



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет

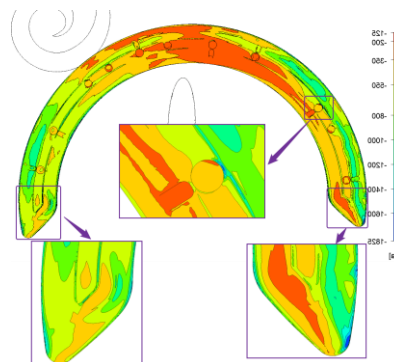
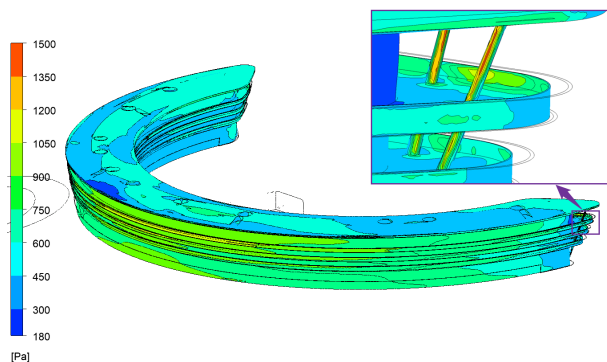
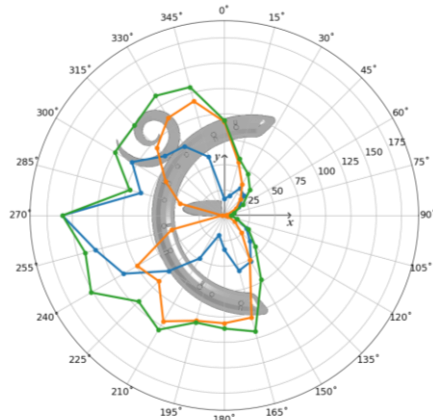
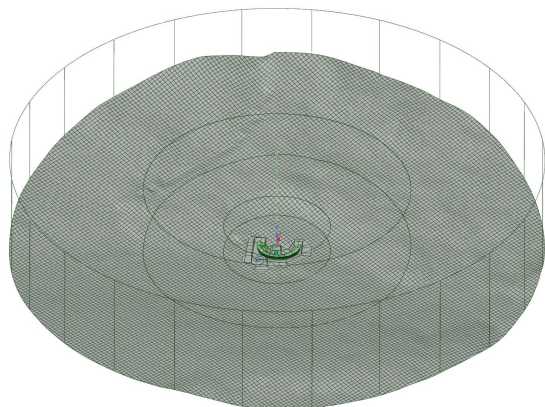
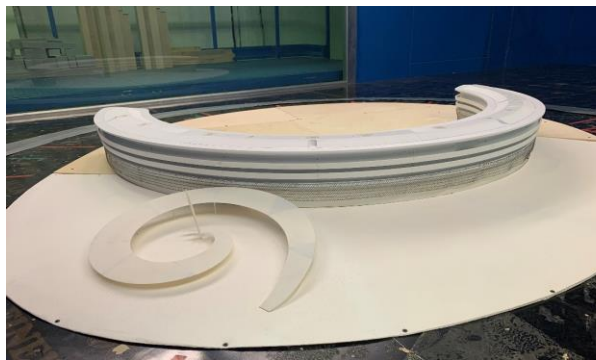
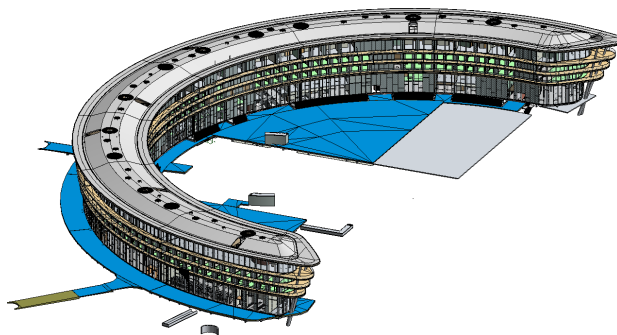
129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, тел. +7 (495) 781-80-07, факс +7 (499) 183-44-38

НАУЧНО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

ПО ТЕМЕ:

«Расчетно-экспериментальные исследования ветровых воздействий для

Объекта: «Всесезонный курорт «Манжерок», расположенному по адресу: Республика
Алтай, Майминский район, район озера «Манжерокское», с юго-восточной стороны»



МОСКВА 2022

1. Исходные данные. Постановка задач

Постановка задач расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием ставятся и решаются следующие задачи:

1. Анализ и обобщение проектной документации Объекта, постановка задач расчетных исследований;
2. Проектирование и создание масштабной модели Объекта башни для проведение физического (экспериментального) моделирования;
3. Определение средних и пиковых значений аэродинамических коэффициентов давления, на основе физического (экспериментального) моделирования;
4. Разработка аэродинамических моделей Объекта с учетом локального рельефа местности для проведения математического (численного) моделирования;
5. Определение распределения пиковых (минимального и максимального) ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции Объекта, кроме ламелей;
6. Определение ветровых нагрузок на несущие конструкции навеса;
7. Определение аэродинамических коэффициентов и ветрового напора для ламелей Объекта.

Площадка строительства, рельеф и застройка объекта

Земельный участок под строительство Объекта (всесезонный курорт «Манжерок») расположен по адресу: Республика Алтай, Майминский район, район озера «Манжерокское», с юго-восточной стороны. С Севера от Объекта расположено оз. Манжерокское, с запада село Озёрное. Объект находится у подножия горы Малая Синюха.

Рельеф местности вокруг Объекта сложный с перепадами высот в сотни метров, что оказывает существенное влияние ветровые потоки.

Ближайшая существующая застройка к Объекту находится в селе Озёрная и представляет из себя малоэтажные частные домовладения. Перспективная застройка вокруг исследуемой гостиницы ещё не определена. Местность вокруг Объекта на многие километры лесистая. Таким образом, согласно СП 20 принят тип местности *В*, ветровой район *III*.

Согласно данным ближайшей метеостанции, расположенной в 60-70 км к юго-востоку от исследуемого Объекта, преобладающий ветер – Юго-Восточный.

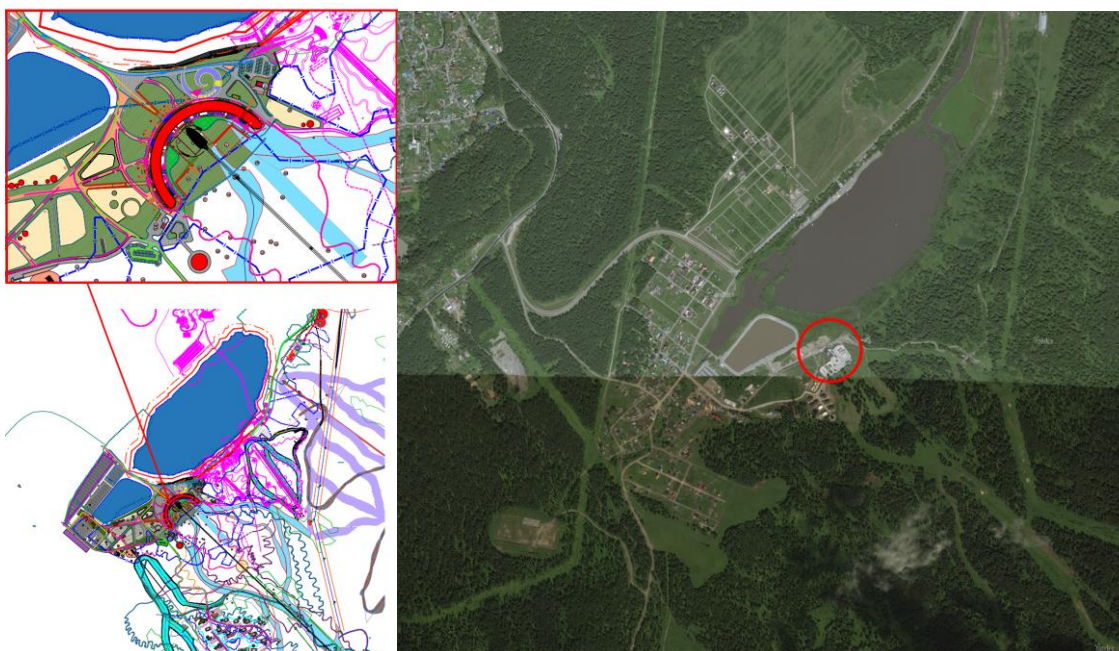


Рис. Ситуационный план Объекта и карта местности возле площадки строительства

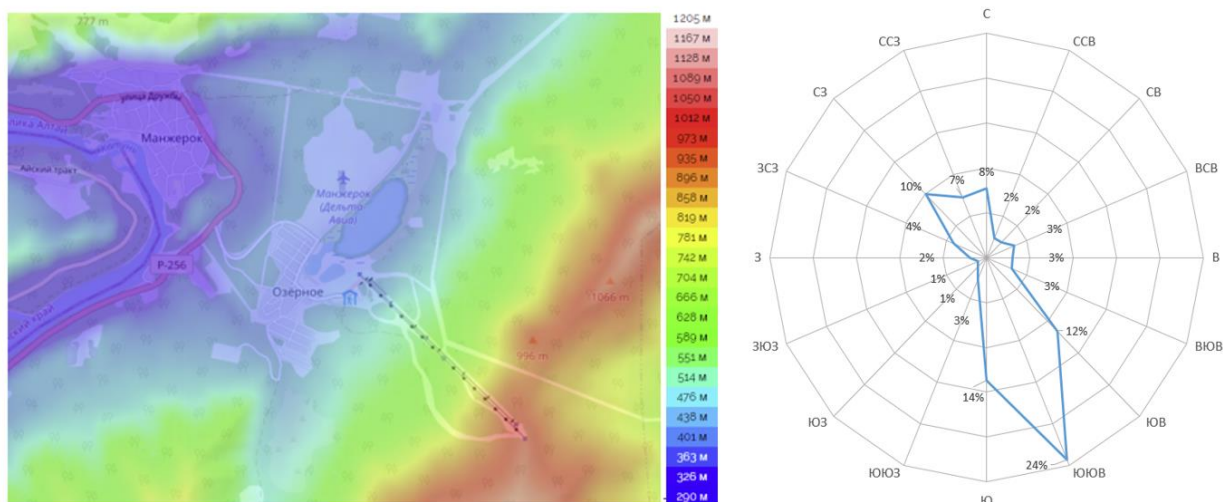


Рис. Карта высот возле площадки строительства и повторяемость ветров по данным ближайшей метеостанции

Краткая характеристика исследуемого Объекта

Гостиница представляет собой 4-х этажное сооружение в виде полукольца (рис. 2.5) со стеклянными и ламельными фасадами, уязвимыми к ветровым нагрузкам (рис. 2.6). Рядом со зданием гостиницы расположен навес в виде улитки, а также сооружение станции горнолыжных подъемников.

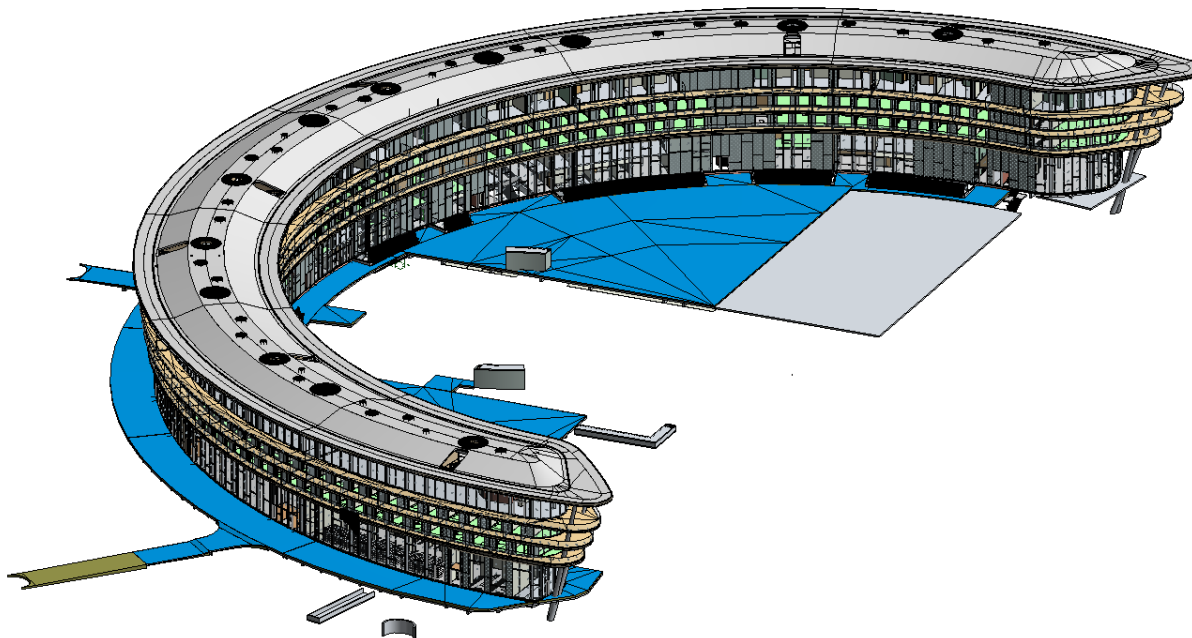
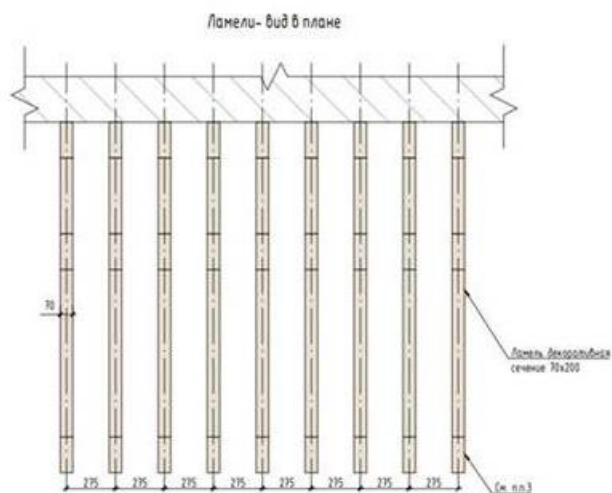


Рис. Ревит-модель гостиницы, предоставленная заказчиком
(ламели не отображены)



а)



б)

Рис. а) рендер торца объекта с ламелями, б) схема ламелей

2. Определение аэродинамических коэффициентов на основе физического моделирования

В главе приводятся основная информация о созданной физической модели, настройке датчиков и результаты испытаний в виде аэродинамических коэффициентов давления C_p .

Проектирование и создание модели

Для физического (экспериментального) моделирования Заказчиком была предоставлена и согласована с Исполнителем модель исследуемого объекта. Учитывая размеры рабочей части аэродинамической трубы, был выбран максимально возможный из условий загромождения потока масштаб макета 1:150.



Рис. Согласованная трехмерная модель исследуемого объекта для изготовления физической модели

По согласованной модели Заказчиком спроектирована и изготовлена физическая модель изготовлена из листового ПВХ:



Рис. Модель исследуемого объекта в аэродинамической трубе

Для учета влияния вертикальных ламелей на распределение ветрового давления по поверхности фасадов на уровне первого этажа использовалась турбулизирующая сетка, с проницаемостью 75%. Внутримodelьное пространство выполнено с учетом необходимости размещения 144 контрольных точек измерения давления на поверхности модели.

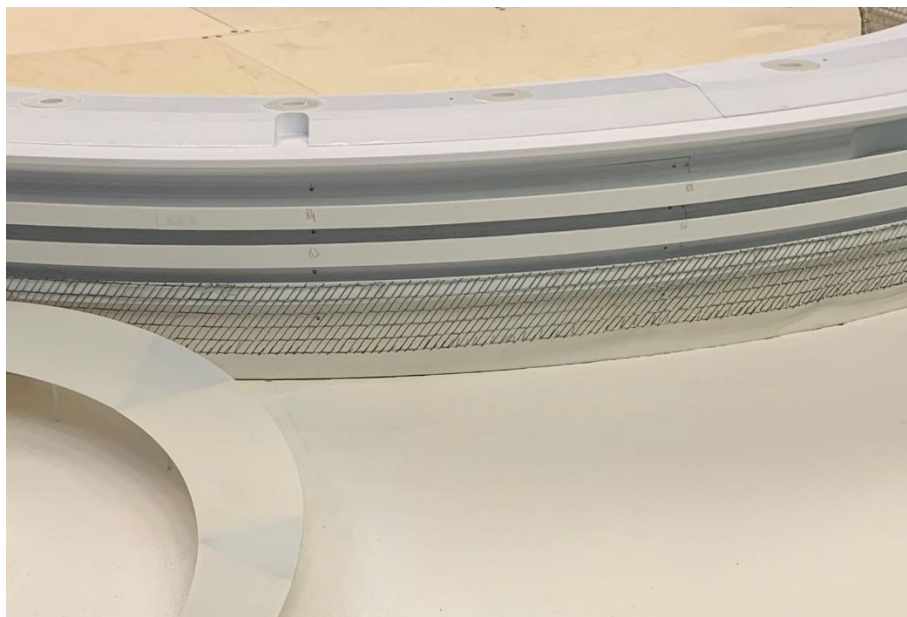


Рис. Турбулизирующая сетка на уровне первого этажа

Подготовка аэродинамической трубы

На расстоянии 0,5 м от края установленной в рабочей зоне модели установлена трубка Пито-Прандтля, представляющая собой устройство для определения полного и статического давлений в потоке при проведении экспериментов. Канал, соответствующий статическому давлению, подключен к системе герметизированных коллекторов таким образом, что обеспечивалась подача статического давления потока на все используемые в эксперименте датчики давления. Канал полного давления подключен к дифференциальному цифровому манометру, который служит для определения скорости потока воздуха. Это обеспечивало дополнительную проверку работы аэродинамической трубы и повышению достоверности проведенного эксперимента.

Калибровка датчиков давления

Калибровка выполнялась стандартным методом путем проведения "эталонных" экспериментов в аэродинамической установке AeroLab.

Эталонным прибором является дифференциальный цифровой манометр ЭКО-ИНТЕХ ДМЦ-01М (рис. 4.5). Предел основной допускаемой абсолютной погрешности измерений, не более $\pm(1+0,005\Delta P)$ Па. В результате калибровки были получена градуировочная зависимость для 144 датчиков.

Результаты испытаний

Измеренное с помощью тензо-датчиков давление на поверхности модели исследуемого объекта в дренажных точках позволяет судить о распределении по фасадам объекта аэродинамического давления при 24 углах атаки потока воздуха от 0° до 360° с

шагом 15° . Были получены средние, максимальные и минимальные значения аэродинамических коэффициентов для каждой дренажной точки модели. В таблице представлены пиковые значения аэродинамических коэффициентов, определенные как нижняя огибающая минимальных коэффициентов и верхняя огибающая максимальных коэффициентов для всех исследуемых направлений ветра.

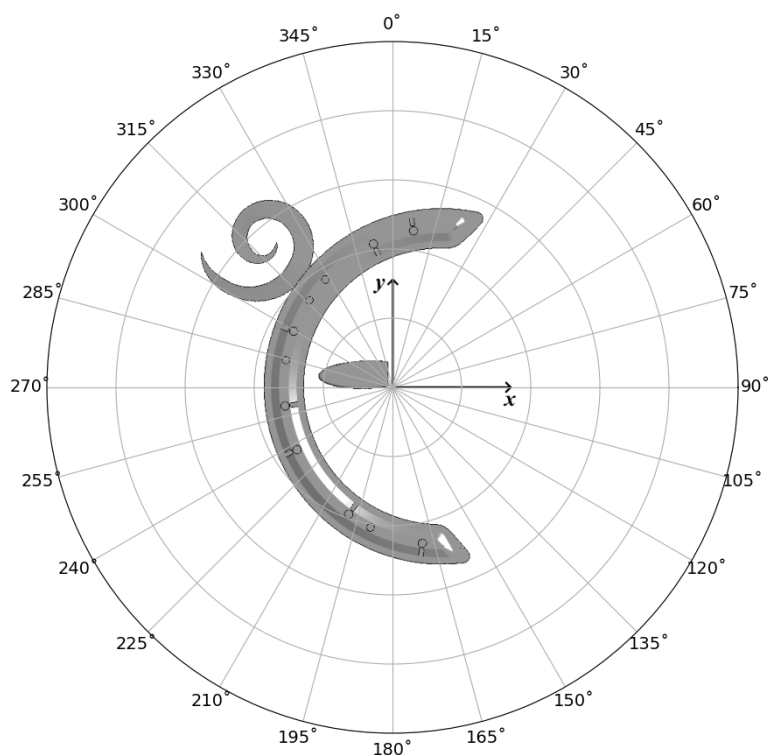


Рис. Направление набегающего потока при проведении экспериментальных исследований

Таблица. Пиковые (максимальные и минимальные среди всех направлений ветра) значения аэродинамических коэффициентов давления в контрольных точках на поверхности фасадов исследуемого объекта

№	$C_{p,max}$	$C_{p,min}$	№	$C_{p,max}$	$C_{p,min}$	№	$C_{p,max}$	$C_{p,min}$	№	$C_{p,max}$	$C_{p,min}$
1	0.63	-0.63	37	0.41	-0.62	73	0.59	-0.77	109	0.87	-1.12
2	0.64	-0.63	38	0.59	-0.59	74	0.66	-0.77	110	0.94	-1.62
3	0.75	-0.70	39	0.59	-0.60	75	0.98	-0.86	111	0.94	-1.74
4	0.64	-0.67	40	0.40	-0.67	76	0.70	-1.07	112	0.93	-1.31
5	0.61	-0.62	41	0.42	-0.67	77	0.69	-0.76	113	0.62	-2.31
6	0.58	-0.71	42	0.75	-0.53	78	0.68	-0.77	114	0.84	-1.48
7	0.63	-0.63	43	0.81	-0.60	79	0.83	-1.00	115	1.11	-0.58
8	0.55	-0.69	44	0.77	-0.59	80	0.70	-1.11	116	0.91	-0.63
9	0.40	-0.80	45	0.59	-0.56	81	0.52	-1.16	117	0.58	-0.96
10	0.56	-0.63	46	0.71	-0.57	82	0.60	-1.15	118	0.68	-1.78
11	0.56	-0.83	47	0.75	-0.75	83	0.71	-0.95	119	0.64	-2.12
12	0.44	-0.71	48	0.90	-0.53	84	0.61	-1.06	120	1.01	-2.41
13	0.51	-0.74	49	0.72	-0.60	85	0.69	-1.11	121	0.69	-0.77
14	0.62	-0.61	50	0.84	-0.68	86	0.75	-0.96	122	0.92	-0.84
15	0.58	-0.65	51	0.87	-0.77	87	0.87	-1.03	123	0.81	-0.72
16	0.42	-0.68	52	0.89	-0.89	88	0.75	-0.95	124	1.00	-1.22
17	0.50	-0.77	53	0.38	-1.16	89	0.65	-1.09	125	0.67	-0.52
18	0.65	-0.62	54	0.65	-1.40	90	0.91	-1.22	126	0.94	-0.70
19	0.64	-0.75	55	0.77	-1.56	91	0.94	-1.15	127	0.81	-0.95
20	0.40	-0.69	56	0.98	-1.93	92	0.74	-1.49	128	0.89	-0.68
21	0.49	-0.68	57	0.62	-1.69	93	0.67	-0.96	129	0.68	-0.56
22	0.58	-0.70	58	0.76	-1.95	94	0.81	-1.04	130	0.86	-0.66
23	0.64	-0.60	59	0.49	-2.37	95	0.91	-1.14	131	0.82	-0.64
24	0.49	-0.74	60	0.95	-2.77	96	0.59	-1.27	132	0.91	-0.60
25	0.52	-0.70	61	0.66	-2.51	97	0.62	-1.03	133	0.80	-0.92
26	0.50	-0.74	62	0.81	-0.98	98	0.69	-1.21	134	0.90	-1.27
27	0.62	-0.69	63	0.83	-0.62	99	0.76	-1.40	135	1.03	-1.26
28	0.48	-0.68	64	0.84	-0.74	100	0.72	-1.32	136	0.89	-1.05
29	0.55	-0.64	65	0.78	-1.30	101	0.62	-0.70	137	-0.17	-1.17
30	0.61	-0.62	66	0.95	-1.30	102	0.66	-1.30	138	-0.07	-1.29
31	0.57	-0.68	67	0.85	-1.26	103	0.74	-1.41	139	-0.22	-1.34
32	-	-	68	0.77	-1.49	104	0.79	-1.51	140	-0.23	-1.37
33	0.42	-0.66	69	0.62	-0.71	105	0.71	-1.22	141	-0.19	-1.64
34	0.58	-0.62	70	0.71	-0.90	106	0.69	-1.16	142	-0.18	-1.46
35	0.65	-0.61	71	0.86	-1.24	107	0.93	-1.49	143	-0.10	-1.74
36	0.56	-0.74	72	0.99	-1.37	108	0.84	-1.69	144	-0.20	-1.11

3. Разработка и верификация расчетных моделей

Для моделирования аэродинамики объекта были разработаны две модели:

- *модель 1* для определения пиковых ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции гостиницы (кроме ламелей) и ветровых нагрузок на несущие конструкции навеса;
- *модель 2* для определения аэродинамических коэффициентов на наиболее длинные ламели, расположенные на торцевой части гостиницы.

Геометрические модели Объекта

Практическая подготовка расчетных моделей начинается с создания геометрической объемной модели Объекта и рельефа окружающей местности. Геометрия зданий и сооружений Объекта выполнена согласно предоставленной заказчиком gvt-модели. Рельеф моделировался на основе предоставленных данных топосъемок и gvt-модели. Влияние ламелей на аэродинамику гостиницы в *модели 1* учитывалось с помощью эквивалентно-проницаемых тел, поэтому в геометрической модели были заданы специальные объемы, огибающие ламели.

Для моделирования аэродинамических коэффициентов на наиболее длинные и уязвимые к ветровым нагрузкам ламели, расположенные на торцевых частях, была создана плоская геометрическая модель горизонтального сечения гостиницы на высоте 4.5м над землей.

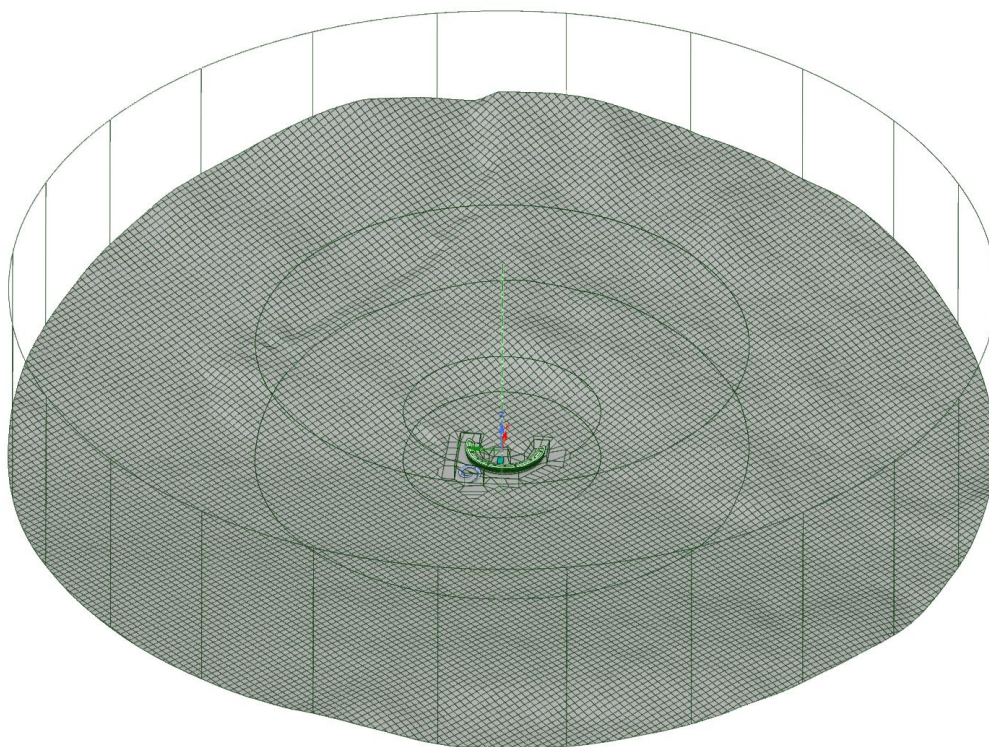


Рис. Модель 1. Геометрическая модель. Общий вид

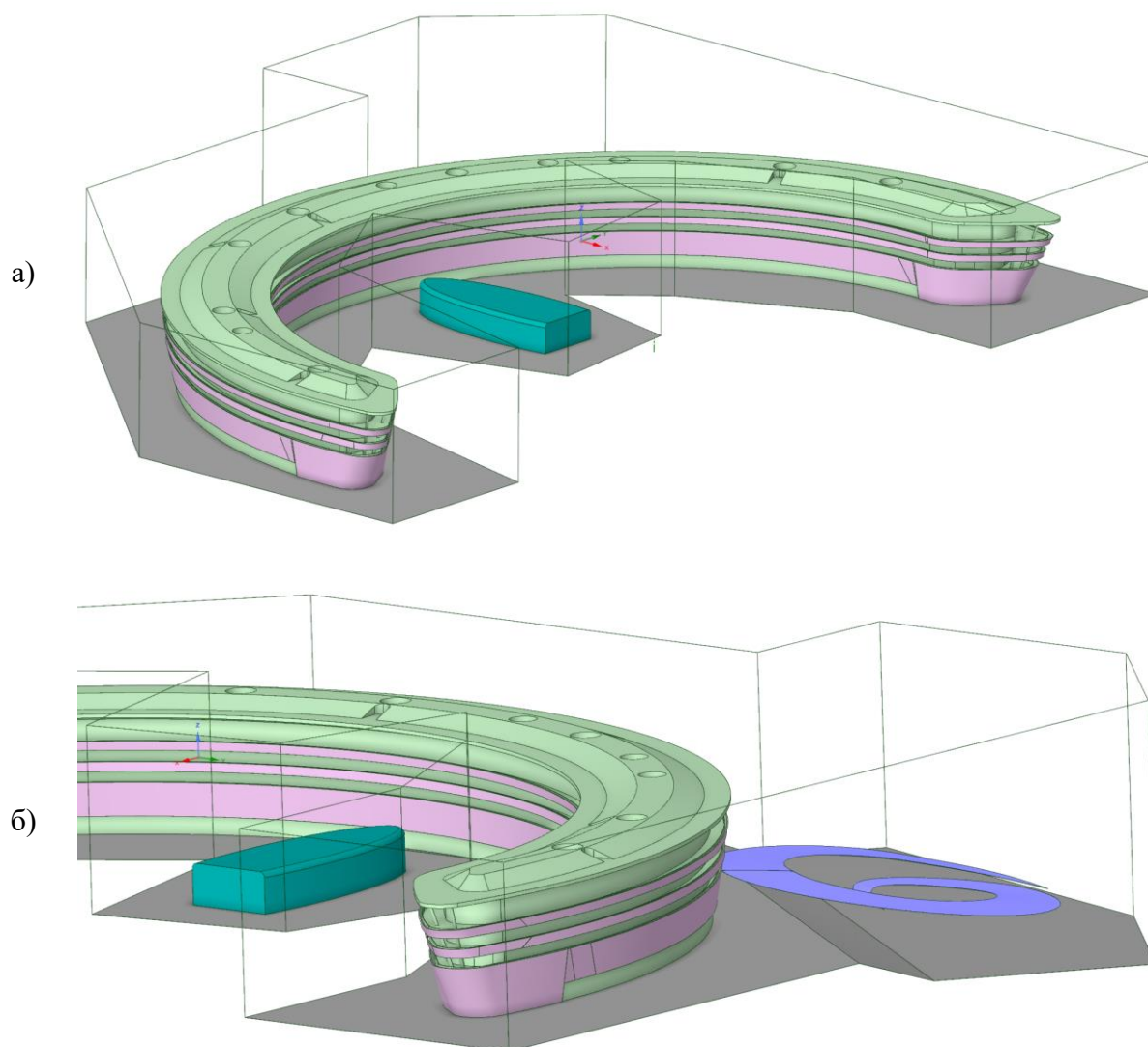


Рис. *Модель 1*. Геометрическая модель. Вид вблизи только с ближайшим рельефом

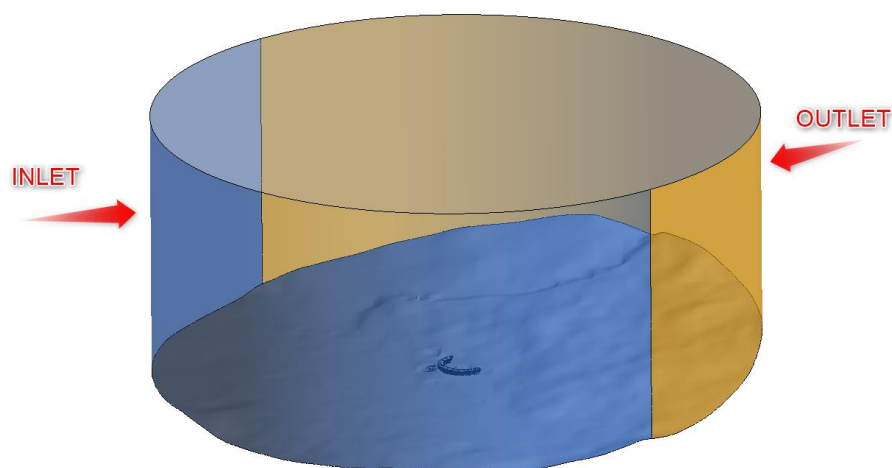


Рис. Расчетная область *Модели 1* (ANSYS CFX) с обозначенными граничными условиями.
Угол атаки 0°

4. Определение расчетных ветровых нагрузок на основе численного моделирования

В главе приведены основные результаты выполненных расчетных исследований по определению ветровых нагрузок на ограждающие (фасадные) конструкции Гостиницы, несущие и фасадные конструкции Навеса и аэродинамические коэффициенты для ламелей первого этажа торцевой части Гостиницы. Многовариантные расчетные исследования проводились с учетом локального рельефа местности.

Средняя составляющая ветрового давления и средние скорости получены в результате стационарных расчетов, пульсационная составляющая, максимальные и минимальные значения ветрового давления вычислялись по численной методике, представленной в отчете.

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

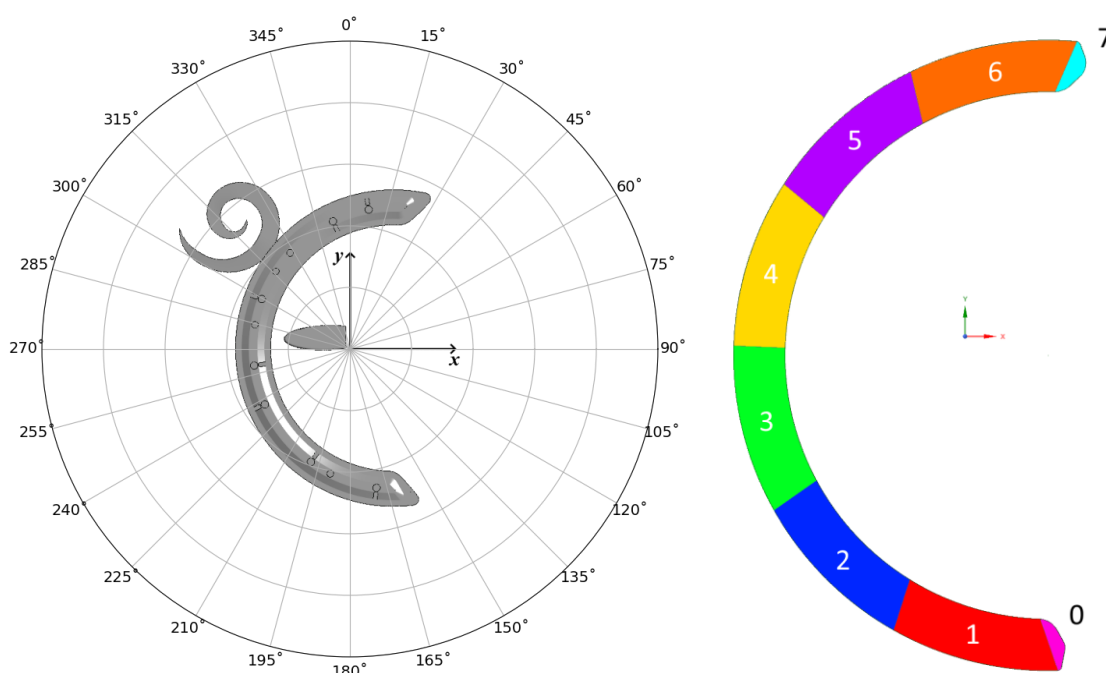


Рис. Система координат и расчетные направления ветрового потока и Схема нумерации зон

Ветровые нагрузки на Гостиницу

В пункте представлены:

- суммарные расчетные ветровые нагрузки на несущие конструкции гостиницы в упомянутых выше осях (F_x , F_y , кН), векторная сумма нагрузки (F_R , кН), суммарная вертикальная сила (F_z , кН) для 24-х направлений (шаг по углу 15°) в табличном виде в форме графиков;

- изополя верхней огибающей максимальных значений ветрового давления и нижней огибающей минимальных ветрового давления значений представлены в графическом виде;

- максимальные и минимальные пиковые значения давления по зонам стен и ограждений в табличном виде;

Верхнюю огибающую ветрового давления следует использовать в расчетах ограждающих (фасадных) конструкций в качестве пиковых положительных w_+ ветровых воздействий.

Нижнюю огибающую ветрового давления следует использовать в расчетах ограждающих (фасадных) конструкций в качестве пиковых отрицательных w -ветровых воздействий.

Таблица Суммарные расчетные ветровые нагрузки (F_x , F_y), векторная сумма нагрузки (F_R) и суммарная вертикальная сила (F_z) в зависимости от направления ветра.

Угол, °	Гостиница			
	F_x , тс	F_y , тс	F_R , тс	F_z , тс
0°	16.3	-92.3	93.8	128.4
15°	-19.9	-54.1	57.7	106.0
30°	-31.0	-35.3	47.0	75.9
45°	-27.7	-22.6	35.8	50.1
60°	-16.3	-13.3	21.0	35.5
75°	-9.6	-2.7	10.0	35.3
90°	-6.6	1.4	6.7	32.2
105°	-12.4	3.4	12.8	30.2
120°	-25.0	11.7	27.6	39.7
135°	-35.8	24.1	43.2	61.1
150°	-52.4	50.4	72.7	108.1
165°	-56.3	104.1	118.3	151.5
180°	-33.6	106.2	111.4	125.2
195°	19.9	107.3	109.1	89.9
210°	48.9	120.4	130.0	72.9
225°	77.3	91.5	119.8	-27.4
240°	114.8	99.3	151.8	-106.4
255°	131.5	53.7	142.0	-114.0
270°	159.8	-1.9	159.8	-146.1
285°	85.4	-45.4	96.7	-137.5
300°	105.2	-66.8	124.6	-83.2
315°	82.8	-94.2	125.4	19.6
330°	78.7	-110.9	136.0	80.7
345°	59.8	-116.4	130.9	142.2

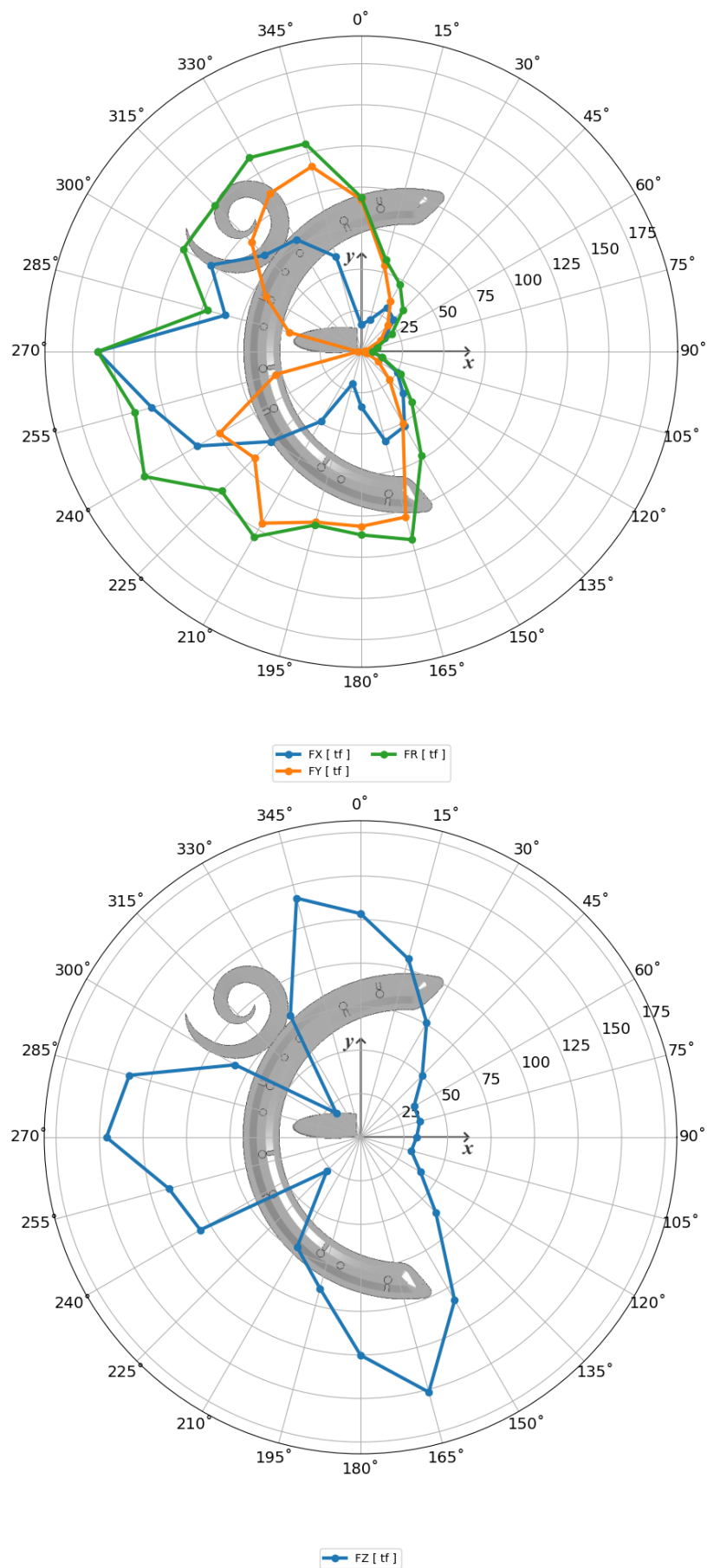


Рис. Суммарные расчетные ветровые нагрузки (F_x , F_y), векторная сумма нагрузки (F_R) и суммарная вертикальная сила (F_z) в зависимости от направления ветра, кН (значения приведены по модулю)

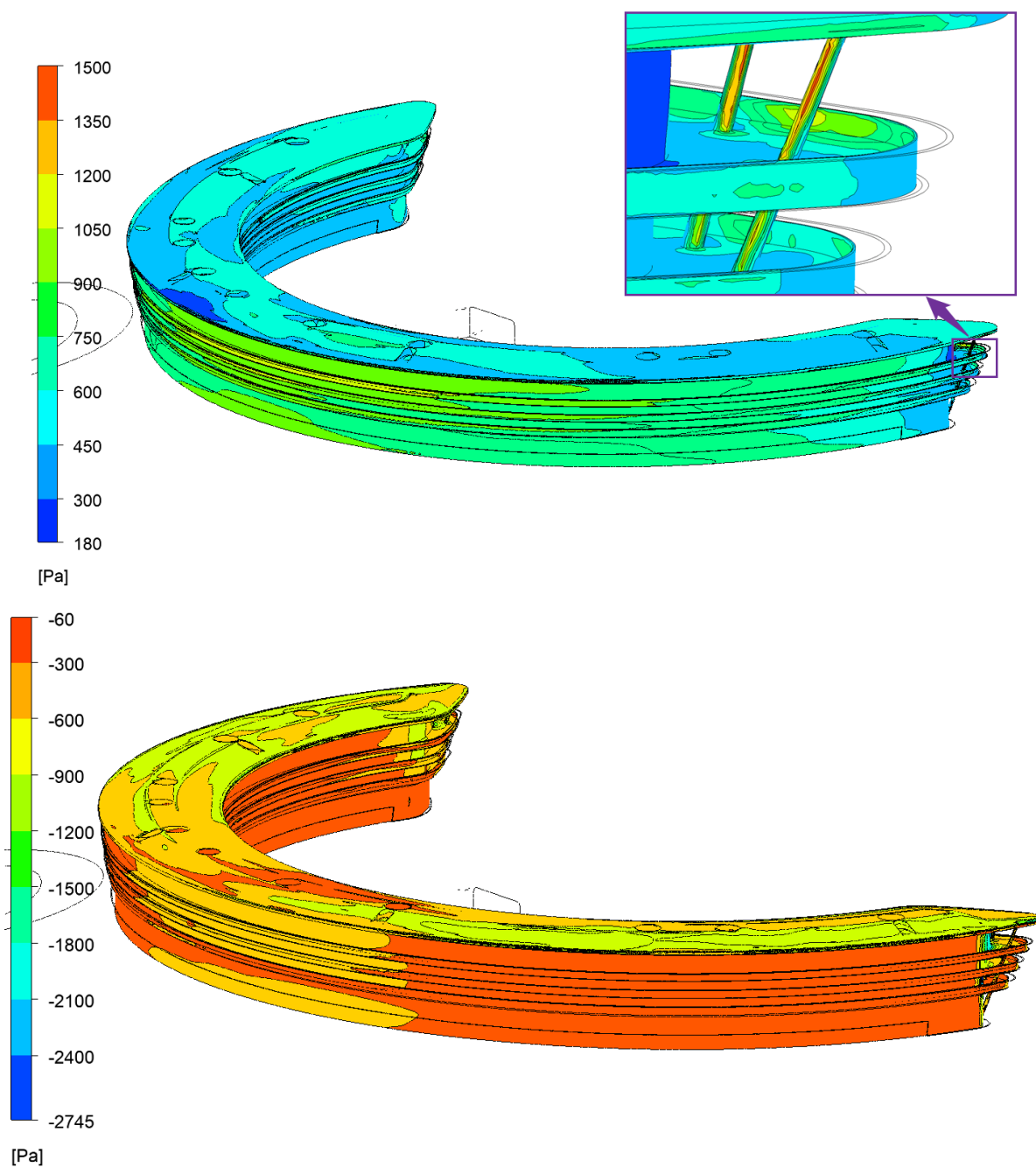


Рис. Верхняя огибающая максимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие конструкции *Гостиницы*. Максимальное значение 1 500 Па, минимальное значение 180 Па, Нижняя огибающая минимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие конструкции *Гостиницы*. Максимальное значение -60 Па, минимальное значение -2 745 Па

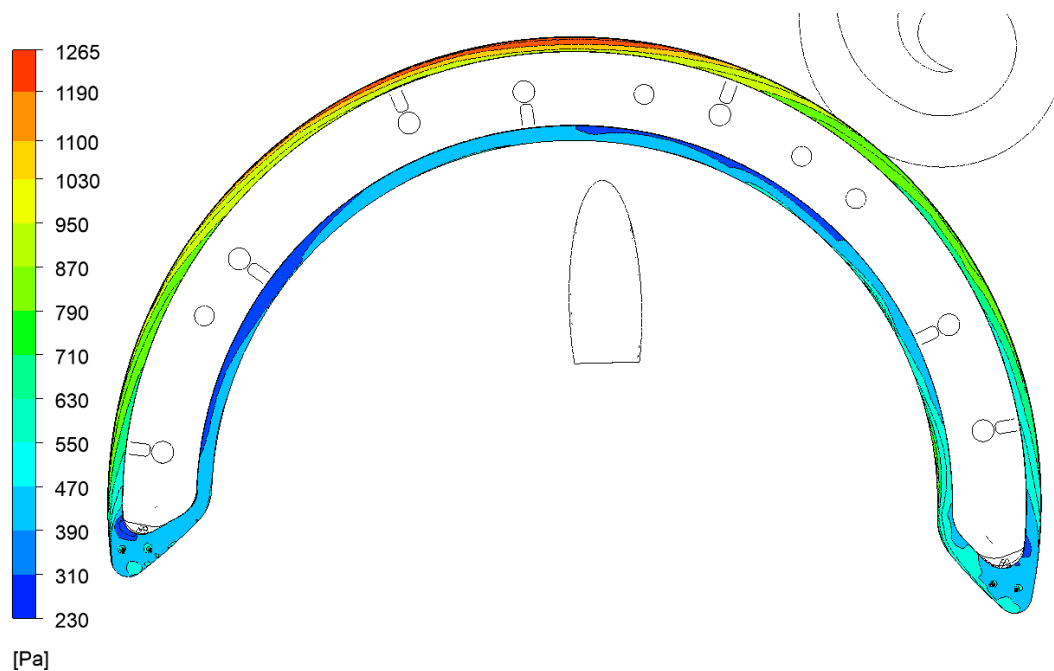


Рис. Верхняя огибающая максимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие конструкции *потолка 4 этажа*. Вид сверху.

Максимальное значение 1 265 Па, минимальное значение 230 Па.

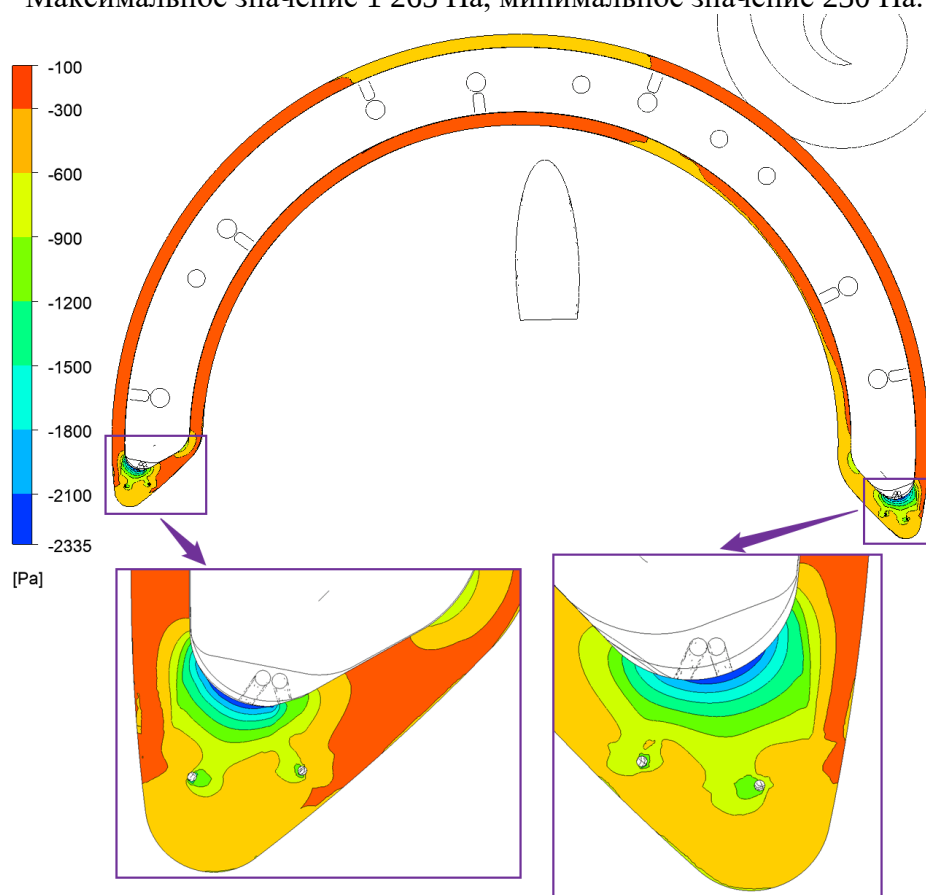
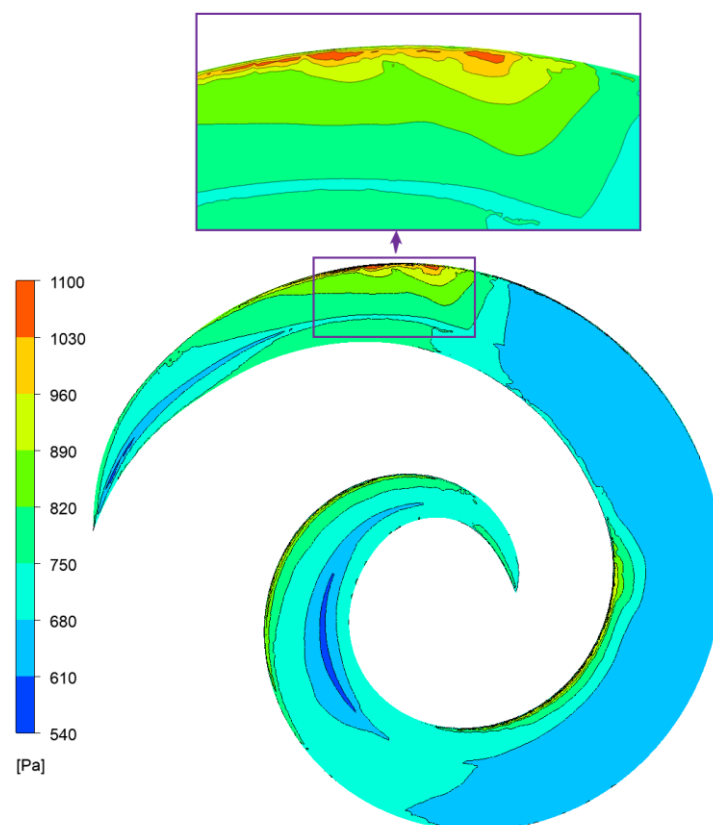


Рис. Нижняя огибающая минимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие конструкции *потолка 4 этажа*. Вид сверху.

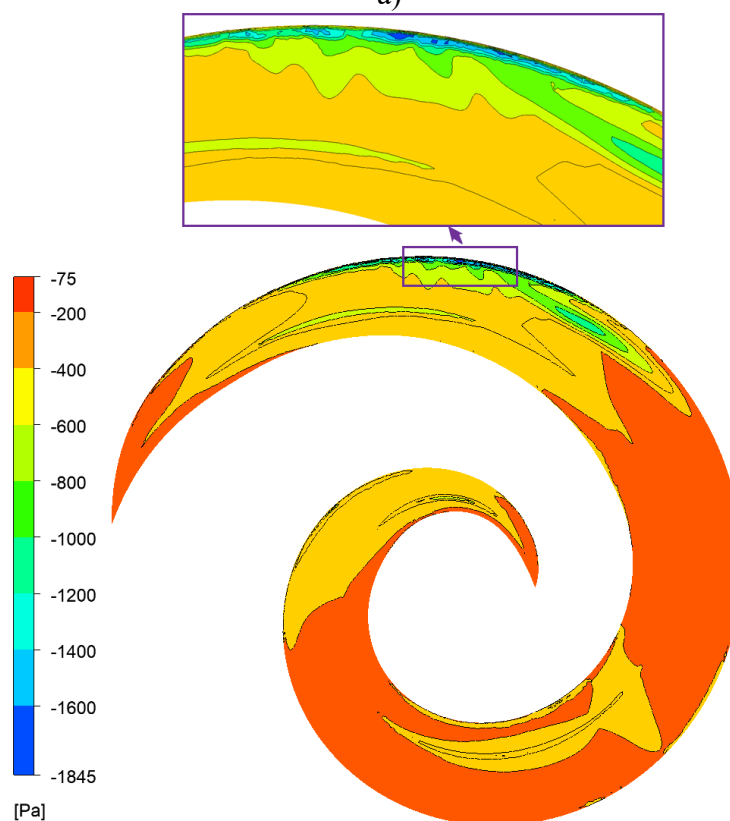
Максимальное значение -100 Па, минимальное значение -2 335 Па.

Таблица Пиковые (максимальные и минимальные) ветровые давления
для стен Объекта.

Этаж	Сторона гостиницы	Зона	$P_{max},$ Па	$P_{min},$ Па	Этаж	Сторона гостиницы	Зона	$P_{max},$ Па	$P_{min},$ Па
1	торец	0	481	-1383	3	торец	0	398	-1228
1	внешняя	1	762	-866	3	внешняя	1	747	-1028
1	внешняя	2	889	-298	3	внешняя	2	916	-287
1	внешняя	3	1016	-357	3	внешняя	3	996	-367
1	внешняя	4	1004	-345	3	внешняя	4	991	-367
1	внешняя	5	709	-170	3	внешняя	5	734	-227
1	внешняя	6	559	-1230	3	внешняя	6	594	-999
1	внутренняя	1	402	-183	3	внутренняя	1	379	-544
1	внутренняя	2	375	-116	3	внутренняя	2	374	-158
1	внутренняя	3	411	-155	3	внутренняя	3	411	-133
1	внутренняя	4	376	-203	3	внутренняя	4	389	-270
1	внутренняя	5	398	-209	3	внутренняя	5	406	-256
1	внутренняя	6	452	-301	3	внутренняя	6	436	-410
1	торец	7	500	-1584	3	торец	7	420	-1297
2	торец	0	455	-2736	4	торец	0	446	-2366
2	внешняя	1	695	-1977	4	внешняя	1	794	-740
2	внешняя	2	844	-289	4	внешняя	2	958	-271
2	внешняя	3	962	-345	4	внешняя	3	1034	-498
2	внешняя	4	952	-328	4	внешняя	4	1028	-498
2	внешняя	5	723	-204	4	внешняя	5	773	-249
2	внешняя	6	582	-2374	4	внешняя	6	638	-753
2	внутренняя	1	383	-274	4	внутренняя	1	404	-255
2	внутренняя	2	372	-182	4	внутренняя	2	414	-160
2	внутренняя	3	408	-134	4	внутренняя	3	433	-144
2	внутренняя	4	377	-195	4	внутренняя	4	392	-343
2	внутренняя	5	389	-247	4	внутренняя	5	438	-296
2	внутренняя	6	430	-452	4	внутренняя	6	536	-573
2	торец	7	494	-2746	4	торец	7	507	-2372



а)



б)

Рис. а) Верхняя огибающая максимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие конструкции *Навеса*. Вид снизу. б) Нижняя огибающая минимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие конструкции *Навеса*. Вид снизу.

Ветровые нагрузки на ламели Гостиницы

Ветровые нагрузки на ламели Гостиницы рекомендуется определять согласно В.1.13 Приложения В СП 20.13330.2016 на действие ветровых нагрузок в двух перпендикулярных направлениях x и y . При этом в качестве аэродинамических коэффициентов $C_{x,\infty}$ и $C_{y,\infty}$ для ламелей на торцевых частях первого этажа Гостиницы следует брать максимальные аэродинамические коэффициенты $C_{x,max}$ и $C_{y,max}$, определенные по результатам математического (численного) моделирования. Для остальных ламелей значения аэродинамических коэффициентов $C_{x,\infty}$ и $C_{y,\infty}$ следует брать согласно Рисунку В.19 Приложения В СП 20.13330.2016.

Были посчитаны максимальные среди всех исследуемых направлений ветра значения аэродинамических коэффициентов C_x , C_y для ламелей.

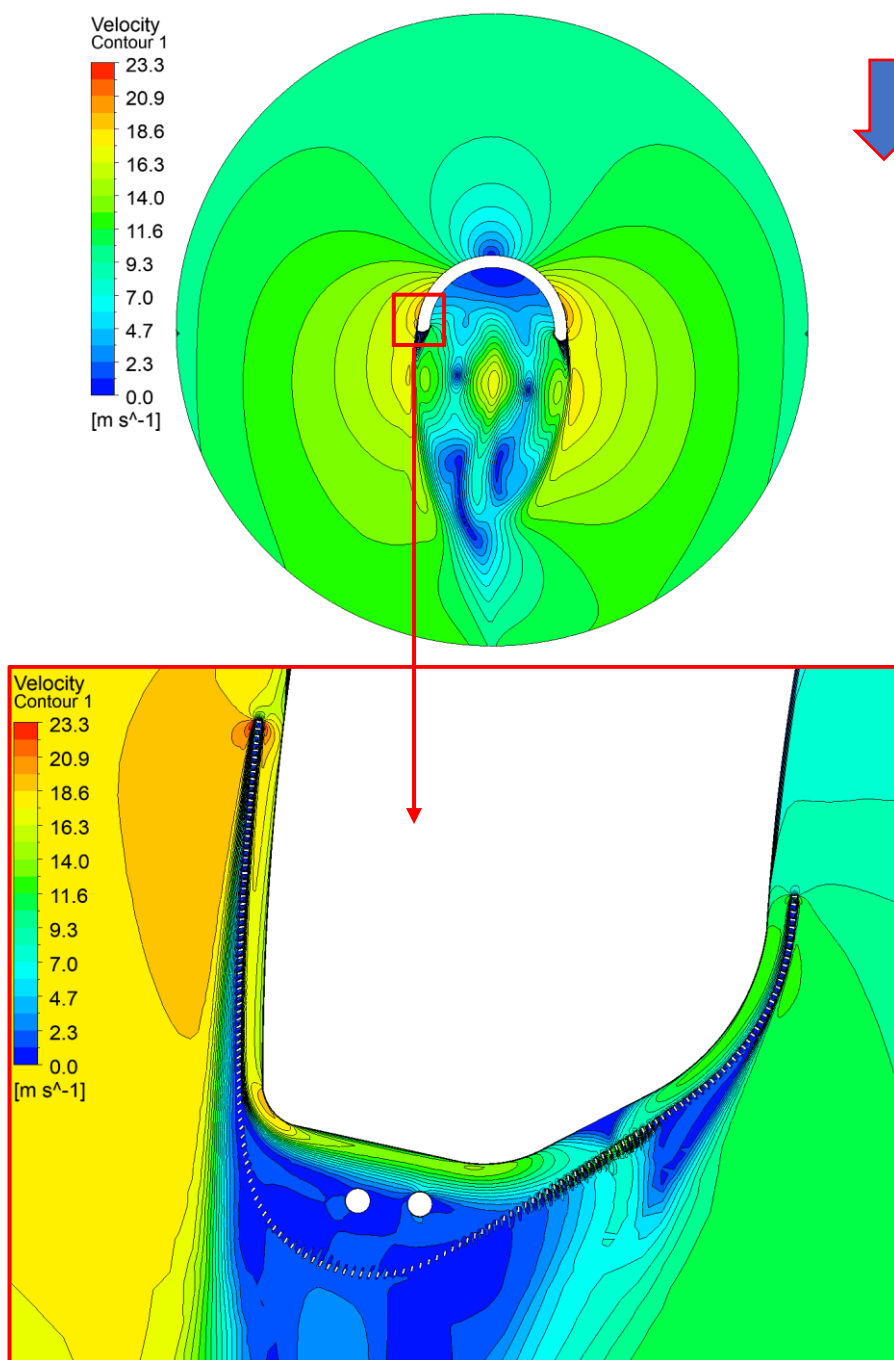


Рис. Изополя скоростей ветра для направления ветра 270°.

Выводы и рекомендации

По результатам выполненной работы «Расчетно-экспериментальные исследования ветровых воздействий для Объекта: «Всесезонный курорт «Манжерок», расположенному по адресу: Республика Алтай, Майминский район, район озера «Манжерское», с юго-восточной стороны» можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения исходных данных разработаны физическая и численная модели ветровой аэродинамики Объекта.
2. По результатам математического (численного) моделирования аэродинамики Объекта для 24-х направлений ветра определены:

Для Гостиницы:

Максимальные положительные пиковые ветровые давления, максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления, максимальное значение аэродинамического коэффициента $C_{x,max}$ для ламелей (вдоль длинной стороны) торцевых частей Гостиницы, максимальное значение аэродинамического коэффициента $C_{y,max}$ для ламелей (вдоль короткой стороны) торцевых частей Гостиницы достигает 5.56.

Также выявлено, что аэродинамические коэффициенты для большей части ламелей достаточно низкие и не превышают значения 1.0.

Пиковые ветровые давления на неучтенные в модели световые приямки вдоль внутренней стороны Гостиницы могут быть приняты такими же, как для находящихся над ними стен первого этажа.

Для Навеса:

Максимальная подъёмная сила на навес, максимальная прижимающая сила, максимальные положительные пиковые ветровые давления, максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления.

3. По результатам проведенного физического (экспериментального) моделирования аэродинамики исследуемого объекта были определены средние, максимальные и минимальные значения аэродинамических коэффициентов в 144 дренажных точках на поверхности гостиницы для 24-х направлений ветра. На основе полученных данных определены пиковые аэродинамические коэффициенты ветрового давления.

Не смотря на применение в физической модели турбулизирующих сеток, имитирующих в части проницаемости ламели на первом этаже, там все же проявились существенные отрицательные ветровые давления. Так, наибольшие отрицательные аэродинамические коэффициенты наблюдаются в точках на 1, 3 и 4 этаже торца.

Необходимо отметить, что в проведенных экспериментальных исследованиях не учитывался и не мог быть учтен по техническим причинам рельеф местности. Имея ввиду перепады уровня местности в сотни метров в радиусе 1-2 км от Объекта, *рекомендуется* при расчете несущих и фасадных конструкций использовать уточненные значения ветровых нагрузок, полученные в результате численного моделирования, проведенного с учетом всех особенностей окружающего рельефа местности.