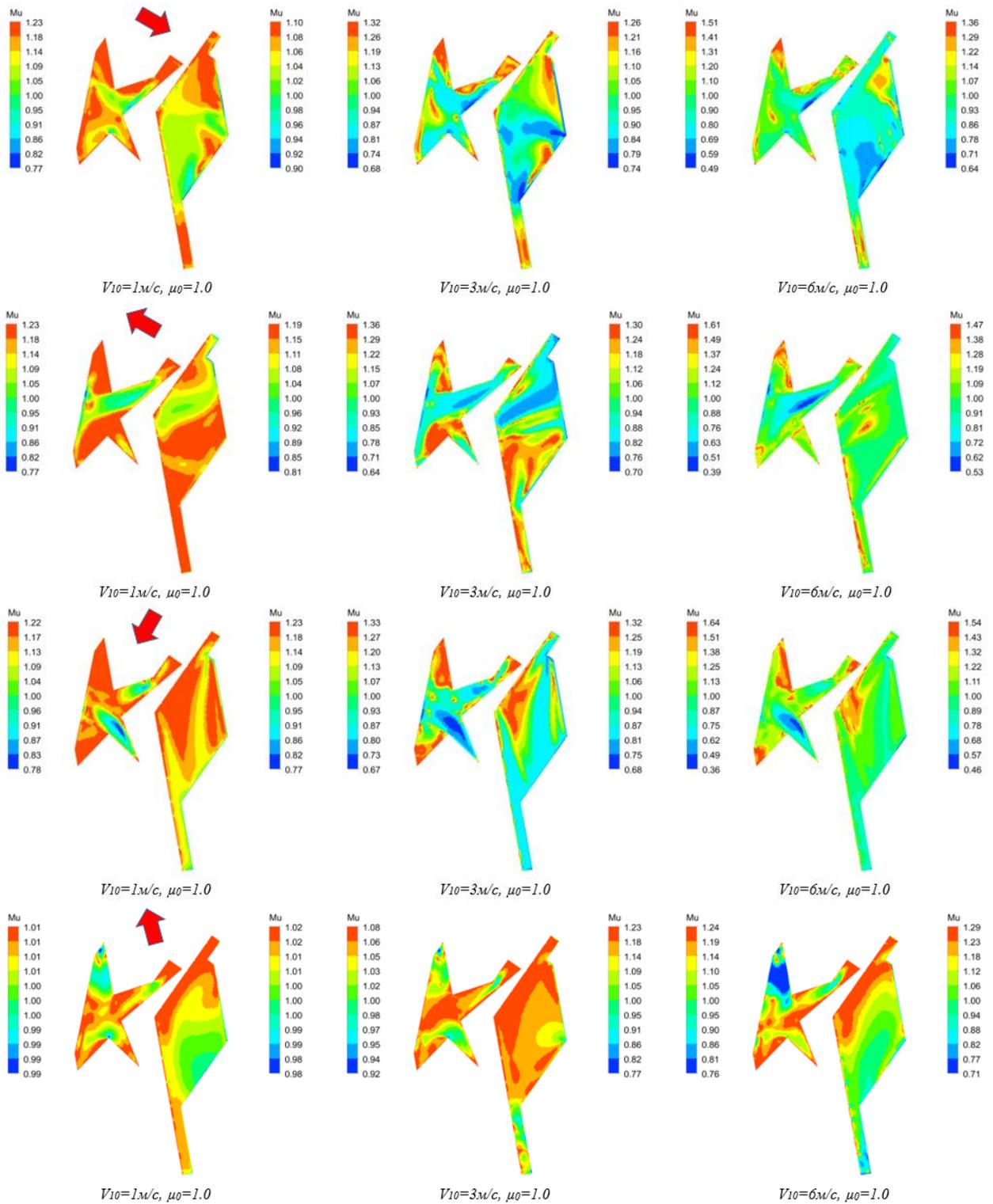
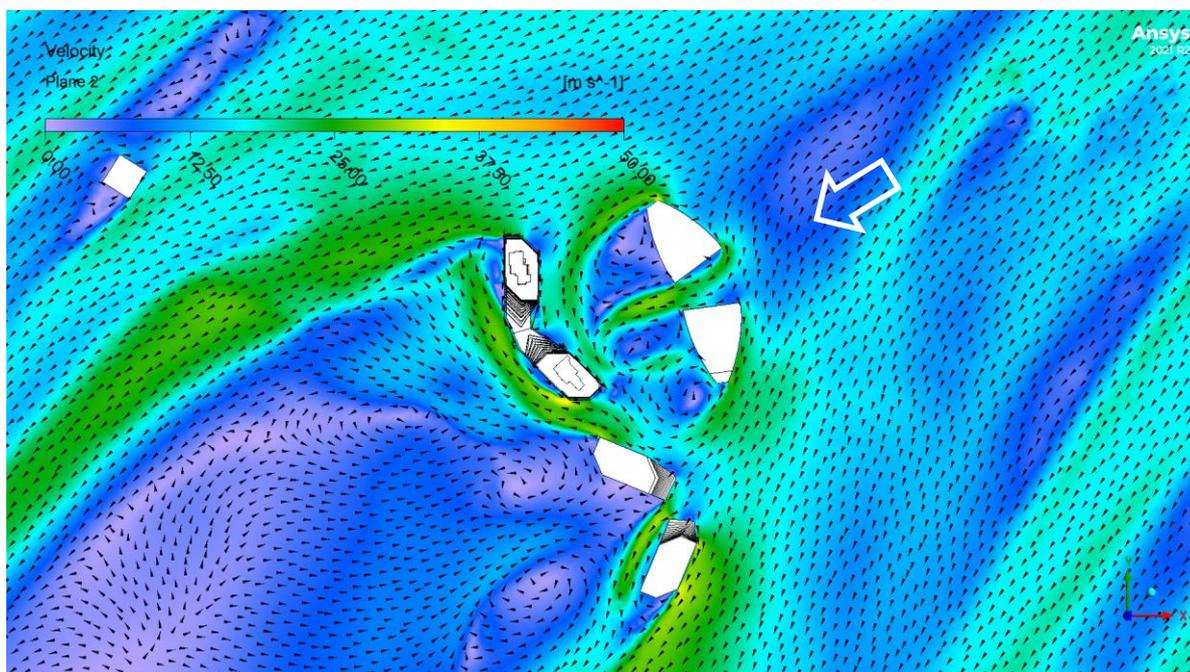


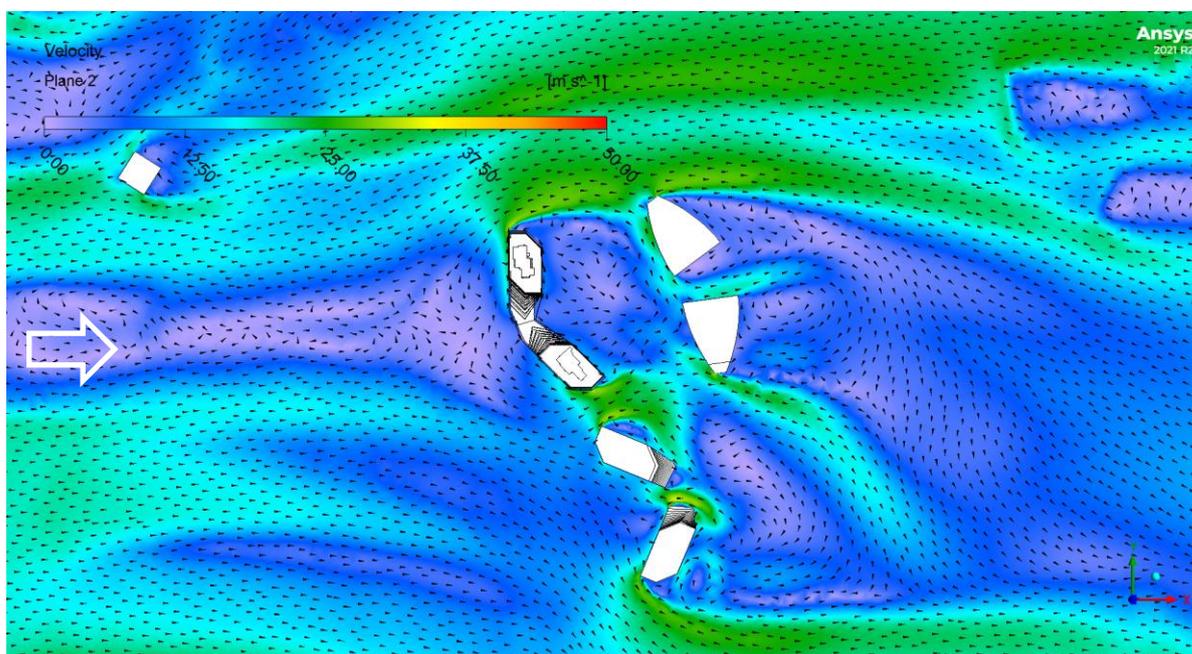
Рис. Математически моделируемый коэффициент формы μ_{mm} для различных направлений ветра (с учётом и без учёта окружающей застройки)

6. Презентационные материалы

В главе представлены картины распределения ветрового потока для направлений ветра 45° и 270° и изополя огибающих аэродинамических коэффициентов пиковых и средних давлений на Объекте.



а) направление ветра – 75°



б) направление ветра – 270°

Рис. Средние значения скорости ветрового потока (м/с) и векторное обозначение его направления в горизонтальной плоскости на высоте 20м

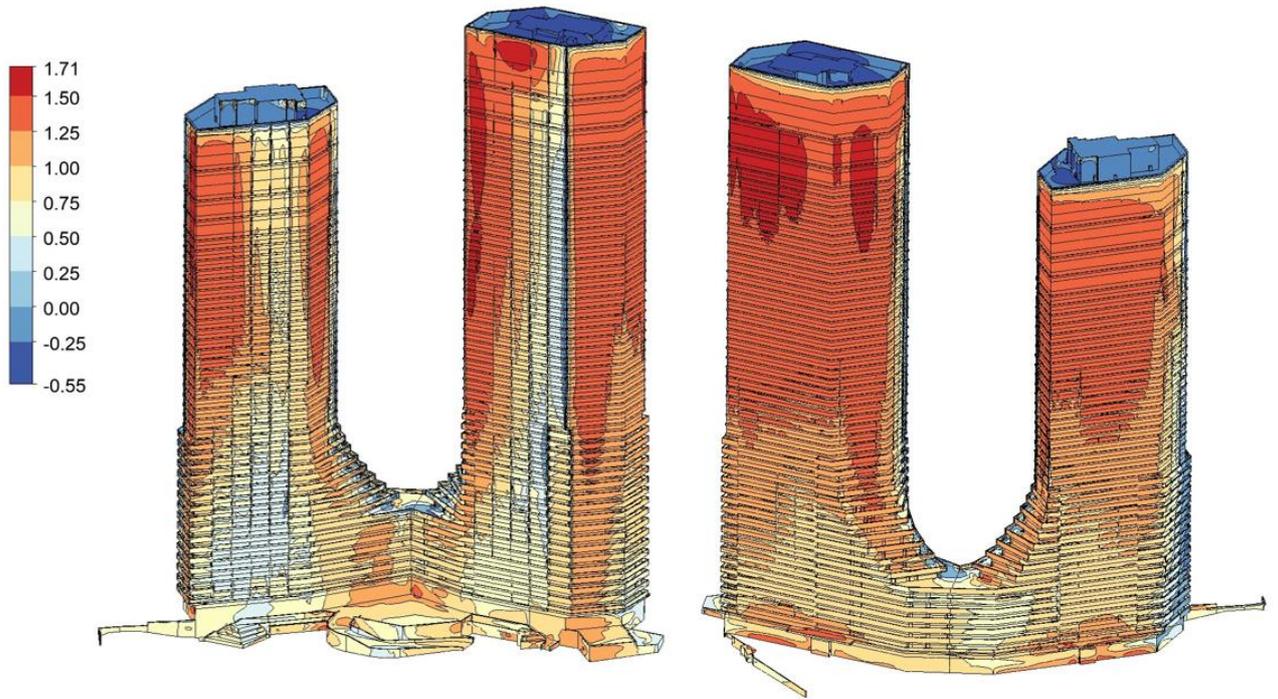


Рис. Верхняя огибающая аэродинамических коэффициентов положительных пиковых давлений

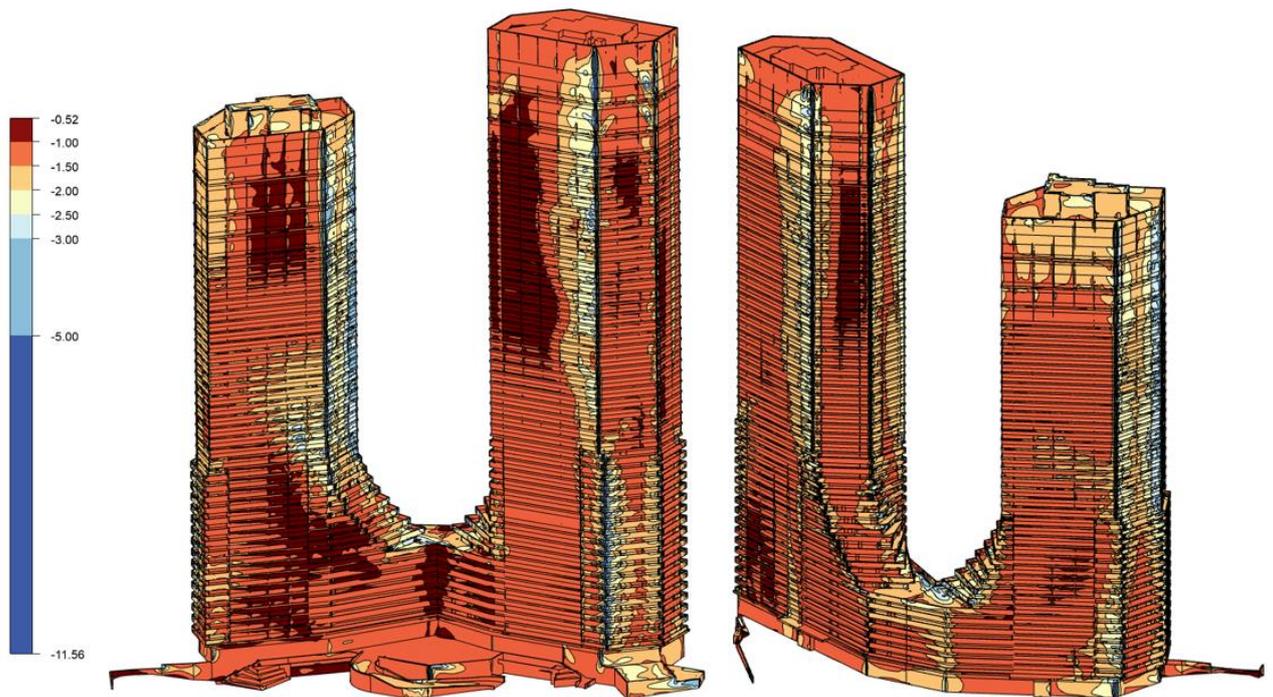


Рис. Нижняя огибающая аэродинамических коэффициентов отрицательных пиковых давлений.

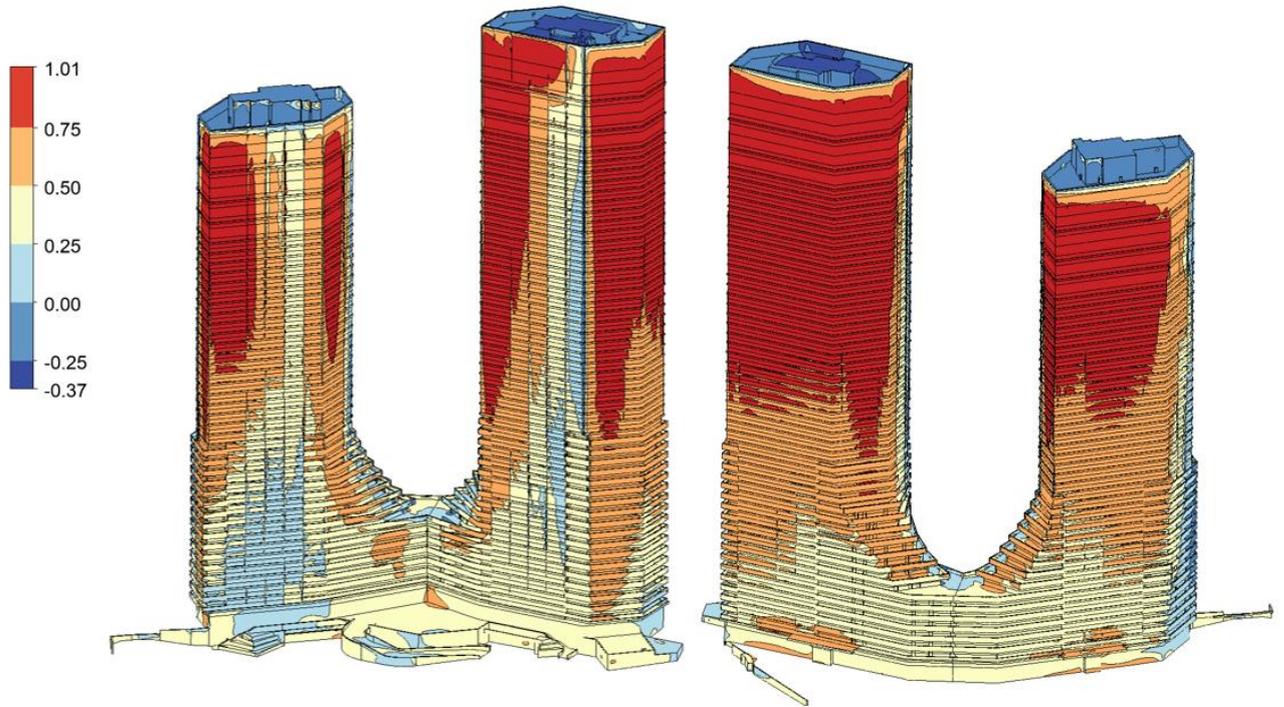


Рис. Верхняя огибающая аэродинамических коэффициентов среднего давления.

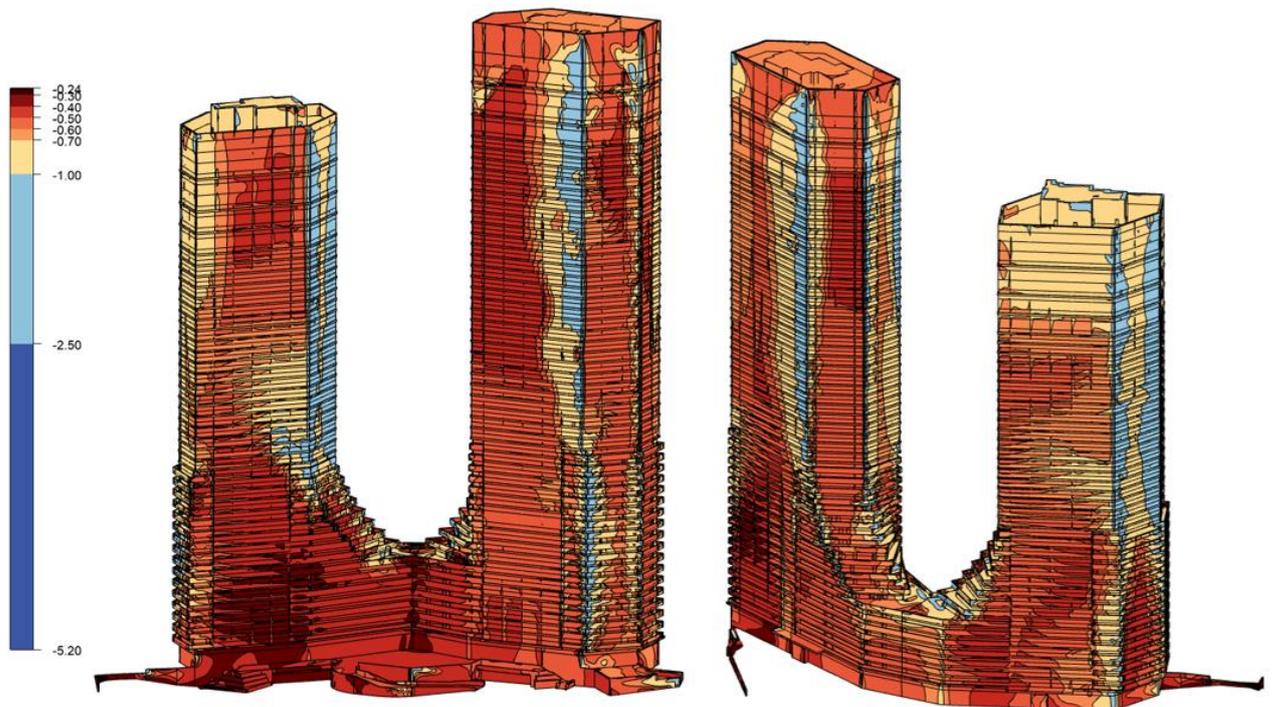


Рис. Нижняя огибающая аэродинамических коэффициентов среднего давления

Выводы и рекомендации

По результатам НИР, выполненной НИЦ СтаДиО по договору № 2022-ЮП-11 от 29.11.2022 и дополнительному соглашению №2 от 26.07.2023 «*Определение расчётных ветровых и снеговых нагрузок на несущие и фасадные конструкции объекта «Многофункциональный жилой комплекс. Этап 1», расположенного по адресу: г. Москва, СЗАО, район Хорошево-Мневники, 3й Силикатный проезд, вл.10, на земельных участках с кадастровыми номерами 77:08:0000000:3354, 77:08:0012002:5, 77:08:0012002:6 или образованных из них земельных участках. 1-я очередь строительства*», можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения исходных данных разработана и верифицирована трехмерная математическая (численная) аэродинамическая модель Объекта с учетом окружающей застройки и локального рельефа.

2. С использованием современных численных методов гидрогазодинамики, реализованных в программном комплексе ANSYS CFD (Fluent), в комбинации с авторскими методиками решения узкоспециализированных задач строительной аэродинамики проведены многовариантные расчетные аэродинамические исследования Объекта.

3. В результате проведенных расчетных исследований при 24-х направлениях ветра с учетом существующей окружающей застройки **выявлены** наиболее опасные и характерные расчетные случаи с точки зрения ветровых нагрузок на несущие конструкции:

для Башни R1	45°	$(F_X = -500 \text{ тс}, F_Y = -263 \text{ тс})$
	120°	$(M_Z = -4943 \text{ тс}\cdot\text{м})$
	270°	$(F_X = 655 \text{ тс}, M_Y = 65.2 \text{ ктс}\cdot\text{м})$
для Башни R2	90°	$(M_Z = -2593 \text{ тс}\cdot\text{м})$
	210°	$(F_Y = 476 \text{ тс}, M_Y = 40.7 \text{ ктс}\cdot\text{м})$
	270°	$(F_X = 270 \text{ тс}, M_Z = -3898 \text{ тс}\cdot\text{м})$

Для выявленных наиболее опасных и характерных расчетных случаев приведены расчетные поэтажные погонные ветровые нагрузки, **рекомендуемые** к применению в обосновании механической безопасности несущих конструкций.

4. В результате проведенных расчетных исследований пиковых ветровых давлений при 24-х направлениях ветра с учетом существующей окружающей застройки **выявлено** следующее:

Для Башни R1:

- максимальные положительные пиковые ветровые давления достигают 1 136 Па. На большей части площади здания положительные пиковые ветровые давления не превышают 1 000 Па;
- максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления достигают – 7 916 Па в локальных угловых зонах. На большей части площади здания отрицательные пиковые ветровые давления не превышают –2 000 Па.

Для Башни R2:

- максимальные положительные пиковые ветровые давления достигают 1 160 Па. На большей части площади здания положительные пиковые ветровые давления не превышают 800 Па;

- максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления достигают -7 033 Па в локальных угловых зонах. На большей части площади здания отрицательные пиковые ветровые давления не превышают -2 000 Па.

Для Стилобатной части Объекта:

- максимальные положительные пиковые ветровые давления достигают 1 058 Па. На большей части площади здания положительные пиковые ветровые давления не превышают 500 Па;
- максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления достигают -5 331 Па в локальных угловых зонах. На большей части площади здания отрицательные пиковые ветровые давления не превышают -1 000 Па.

Расчетные пиковые ветровые давления, представленные в отчете, **рекомендуются** к применению в обосновании механической безопасности ограждающих (фасадных) конструкций.

5. По результатам критериального анализа ветровой комфортности и оценки средневзвешенного коэффициента усиления средней скорости ветра для пешеходных зон на основе математического (численного) моделирования аэродинамики Объекта при 24-х направлениях ветра с учетом существующей окружающей застройки **выявлено** следующее:

- в потенциальной пешеходной зоне на покрытии между исследуемыми корпусами 1-ой очереди Объекта (*зона 1*) существенно превышены все три критерия пешеходной комфортности по МДС 20-1.2006, что в первую очередь связано со значимой высотой зоны над землей. Относительная оценка на основе средневзвешенного коэффициента усиления ветра также выявляет области ускорения ветровых потоков в *зоне 1*, что связано с эффектом Вентури, проявляющимся между высокими корпусами;
- в пешеходной *зоне 2* вокруг внешней части Объекта область наибольшего ветрового дискомфорта находится между близкими корпусами 1-ой и 2-ой очередей (серьезное превышение по всем 3-м критериям МДС 20-1.2006). Относительная оценка на основе средневзвешенного коэффициента усиления ветра указывает на основную причину – эффект Вентури, проявляющимся между высокими корпусами. Серьезные превышения критериев пешеходной комфортности на внешних углах корпусов 1-ой и 2-ой очереди являются типичной ситуацией для высотных зданий.
- в пешеходной *зоне 3* на стилобатной части внутреннего двора превышений по всем критериям пешеходной комфортности не наблюдается;
- во внутреннем дворе (*зона 4*) пешеходная комфортность рядом с исследуемым Объектом (1-я очередь) в целом удовлетворяется, однако возле 2-ой и 3-ей очередей наблюдаются обширные зоны ветрового дискомфорта.

Большие площади зон превышения критериев пешеходной комфортности, а также соответствующие высокие значения критериальных параметров, во многом связаны с существующей низкой окружающей застройкой. Имея ввиду перспективы застройки окружающей территории современными высокими зданиями в будущем можно ожидать улучшения пешеходной комфортности вокруг исследуемого Объекта.

Для улучшения пешеходной комфортности **рекомендуется** предпринять следующие меры:

- установка высоких светопрозрачных ограждений по периметру пешеходной *зоны 2* (террасы);

- обустройство зеленых насаждений во внутреннем дворе, угловых зонах и пространстве между корпуса 1-ой и 2-ой очередей;
- планирование мест расположения пешеходных дорожек с учетом данных, представленных в этой главе.

При актуализации проектной документации по 2-ой и 3-ей очередям полученные оценки могут быть скорректированы.

7. В силу сложной нестандартной формы покрытий *Объекта* при определении расчетных значений снеговых нагрузок применялся синтез нормативных рекомендаций и математического (численного) моделирования снеговых нагрузок. Полученные с помощью этого подхода значения коэффициента формы μ учитывают особенности сложной конструкции *Объекта*, отражают наиболее опасные для механической безопасности случаи распределения снегоотложений и, при этом, не противоречат положениям СП 20.13330.2016.

В прочностных расчетах *Объекта* рекомендуется использовать распределения коэффициента формы μ в соответствии с рис. 7.1-7.6 настоящего отчёта, полученные по схемам Б.1, Б.8, Б.13 Приложения Б к СП [2] и по результатам моделирования, представленным в соответствующим разделе настоящего отчёта