

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.

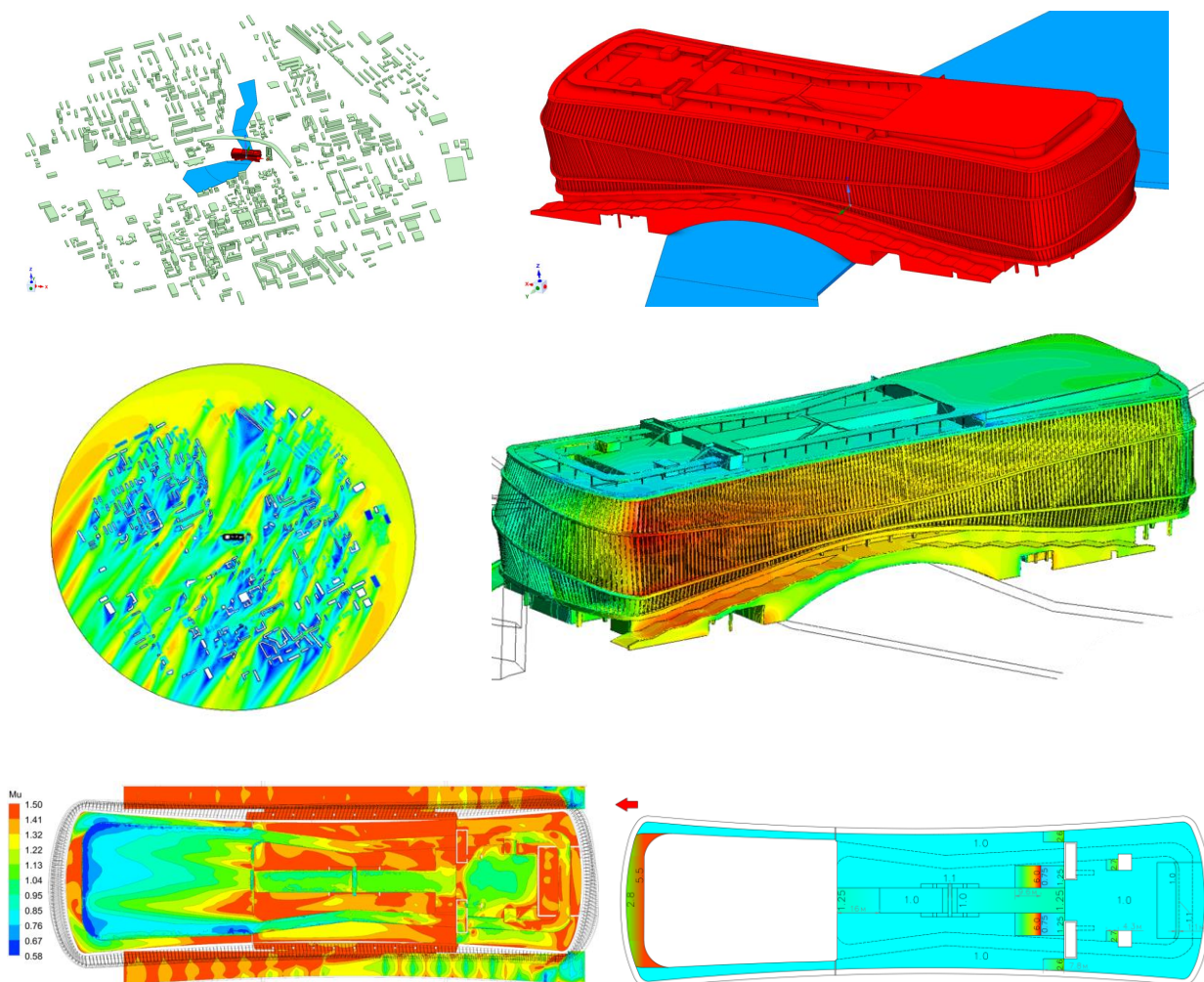
123098, Москва, пл. акад. Курчатова, 1, т. (499)706-8810, e-mail: stadyo@stadyo.ru, Web-site: www.stadyo.ru

№ЧЕЛ40/01-2022/111/ПИР-С/СТАДИО

Научно-технический отчет

по договору №ЧЕЛ40/01-2022/111/ПИР-С/СТАДИО от 17.01.2022 года

«Разработка рекомендаций по назначению расчетных ветровых и снеговых нагрузок на конструкции проектируемого объекта «Строительство общественно-делового центра на пересечении ул. Береговая и ул. Братьев Кашириных в Калининском районе г. Челябинска». Этап 3. «Общественно-деловой центра». Корректировка» на основе трехмерного численного решения задач аэродинамики»



1. Исходные данные. Постановка задач

Постановка целей и задач расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием ставятся следующие **цели работы**:

1. Разработка рекомендаций по назначению ветровых нагрузок на конструкции проектируемого Общественно-делового центра (Челябинск Калининский р-н, пересечение ул. Береговая и ул. Бр. Каширских) (на основе трехмерного численного решения задач аэродинамики).

2. Разработка рекомендаций по назначению снеговых нагрузок на конструкции проектируемого Общественно-делового центра (Челябинск Калининский р-н, пересечение ул. Береговая и ул. Бр. Каширских) (СП 20.13330.2016 с учетом опубликованных данных и аэродинамических исследований).

На основании поставленных целей работы решались 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 суммарных ветровых нагрузок на несущие конструкции сооружений, полученных в результате численного моделирования.

4. Определение расчетных средних и пульсационных составляющих ветровой нагрузки на несущие конструкции для исследуемых направлений ветра.

5. Определение распределения пиковых (минимального и максимального) ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции Объекта.

6. Определение распределения снеговых нагрузок на конструкции покрытия Объекта на основе синтеза численного моделирования и нормативных методик.

Площадка строительства, рельеф и застройка объекта

Земельный участок под строительство Общественно-делового центра (далее Объект) находится на пересечении ул. Береговая и ул. Бр. Кашириных в Калининском районе г. Челябинска. Объект, как мост, перекидывается через реку Миасс.

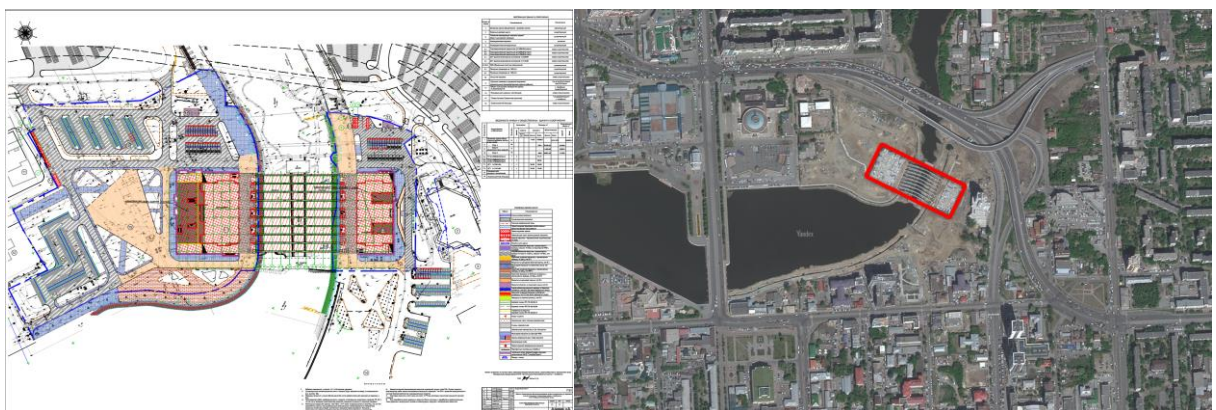


Рис. Схема планировочной организации земельного участка и карта местности возле площадки строительства

Согласно СП 20.13330.2016 площадка строительства находится в **II ветровом районе** (нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0.3 \text{ кПа}$) и **III снеговом районе** (нормативное значение веса снегового покрова $S_g = 1.5 \text{ кПа}$). При определении ветровых нагрузок следует принять тип местности **В**.

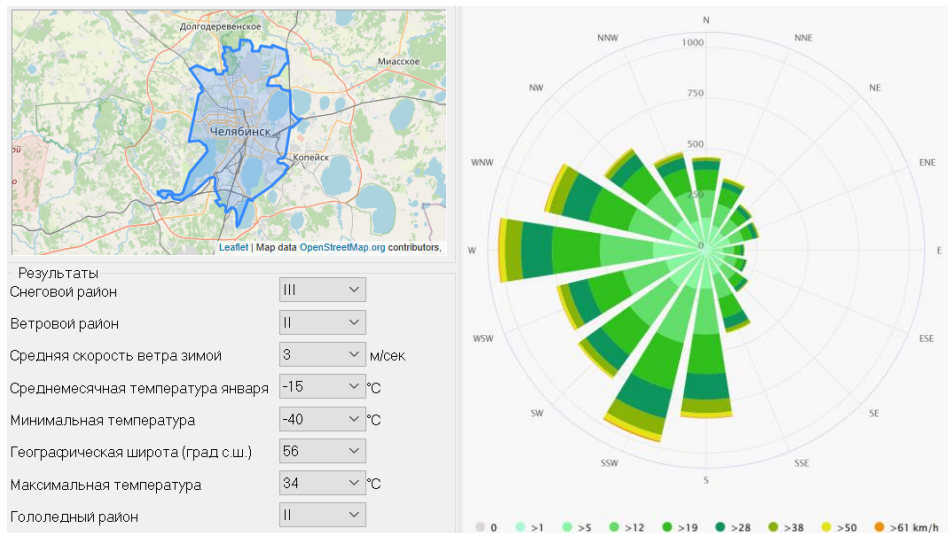


Рис. Климатические параметры местности и роза скоростей ветра для города Челябинск.

Краткая характеристика исследуемого объекта

Конструкция общественно-делового центра в г. Челябинск представляет собой железобетонную каркасно-стенную конструктивную систему с фермами в центральной зоне здания. Низ центральной зоны представляет собой пролетную конструкцию через реку Миасс. Здание разделено на 3 блока (левый, центральный и правый) в зонах деформационных швов.

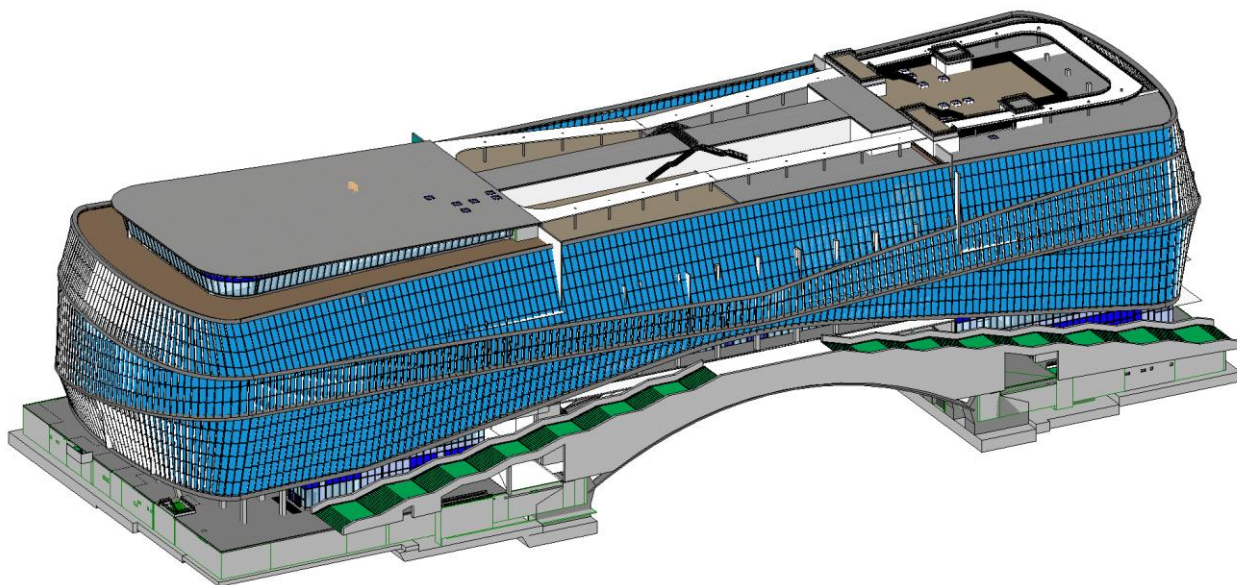


Рис. Архитектурная Revit модель Общественно-делового центра в г. Челябинск от Заказчика.

Методика численного моделирование снеговых нагрузок

Среди множества подходов по математическому (численному) моделированию процессов снеготранспорта и снеговых нагрузок, одной из наиболее известных и экспериментально подтверждённых моделей уноса-отложения снега является модель, предложенная Naaim et al. в 1998 г. Она разработана на основе ряда предшествующих работ начала 1990-х годов.

Для предварительной оценки распределения снега на покрытиях зданий и сооружений экспериментальные параметры в выражениях методики можно считать не зависящими от времени и пространственных координат. В таком случае распределение снегового покрова на покрытии будет зависеть только от потока обмена q_g . Если же не учитывать зависимость q_g от времени, то для предварительных оценок возможного распределения снега на покрытии можно использовать результаты стационарных аэродинамических расчетов.

Варьируя начальное количество снега $\bar{\mu}$, наблюдаемый период времени T и скорость ветра на входе расчетной модели (при разных скоростях ветра распределение q_g по поверхности покрытия будет различным), можно получать различные распределения снегового покрова μ по поверхности покрытия с целью поиска наиболее неблагоприятных. Наиболее неблагоприятные распределения снегового покрова определяются из соображений механической безопасности здания или сооружения.

В случае отсутствия экспериментальных данных для исследуемого объекта могут быть выбраны 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 может быть принята равной 5 г/м³, что соответствует умеренному снегопаду.

2. Разработка и верификация расчётных моделей

Для моделирования ветровых и снеговых нагрузок были созданы две расчетные модели для одной геометрической модели:

- модель 1 для определения ветровых нагрузок с учетом окружающей застройки;
- модель 2 для определения снеговых нагрузок с учетом окружающей застройки.

Геометрическая модель

Практическая подготовка расчетных моделей начинается с создания геометрической объемной модели Объекта и рельефа окружающей местности. Геометрия зданий и сооружений Объекта выполнена согласно исходным данным. Рельеф учитывался упрощенно на основе генерального плана. Объемные геометрические модели создавались в модуле ANSYS SpaceClaim.

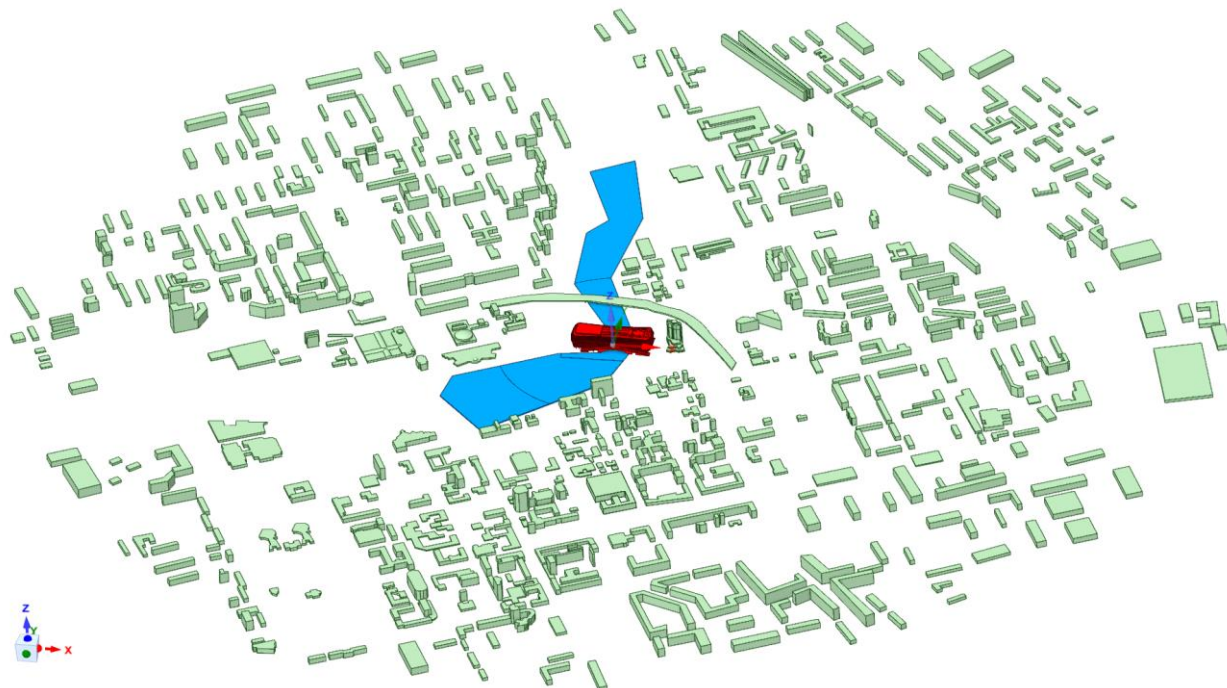


Рис. Геометрическая модель. Общий вид
Красным выделен исследуемый объект, зеленым – неисследуемая окружающая застройка,
синим – река Миасс.

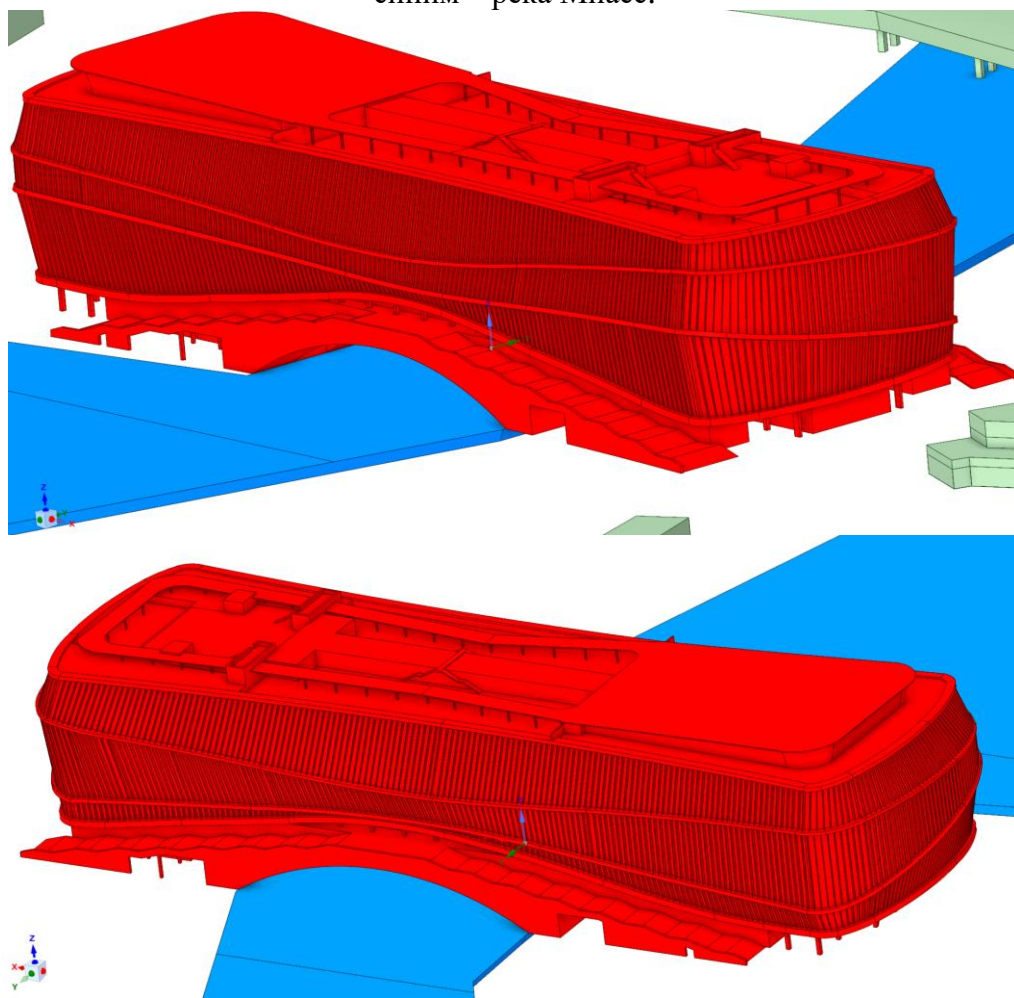


Рис. Геометрическая модель. Виды вблизи *Общественно-делового центра*.

Конечно-объемные сетки

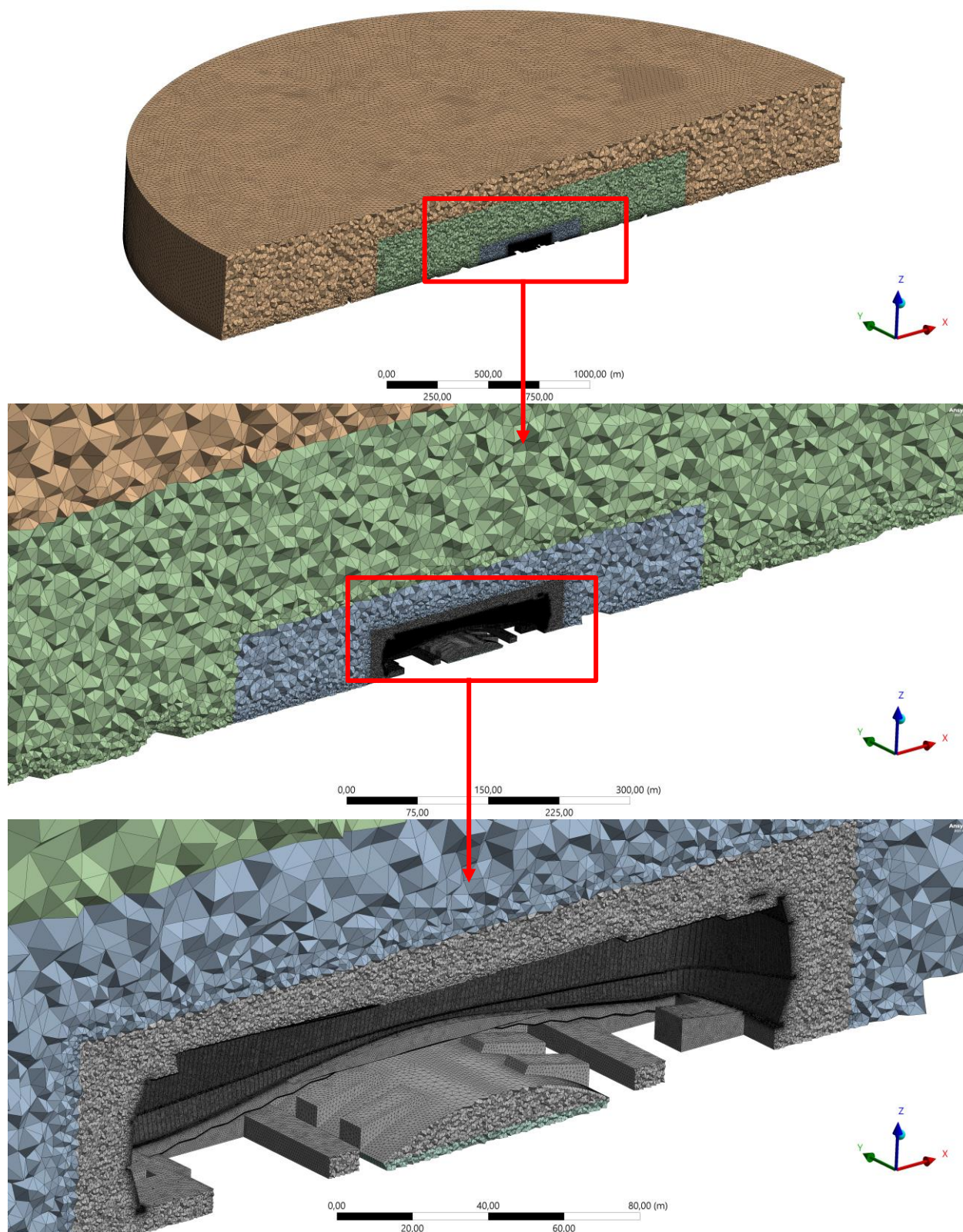


Рис. Модель 2 – для снеговых нагрузок. Разрез конечно-объемной сетки

Граничные условия

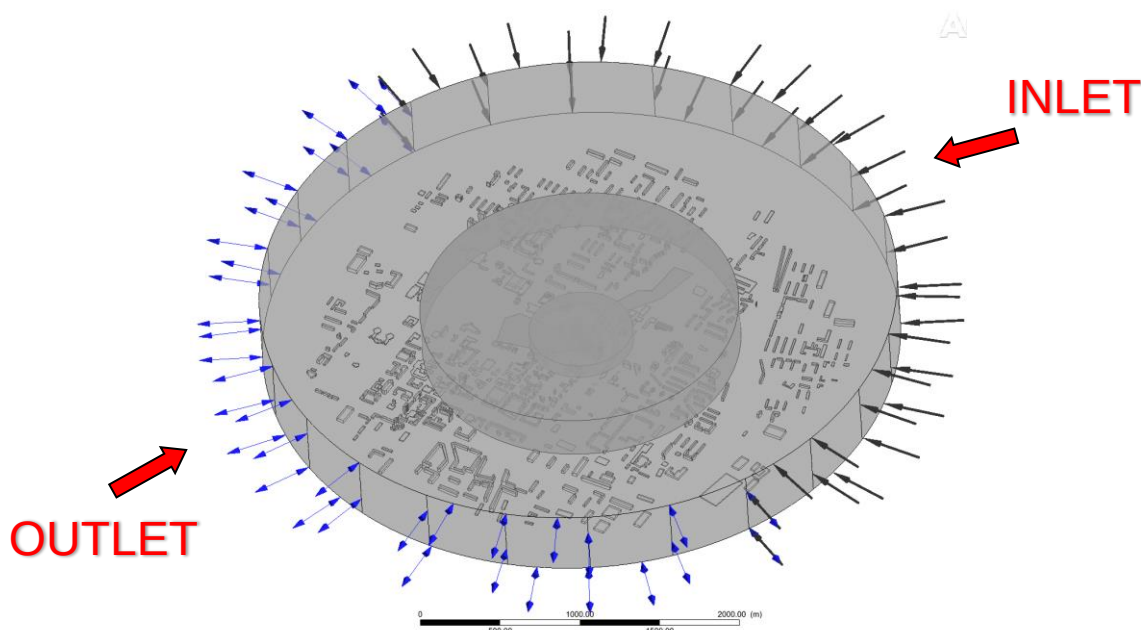


Рис. Расчетная область (ANSYS CFX) с обозначенными граничными условиями. Угол атаки 0°

3. Определение расчетных ветровых нагрузок

Форма представления и номенклатура результатов расчета ветровых нагрузок

В данном разделе приведены основные результаты выполненных расчетных исследований по определению ветровых нагрузок на несущие и ограждающие (фасадные) конструкции Объекта. Многовариантные расчетные исследования проводились с учетом локального рельефа местности и окружающей застройки.

Система координат сооружения и расчетные направления ветрового потока показаны на рис.

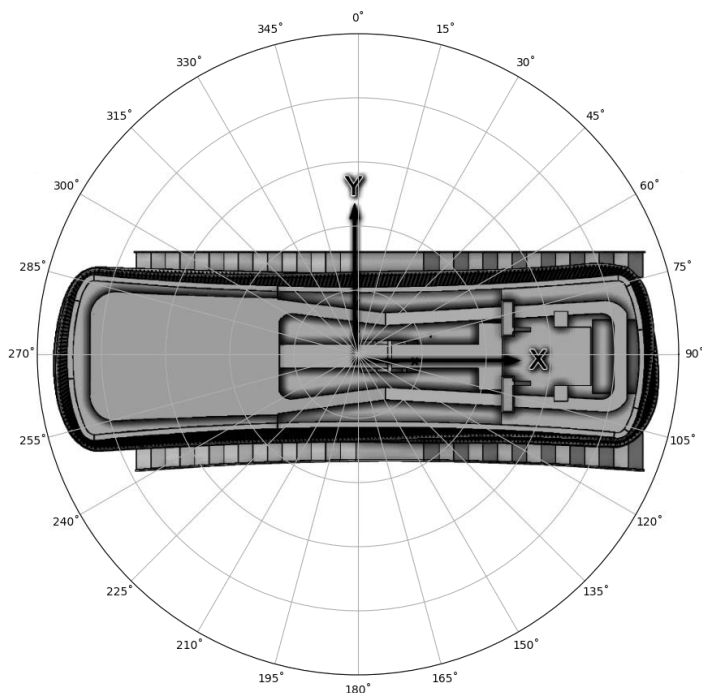


Рис. Система координат и расчетные направления ветрового потока.

Начало координат находится приблизительно в геометрическом центре плана Объекта на отметке 0 м). Ось X ориентирована с З на В со сдвигом на 24.5° против часовой стрелки, ось Y – с Ю на С со сдвигом на 24.5° против часовой стрелки, ось Z – вверх. Угол атаки ветра (Угол, $^\circ$) отсчитывается от Севера по часовой стрелке.

Схемы нумерации поверхностей сбора аэродинамических нагрузок (далее компоненты) приведены на рис. Компоненты представляют собой наборы поверхностей, по которым производится интегрирование ветровых давлений и кинетической энергии турбулентности.

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 разделе отчета о НИР.

Для результатов в табличном виде для суммарных расчетных ветровых нагрузок (F_X , F_Y , F_Z), а также давлений (P_X , P_Y , P_Z , P_{puls} , $P_{X, sum}$, $P_{Y, sum}$, $P_{Z, sum}$) и покомпонентных сил (Φ_X , Φ_Y , $\Phi_X, puls$, $\Phi_Y, puls$, $\Phi_{X, sum}$, $\Phi_{Y, sum}$) соответствует правило осевых знаков, согласно которому положительное значение ветровых нагрузок соответствует направлению, сонаправленное соответствующей координатной оси, а отрицательному – противоположно направленное соответствующей оси.

Для результатов (P , P_{puls} , P_{sum}) для компонент остекления “glass” соответствует аэродинамическое правило знаков (положительному значению ветровых нагрузок соответствует напор, а отрицательному – отсос).

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

Полученные результаты представлены в следующем виде:

Ветровые нагрузки на несущие конструкции:

- средние суммарные ветровые нагрузки на несущие конструкции Общественно-делового центра в упомянутых выше осях (F_X , F_Y , тс), векторная сумма нагрузки (F_R , тс) и суммарная вертикальная сила (F_Z , тс) для 24-х направлений (шаг по углу 15°) с учетом окружающей застройки представлены в табличном виде табл. и в форме графиков;

- среднее (P , Па), среднее по оси X (P_X), среднее по оси Y (P_Y), среднее по оси Z (P_Z), пульсационное (P_{puls} , Па), пульсационное по оси X ($P_{X, puls}$, Па), пульсационное по оси Y ($P_{Y, puls}$, Па), суммарное ветровое (P_{sum} , Па), суммарное ветровое по оси X ($P_{X, sum}$, Па), суммарное ветровое по оси Y ($P_{Y, sum}$, Па), суммарное ветровое по оси Z ($P_{Z, sum}$, Па) составляющие давления, а также покомпонентные силы средние по оси X (Φ_X , Н), средние по оси Y (Φ_Y , Н), пульсационные по оси X ($\Phi_{X, puls}$), пульсационные по оси Y ($\Phi_{Y, puls}$), суммарные по оси X ($\Phi_{X, sum}$), суммарные по оси Y ($\Phi_{Y, sum}$) для соответствующих компонент (поверхность сбора аэродинамической нагрузки) в табличном виде для наиболее неблагоприятных ветровых направлений.

Для конструкций пандусов кровли (компоненты “Pandus”) рекомендуется отдельный прочностной расчет, где в качестве ветровых нагрузок принимаются минимальные (отрицательные) ветровые нагрузки, определенные для каждого из пандусов по отдельности. Для компонент “Pandus” даны осевые значения наименьших ветровых давлений на поверхности пандусов, являющиеся факторами “догружения”.

Для горизонтальных конструкций кровли (включая компоненту “Т6”) результаты ветрового нагружения не выдаются в силу их “разгружающего” характера нагружения.

5.1.2 Ветровые нагрузки на ограждающие (фасадные) конструкции:

- огибающие максимального и минимального значений давления на ограждающие (фасадные) конструкции Общественно-делового центра для всех направлений ветра;

- изополя верхней огибающей максимальных значений ветрового давления, нижней огибающей минимальных значений ветрового давления и соответствующих углов атаки ветра, при которых реализуются эти огибающие, представлены в графическом виде

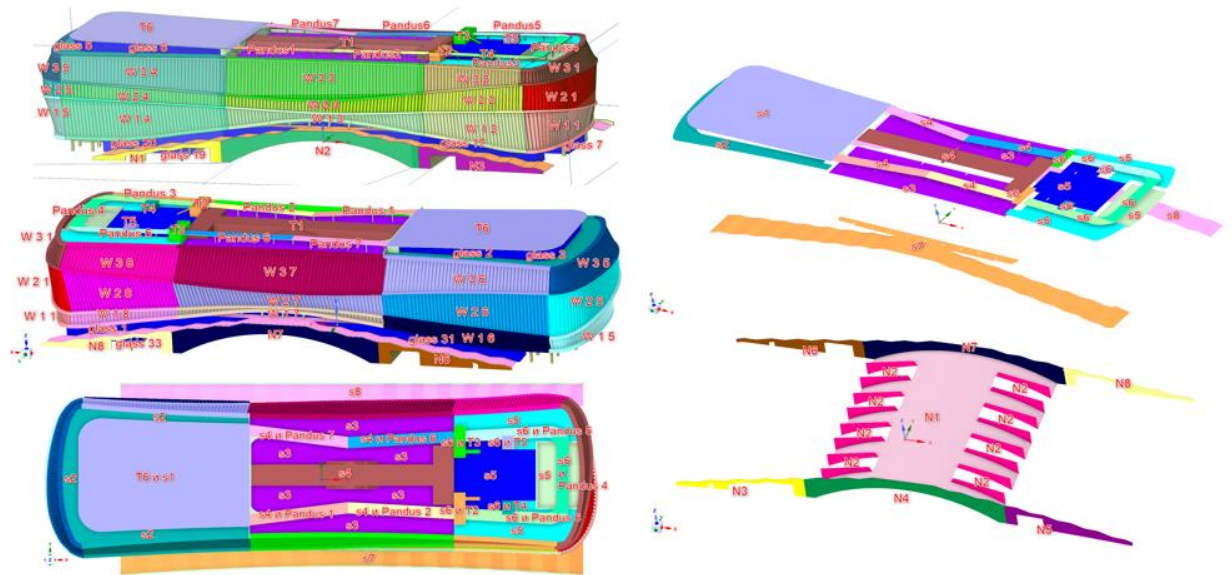


Рис. Частичная схема наименования компонент

Ветровые нагрузки на несущие конструкции

В пункте представлены:

– средние суммарные ветровые нагрузки на несущие конструкции Общественно-делового центра в упомянутых выше осях (F_x , F_y , тс), векторная сумма нагрузки (F_R , тс) и суммарная вертикальная сила (F_z , тс) для 24-х направлений (шаг по углу 15°) с учетом окружающей застройки представлены в табличном виде табл. и в форме графиков.

– среднее (P , Па), среднее по оси X (P_x), среднее по оси Y (P_y), среднее по оси Z (P_z), пульсационное (P_{puls} , Па), пульсационное по оси X ($P_{x,puls}$, Па), пульсационное по оси Y ($P_{y,puls}$, Па), суммарное ветровое (P_{sum} , Па), суммарное ветровое по оси X ($P_{x,sum}$, Па), суммарное ветровое по оси Y ($P_{y,sum}$, Па), суммарное ветровое по оси Z ($P_{z,sum}$, Па) составляющие давления, а также покомпонентные силы средние по оси X (Φ_x , Н), средние по оси Y (Φ_y , Н), пульсационные по оси X ($\Phi_{x,puls}$), пульсационные по оси Y ($\Phi_{y,puls}$), суммарные по оси X ($\Phi_{x,sum}$), суммарные по оси Y ($\Phi_{y,sum}$) для соответствующих компонент (поверхность сбора аэродинамической нагрузки) в табличном виде для наиболее неблагоприятных ветровых направлений.

Результаты представлены для характерных углов и наиболее опасных с точки зрения несущих конструкций направлений ветра (с реализацией максимального значения векторной суммы нагрузки и вертикальной силы).

Таблица Суммарные расчетные ветровые нагрузки (F_X , F_Y , F_Z) и векторная сумма нагрузки (F_R) в зависимости от направления ветра.

Угол, °	F_X , тс	F_Y , тс	F_R , тс	F_z , тс
0	5.8	-267.3	267.4	134.9
15	6.9	-284.3	284.3	50.5
30	-0.7	-323.4	323.4	164.3
45	-16.4	-176.9	177.7	104.0
60	-45.0	-151.2	157.8	67.6
75	-44.9	-80.0	91.7	25.2
90	-52.1	19.4	55.6	53.8
105	-70.6	104.4	126.0	62.8
120	-56.1	143.4	154.0	69.5
135	-53.5	165.1	173.5	117.4
150	-42.7	152.5	158.4	85.1
165	-23.7	165.4	167.1	79.1
180	15.7	185.4	186.1	88.2
195	18.7	191.7	192.6	90.5
210	72.2	236.9	247.7	161.7
225	107.9	194.6	222.5	170.8
240	93.2	192.2	213.6	144.9
255	107.6	138.0	175.0	150.2
270	53.6	28.0	60.5	39.1
285	68.1	-99.6	120.7	55.0
300	64.3	-122.4	138.3	74.3
315	35.6	-177.0	180.6	104.6
330	30.6	-230.1	232.1	90.4
345	8.7	-358.5	358.6	9.5

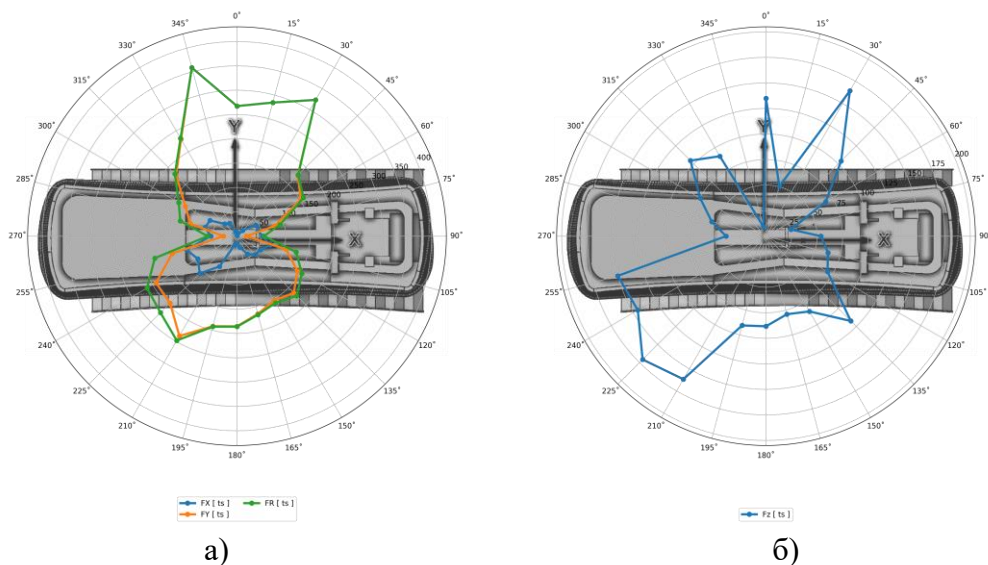


Рис. Суммарные расчетные ветровые нагрузки (F_X , F_Y , F_Z) и векторная сумма нагрузки (F_R) в зависимости от направления ветра на несущие конструкции *Общественно-делового центра*, тс (значения приведены по модулю): а) Суммарные расчетные ветровые нагрузки (F_X , F_Y) и векторная сумма нагрузки (F_R) б) Суммарная расчетные ветровая нагрузка (F_Z)

Таблица Составляющие ветрового давления (P_X – средняя по оси X , P_Y – средняя по оси Y , P_{puls} – пульсационная, $P_{X, sum}$ – суммарная по оси X , $P_{Y, sum}$ – суммарная по оси Y , Па) для компонент фасадов “W” при угле атаки ветра 30° .

Комп.	P_X	P_Y	P_{puls}	$P_{X, sum}$	$P_{Y, sum}$
W1 1	195	-44	270	464	-313
W1 2	-6	-188	56	-62	-244
W1 3	-1	-181	85	-85	-265
W1 4	6	-127	125	131	-252
W1 5	-87	-13	94	-180	-106
W1 6	-6	-78	119	-125	-197
W1 7	1	-252	212	213	-464
W1 8	19	-325	248	268	-574
W2 1	116	-86	269	384	-355
W2 2	-10	-186	47	-57	-233
W2 3	-0.1	-209	76	-76	-285
W2 4	9	-148	134	143	-282
W2 5	-101	17	103	-205	120
W2 6	-13	-97	151	-164	-249
W2 7	-6	-252	217	-223	-468
W2 8	2	-395	282	284	-676
W3 1	102	-80	437	539	-517
W3 2	-11	-175	98	-109	-273
W3 3	3	-211	183	186	-394
W3 4	11	-132	178	190	-310
W3 5	-100	13	147	-247	160
W3 6	-17	-73	210	-227	-282
W3 7	-8	-209	313	-320	-522
W3 8	7	-319	418	425	-738

Таблица Покомпонентные ветровые нагрузки (Φ_X – средняя по оси X , Φ_Y – средняя по оси Y , $\Phi_{X, puls}$ – пульсационная по оси X , $\Phi_{Y, puls}$ – пульсационная по оси Y , $\Phi_{X, sum}$ – суммарная по оси X , $\Phi_{Y, sum}$ – суммарная по оси Y , Н) для компонент верха кровли “T” при угле атаки ветра 30° .

Комп.	Φ_X	Φ_Y	$\Phi_{X, puls}$	$\Phi_{Y, puls}$	$\Phi_{X, sum}$	$\Phi_{Y, sum}$
T1	-6764	3111	1144	-9533	-7908	-6422
T2	-2425	20	-2989	-329	564	-309
T3	8673	3286	-4194	-3838	4479	-552
T4	-2276	-2241	-1348	-2662	-928	420
T5	1703	1499	-30	2015	1673	3514

Таблица Составляющие ветрового давления (P_X – средняя по оси X , P_Y – средняя по оси Y , P_Z – средняя по оси Z , P_{puls} – пульсационная, $P_{X, sum}$ – суммарная по оси X , $P_{Y, sum}$ – суммарная по оси Y , $P_{Z, sum}$ – суммарная по оси Z , Па) для компонент низа “N” при угле атаки ветра 30° .

Комп.	P_Z	P_{puls}	$P_{Z, sum}$		
N1	-161	157	-317		
Комп.	P_X	P_Y	P_{puls}	$P_{X, sum}$	$P_{Y, sum}$
N2	0	-21	147	147	-168
N3	9	-190	166	175	-356
N4	1	-221	147	148	-368
N5	-9	-158	84	-93	-242
N6	-1	-84	167	-168	-251

Пиковые ветровые нагрузки на ограждающие конструкции

На рис. и в табл. показаны огибающие максимального и минимального значений ветрового давления на ограждающие (фасадные) конструкции *Общественно-делового центра* с учетом окружающей застройки в зависимости от направления ветра. При каждом направлении ветра выбирается максимальное и минимальное значение ветрового давления среди его значений в узлах расчетной сетки по всей поверхности *Общественно-делового центра*.

В табл. цветом выделены пиковые (минимальные и максимальные) значения:

- оранжевым цветом – наибольшее положительное ветровое давление на ограждающие конструкции;
- голубым цветом – наибольшая отрицательная ветровая нагрузка на ограждающие конструкции.

На рис. для расчётных случаев с учётом окружающей застройки в графическом виде представлены:

- изополя верхней огибающей максимальных значений ветрового давления (пиковые положительные давления);
- изополя нижней огибающей минимальных значений ветрового давления (пиковые отрицательные давления);
- изополя соответствующих углов атаки ветра, при которых реализуются эти огибающие.

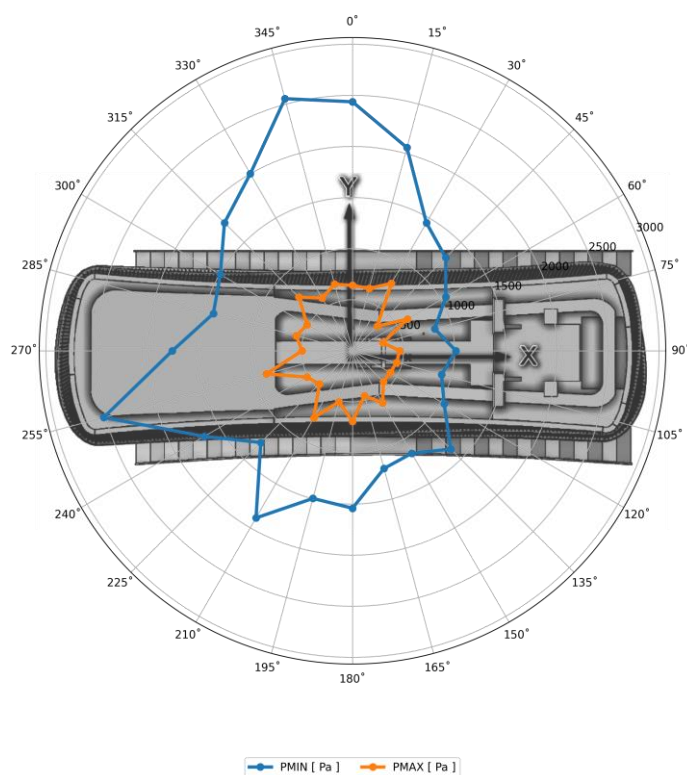
Для уточненного анализа наиболее уязвимых конструкций к пиковым значениям ветрового давления были приведены дополнительные результаты по остеклению фасадов (компонент “W” и “glass”). На рис. для компонент остекления “W” и “glass” в графическом виде представлены:

- изополя верхней огибающей максимальных значений ветрового давления (пиковые положительные давления);
- изополя нижней огибающей минимальных значений ветрового давления (пиковые отрицательные давления);
- изополя соответствующих углов атаки ветра, при которых реализуются эти огибающие.

В табл. показаны огибающие максимального и минимального значений ветрового давления на ограждающие (фасадные) конструкции остекления для компонент “W” и “glass”. Цветом выделены пиковые (минимальные и максимальные) значения.

Таблица. Огибающие минимального и максимального значений ветрового давления на ограждающие (фасадные) конструкции *Общественно-делового центра*

Угол, °	P_{MIN} , Па	P_{MAX} , Па
0	-2437	641
15	-2058	632
30	-1446	763
45	-1290	342
60	-1054	620
75	-833	308
90	-1012	462
105	-902	446
120	-1036	427
135	-1360	428
150	-1159	588
165	-1192	454
180	-1540	691
195	-1496	516
210	-1888	758
225	-1269	458
240	-1674	514
255	-2521	873
270	-1763	494
285	-1409	570
300	-1494	513
315	-1772	743
330	-2000	597
345	-2554	675

Рис. Огибающие максимального (оранжевая линия) и минимального (синяя линия) пиковых значений давления на ограждающие (фасадные) конструкции *Общественно-делового центра* в зависимости от направления ветра, Па (значения приведены по модулю)

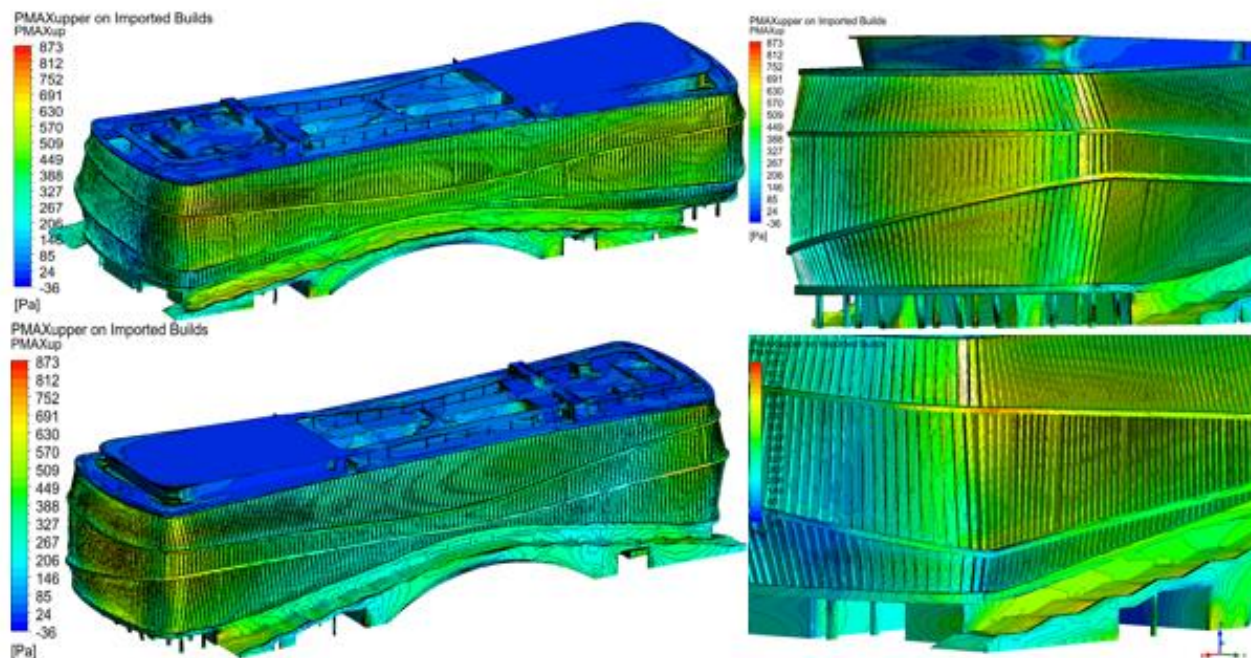


Рис. Верхняя огибающая максимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие (фасадные) конструкции.

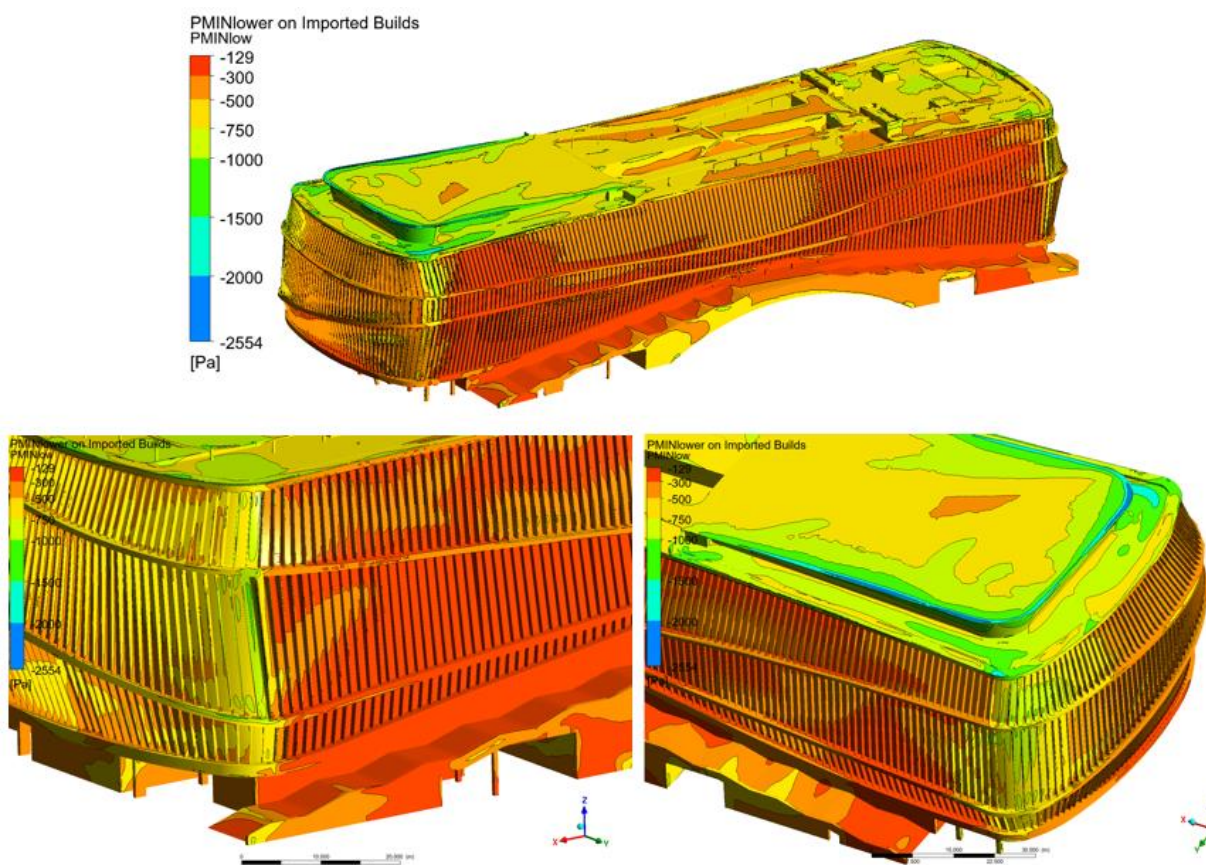


Рис. Нижняя огибающая минимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие (фасадные) конструкции.

Дополнительно приведем детализированные картины пиковых значений ветрового давления только для фасадных систем (компонент “W” и “glass”) *Общественно-делового центра*.

Таблица Огибающие минимального и максимального значений ветрового давления на ограждающие (фасадные) конструкции компонент “W” *Общественно-делового центра*

Угол, °	P_{MIN} , Па	P_{MAX} , Па
0	-1164	641
15	-2058	632
30	-1235	763
45	-867	336
60	-893	620
75	-744	285
90	-883	462
105	-896	446
120	-913	427
135	-1330	428
150	-1132	588
165	-1192	454
180	-973	691
195	-969	516
210	-1374	729
225	-1269	458
240	-1067	454
255	-1515	727
270	-805	494
285	-691	476
300	-679	493
315	-921	612
330	-914	597
345	-1168	675

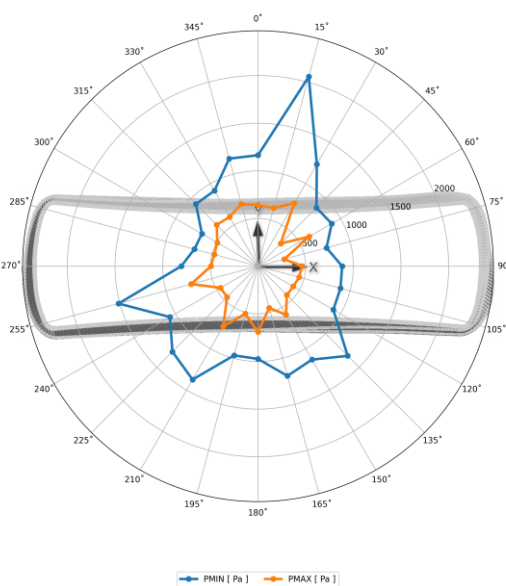


Рис. Огибающие максимального (оранжевая линия) и минимального (синяя линия) пиковых значений давления на ограждающие (фасадные) конструкции компонент “W” *Общественно-делового центра* в зависимости от направления ветра, Па (значения приведены по модулю)

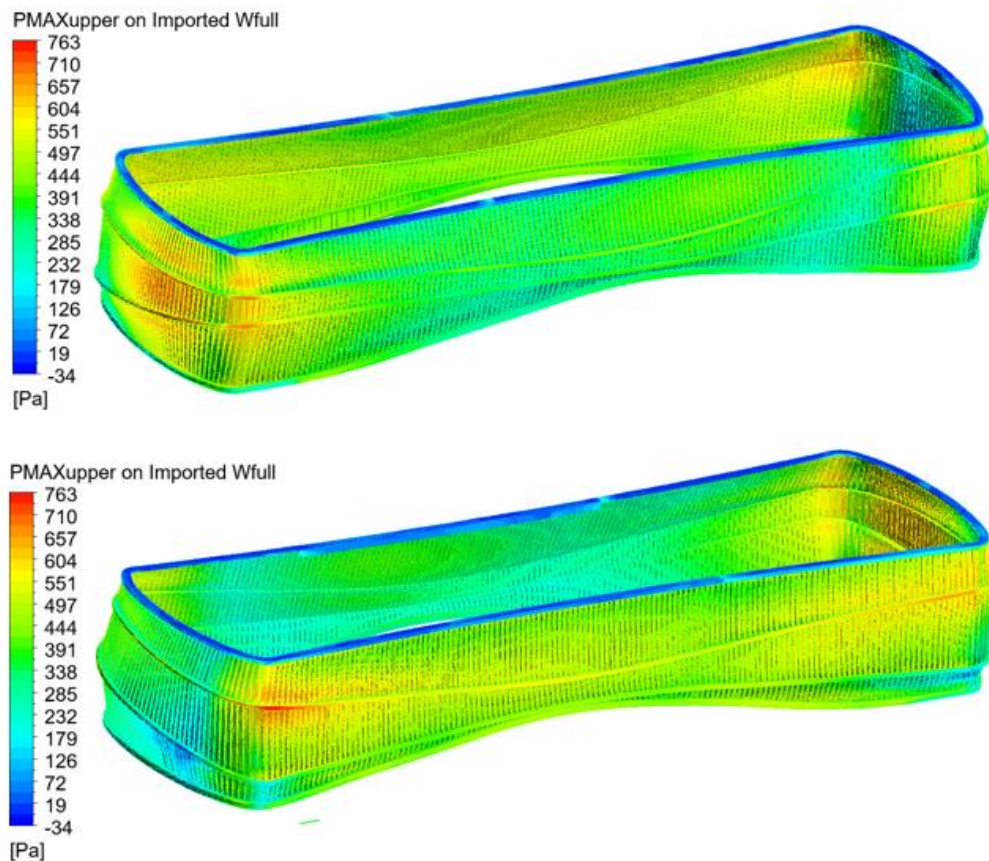


Рис. Верхняя огибающая максимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие (фасадные) конструкции компонент “W”.

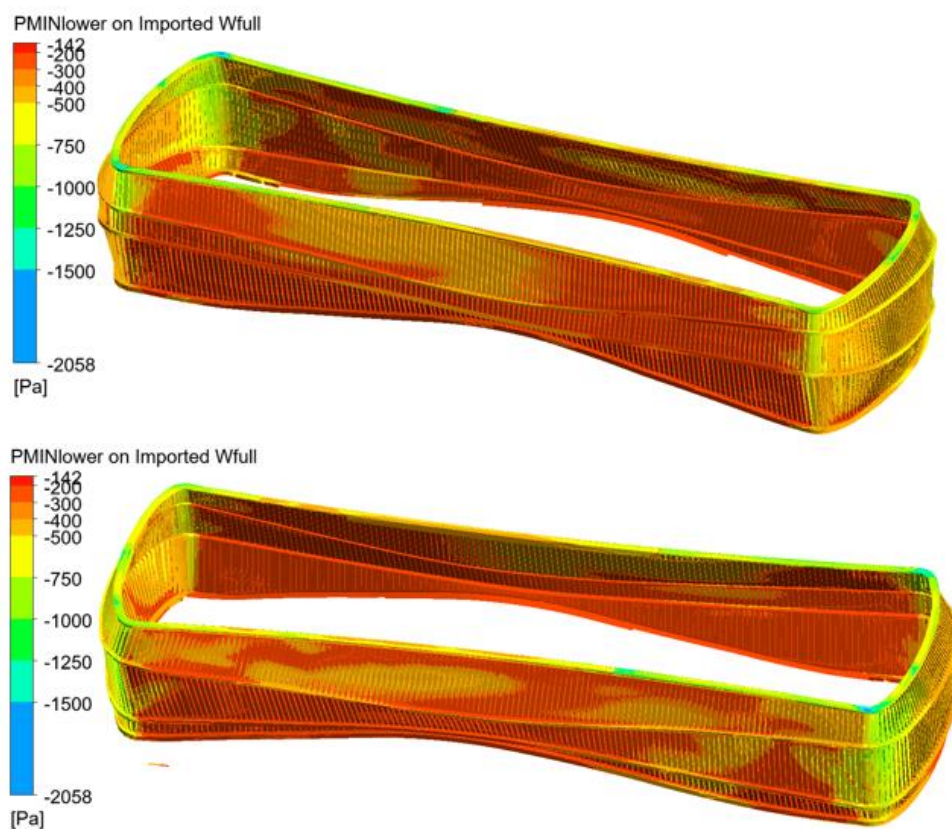


Рис. Нижняя огибающая максимальных значений ветрового давления (Па) на ограждающие (фасадные) конструкции компонент “W”.

6. Определение снеговых нагрузок

Для определения снеговых нагрузок используются данные СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» (с учетом изменений № 1, 2, 3) и результаты математического (численного) моделирования снеговых нагрузок, представленные в отчете о НИР.

Методика математического (численного) моделирования снеговых нагрузок также представлена в отчете.

Расчетные значения снеговых нагрузок

Нормативное значение снеговой нагрузки S_0 , действующей на горизонтальную проекцию кровли *Объекта*, следует определять по формуле:

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g$$

где:

$S_g = 1.2$ кПа в соответствии с Приложением К к СП;

$c_e = 1.0$ в соответствии с п. 10.6 СП [2];

$c_t = 1.0$ в соответствии с п. 10.10 СП [2];

μ – коэффициент формы, определенный по нормативной методике СП 20.13330.2016 и по результатам математического (численного) моделирования снеговых нагрузок.

Для *верхних покрытий Объекта* необходимо рассмотреть *пять вариантов нагружения* (рис.) с коэффициентом формы, определяемым в соответствии со схемами Б.1, Б.8 Приложения Б к СП и по результатам моделирования, представленным в отчете о НИР.

Для *Лестниц* необходимо рассмотреть *два варианта нагружения* с коэффициентом формы, определяемым в соответствии со схемой Б.1 Приложения Б к СП по результатам моделирования, представленным в отчете о НИР.

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.

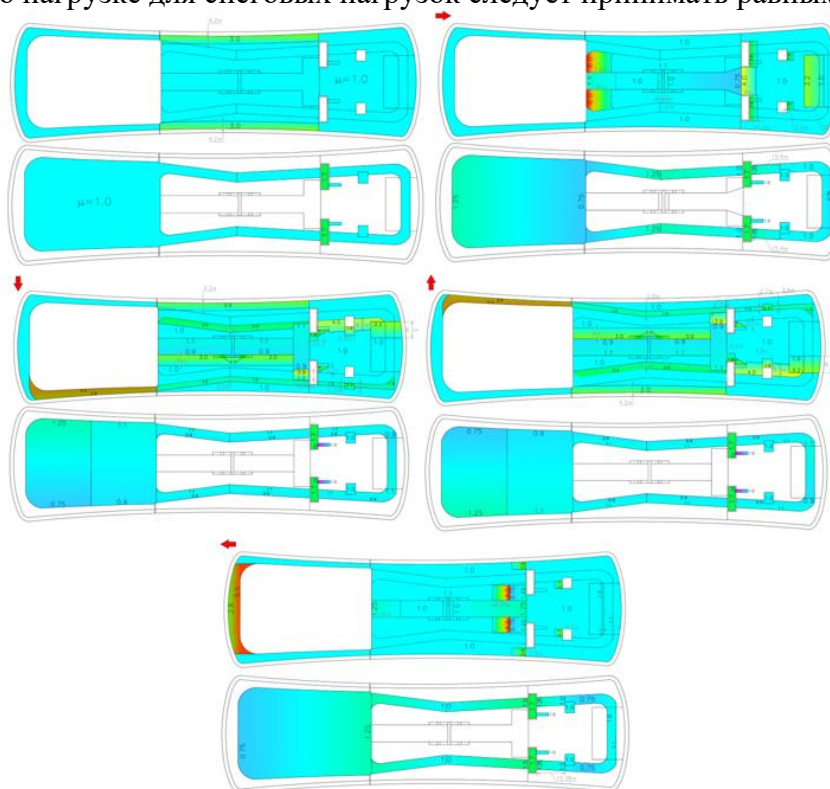


Рис. Внешний вид схем вариантов расчётного коэффициента формы μ для верхних покрытий Объекта

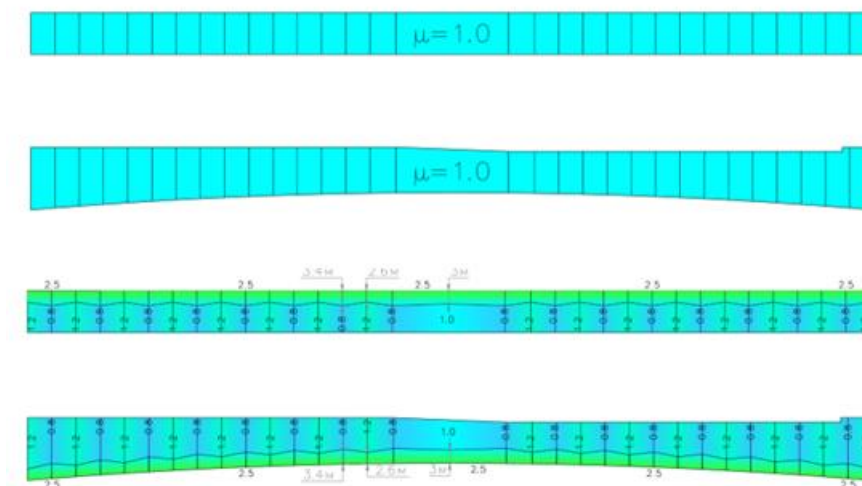


Рис. Схемы расчётного коэффициента формы μ для Лестниц

Смоделированные коэффициенты формы для расчетных направлений ветра

С применением численной методики, варьируя скорость ветра, было выполнено по три аэродинамических расчёта для восьми направлений ветра для Объекта (0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315°) с учётом окружающей застройки. В соответствии с табл. 6.1 СП 131.13330.2020 *Строительная климатология*, средняя скорость ветра на высоте 10 м за зимний период для г. Челябинск составляет 2.3 м/с (V_{10}). Расчёты проводились для следующих скоростей:

Табл. 7.1 Параметры методики для исследуемых расчетных случаев

Номер расчётного случая	Скорость на высоте 10 м, м/с	μ_0
1	1.0	0.15
2	3.0	0.4
3	6.0	0.6

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 12 ч, а время уноса осадков T_- – 240 ч.

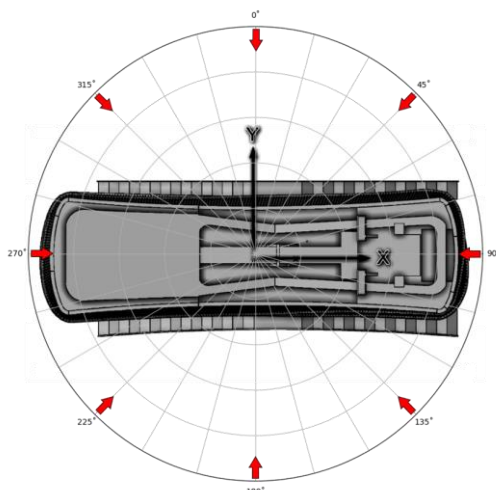


Рис. 6.1 Расчетные направления ветрового потока покрытий Объекта.

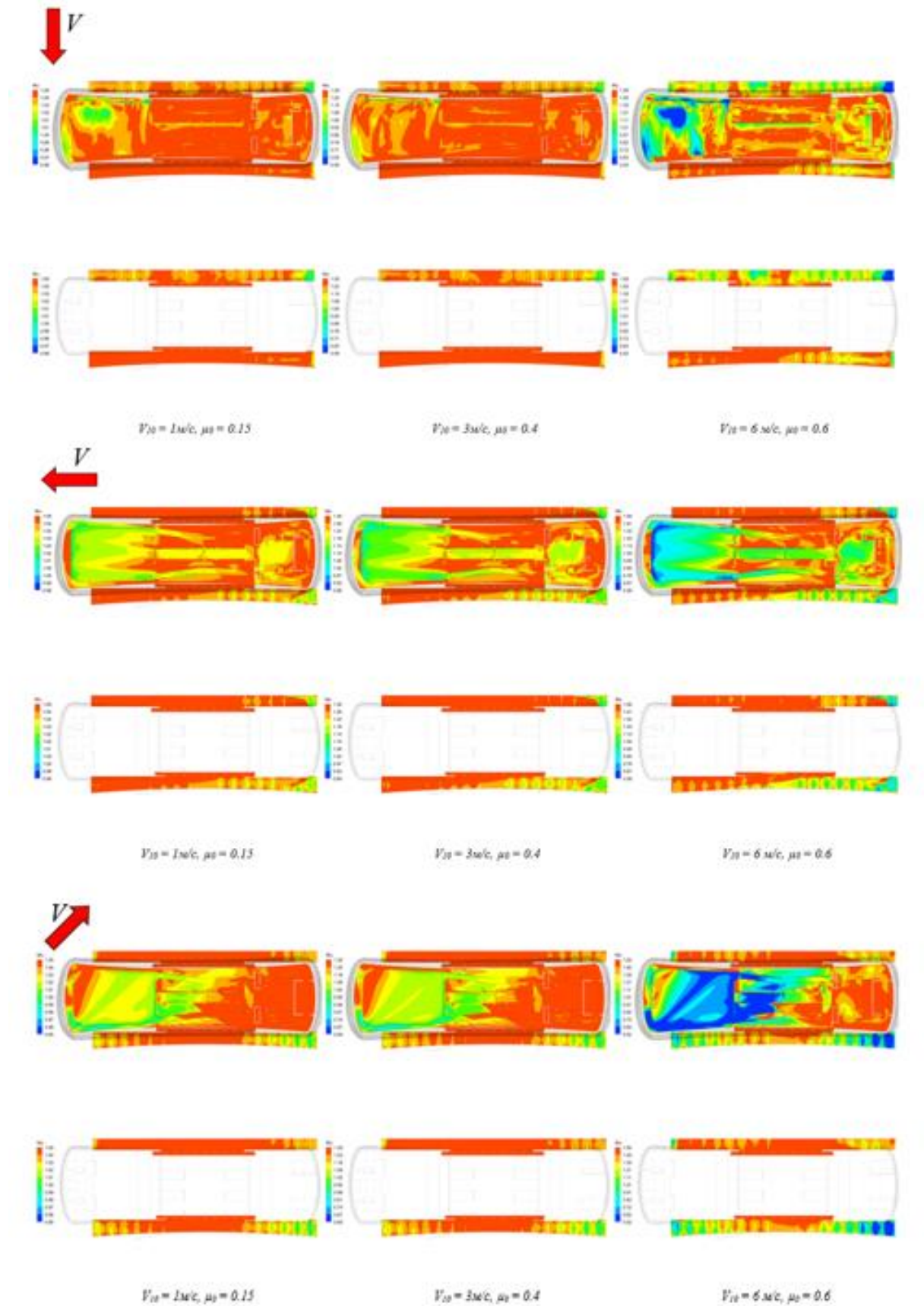


Рис. 6.2 Смоделированный коэффициент формы μ для направления ветра 0° , 90° , 225°

Выводы и рекомендации

По результатам выполненного комплексного аэродинамического исследования по проектируемому Объекту «Общественно-деловой центр» (г. Челябинск) на основе численного решения трехмерных задач аэродинамики, можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения исходных данных разработаны и верифицированы расчетные трехмерные численные модели ветровой аэродинамики Объекта с учетом окружающей застройки.

2. С использованием современных численных методов гидрогазодинамики, реализованных в программном комплексе ANSYS CFD (CFX), и разработанной численной методики определения ветровых нагрузок и воздействий на несущие и фасадные конструкции проведены многовариантные расчетные исследования ветровой аэродинамики Объекта для 24 расчетных случаев (по 24 направления ветра с шагом 15° с учетом окружающей застройки) и моделирование снеговых нагрузок для 24 расчетных случаев (6 направлений ветра и 3 различных скорости ветра).

3. Определены расчетные средние и пульсационные составляющие ветрового давления на несущие конструкции Объекта:

а) максимальное значение векторной суммы нагрузки (F_R) на несущие конструкции *всего* *Общественно-делового центра* в расчетном случае с учётом окружающей застройки реализуется при угле атаки ветра 345° и составляет **358.6 тс**;

б) максимальное значение суммарной вертикальной силы (F_Z) на несущие конструкции *всего* *Общественно-делового центра* реализуется при угле атаки ветра 30° и составляет **164.3 тс**;

В прочностных расчетах рекомендуется рассмотреть 4 наиболее опасных и характерных направления ветра (30° , 135° , 210° и 345°). Соответствующие значения ветровых нагрузок представлены в разделе 5.2 настоящего отчета.

Для конструкций пандусов кровли (компоненты “Pandus”) рекомендуется отдельный прочностной расчет, где в качестве ветровых нагрузок принимаются минимальные (отрицательные) ветровые нагрузки, определенные для каждого из пандусов по отдельности (табл. 5.18) для наиболее опасных направлений ветра.

4. Определены пиковые ветровые давления на ограждающие конструкции Объекта с учетом окружающей застройки:

– пиковое *минимальное (отсос)* ветровое давление на ограждающие (фасадные) конструкции реализуется при угле атаки ветра 345° и составляет **-2554 Па** в локальных зонах на кровле. Не многим большим значением также реализуется при направлении ветра 255° и составляет **-2521 Па**. Для большей части остальных углов атаки минимальное ветровое давление не превышает **-2000 Па**;

– пиковое *максимальное (напор)* ветровое давление на ограждающие (фасадные) конструкции реализуется при угле атаки ветра 255° и составляет **873 Па**. Для большей части остальных углов атаки максимальное ветровое давление не превышает **700 Па**.

Для уточненного анализа наиболее уязвимых конструкций к пиковым значениям ветрового давления были приведены дополнительные результаты по остеклению фасадов (компоненты “W” и “glass”). В результате были получены следующие пиковые ветровые давления на остекление фасадов (компоненты “W” и “glass”):

- Компоненты “W” остекления фасадов и ламели:

– пиковое *минимальное (отсос)* ветровое давление на ограждающие (фасадные) конструкции остекления реализуется при угле атаки ветра 345° и составляет **-1502 Па**. Не многим большим значением также реализуется при направлении ветра 330 и 0° и составляют – **1494** и **-1311 Па**. Для большей части остальных углов атаки минимальное ветровое давление не превышает **-1300 Па**;

– пиковое *максимальное (напор)* ветровое давление на ограждающие (фасадные) конструкции реализуется при угле атаки ветра 30° и составляет **763 Па**. Не многим меньше

значения также реализовываются при направлениях ветра 210° и 255° и составляют – **729 и 727 Па**. Для большей части остальных углов атаки максимальное ветровое давление не превышает **700 Па**.

- Компоненты “*glass*” остекления фасадов:

- пиковое *минимальное (отсос)* ветровое давление на ограждающие (фасадные) конструкции остекления реализуется при угле атаки ветра 345° и составляет **-1502 Па**. Не многим большим значением также реализуется при направлении ветра 0° и 330° и составляют – **-1311 и 1494 Па**. Для большей части остальных углов атаки минимальное ветровое давление не превышает **-1300 Па**;

- пиковое *максимальное (напор)* ветровое давление на ограждающие (фасадные) конструкции реализуется при угле атаки ветра 210° и составляет **758 Па**. Для большей части остальных углов атаки максимальное ветровое давление не превышает **700 Па**.

В прочностных расчетах ограждающих (фасадных) конструкций рекомендуется использовать значения пиковых ветровых давлений, представленные в разделе 5.3 настоящего отчета. Для остекления (компоненты “*W*” и “*glass*”) рекомендуется использовать значения из результатов детализированного представления пиковых давлений, определенных только для рассматриваемых компонент (раздел 5.3).

5. В силу сложной нестандартной формы покрытия 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. 7.1-7.7 настоящего отчёта, полученные по схемам Б.1, Б.9 Приложения Б к СП [2] и по результатам моделирования, представленным в разделе 7.2 настоящего отчета.