



## **1. Исходные данные. Постановка задач**

### **Постановка задач расчетных исследований**

В соответствии с техническим заданием и по результатам анализа и обобщения проектной документации Объекта ставятся и решаются следующие задачи:

1. Разработка трехмерных моделей аэродинамики здания Велодрома и Навеса трассы ВМХ с учетом окружающей застройки и различных направлений ветра.
2. Выявление наиболее опасных и характерных направлений ветра на основе анализа суммарных ветровых нагрузок на несущие конструкции здания Велодрома и Навеса трассы ВМХ, полученных в результате численного моделирования.
3. Определение расчетных ветровых нагрузок на несущие конструкции здания Велодрома и Навеса трассы ВМХ для исследуемых направлений ветра.
4. Определение распределения пиковых ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции здания Велодрома и Навеса трассы ВМХ.
5. Проведение математического (численного) моделирования снегопереноса на покрытиях здания Велодрома и Навеса трассы ВМХ;
6. Разработка на основе синтеза нормативных методик и результатов математического моделирования рекомендаций по назначению снеговых нагрузок на покрытие здания Велодрома и Навеса трассы ВМХ в виде инженерных схем коэффициента  $\mu$ .

### **Площадка строительства, рельеф и застройка объекта**

Площадка под строительство Объекта находится в поселке Западный города Майкопа. С юга, юго-востока и северо-востока участок ограничен полезащитными лесными полосами. С запада – автомобильной трассой Обход Майкопа. Ближайшие к участку строения расположены к югу от участка и представляют собой малоэтажную жилую застройку. Таким образом, существующая окружающая застройка не оказывает значительного влияния на аэродинамику Объекта исследования.

Рельеф окружающей местности преимущественно ровный без значительных перепадов и практически не оказывает влияния на аэродинамику объекта.



Рис. Карта местности возле площадки строительства (<https://yandex.ru/maps>)

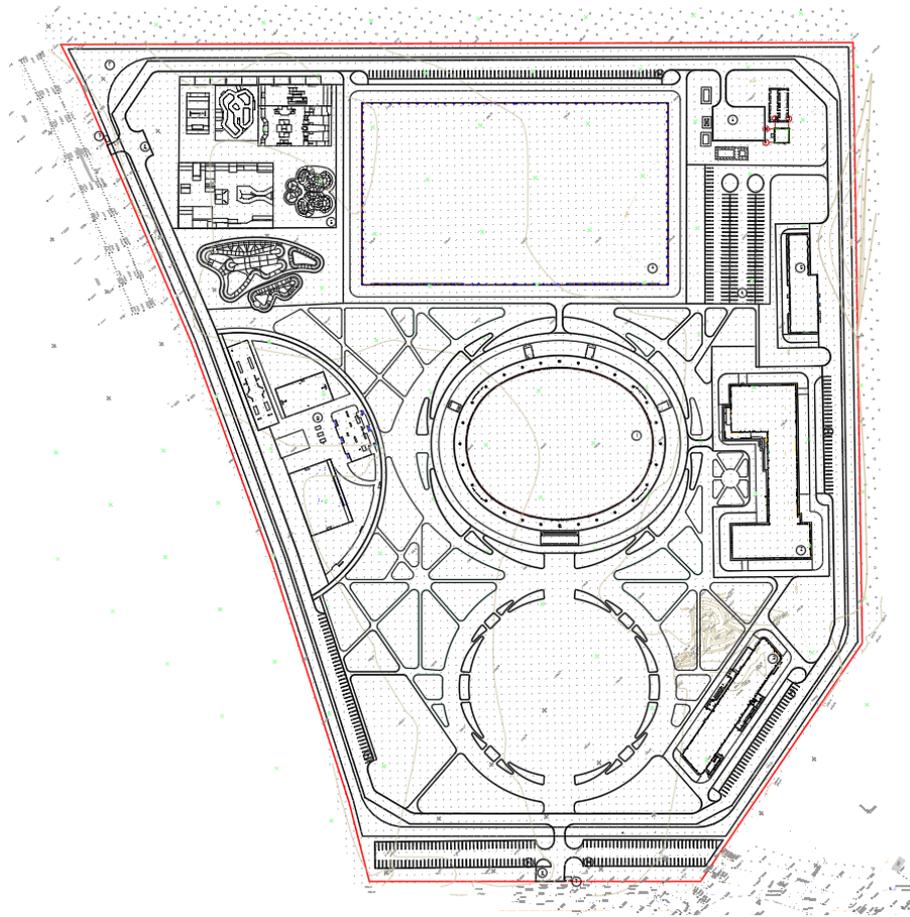


Рис. Мастер-план Объекта



Рис. Карта высот возле площадки строительства по данным OpenStreetMap

Климат в г. Майкоп субтропический, может характеризоваться как умеренно-континентальный. Среднегодовая температура  $+11^{\circ}\text{C}$ . На теплый летний период приходится 180 дней. В зимний период может наблюдаться значительное количество осадков. В начале весеннего периода часто наблюдаются сильные ветра, которые могут стать причиной пыльных бурь. Среднемесячная скорость ветра в течение года варьируется от 2.7 до 3.7 м/с. Преобладает южный ветер (по данным метеостанции Аэропорта «Майкоп»).

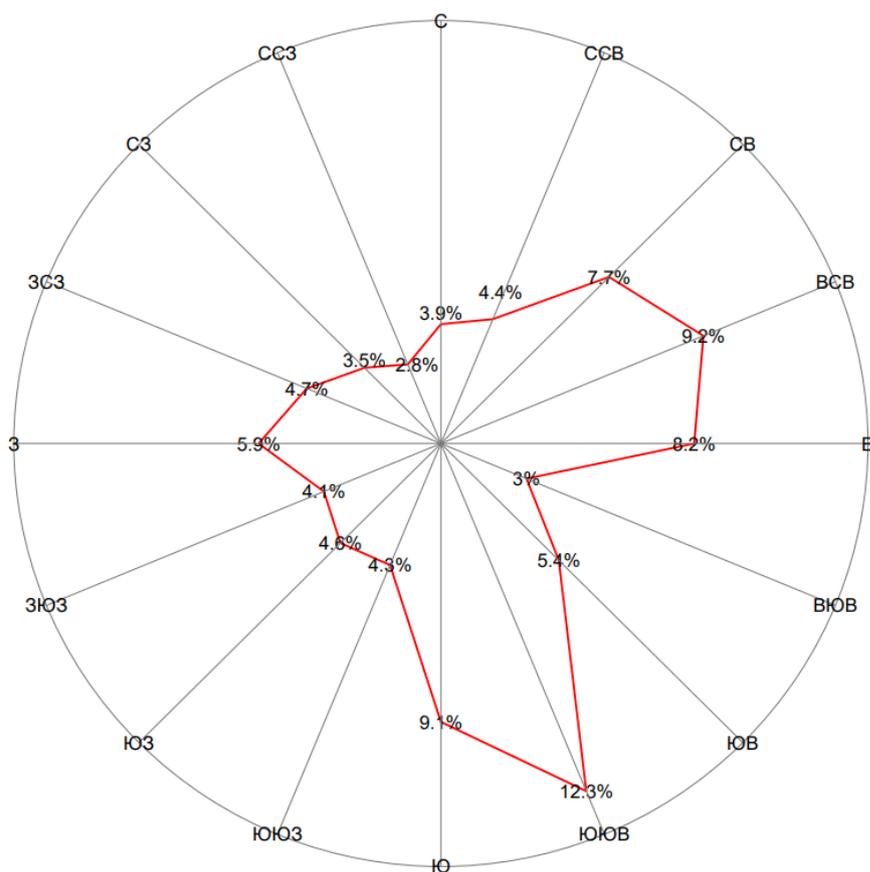


Рис. Роза скоростей ветра для г. Майкоп,  
(согласно метеоданным за последние 18 лет [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru))

Согласно СП 20.13330.2016 площадка строительства находится в **IV ветровом районе** (нормативное значение ветрового давления  $w_0 = 0.48 \text{ кПа}$ ) и **II снеговом районе** (нормативное значение веса снегового покрова  $S_g = 0.9 \text{ кПа}$  согласно Приложению К к СП) При определении ветровых нагрузок следует принять тип местности **A**, т.к. Объект расположен на открытой местности.

### Краткая характеристика исследуемого Объекта

Проектируемый комплекс сооружений БМХ-трека состоит из двух блоков разделен, двух стартовых холмов, трибуны на 1000 посадочных мест, судейской, трассы для проведения спортивных мероприятий (БМХ-трек). Все перечисленные сооружения размещены под навесом прямоугольной формы в плане с размерами в осях 210,0x120,0 м. Конструкция навеса представляет собой пространственную шаростержневую структуру, опирающуюся на систему колонн. Рендеры Объекта представлены на рисунках ниже.



а)



б)



в)

Рис. Рендеры Объекта

## 2. Разработка расчетных моделей

В программном комплексе ANSYS Fluent были разработаны и верифицированы численные модели аэродинамики Объекта с проектируемой окружающей застройкой и полупроницаемых элементов конструкций:

- модель 1 для определения нагрузок на несущие и фасадные конструкции Велодрома;
- модель 2 для определения нагрузок на несущие и фасадные конструкции Навеса трассы BMX;
- модель 3 для моделирования снегопереноса.

Численное моделирование проводилось в стационарной постановке с использованием RANS-моделей турбулентности SST k- $\omega$  (модели 1, 2) и GEKO k- $\omega$  (модель 3). Исследования проводились для 24-х направлений ветра (от 0° до 345° с шагом 15°) для ветровых нагрузок и оценок пешеходной комфортности и 8-ми направлений ветра для моделирования снегопереноса. Разделение на модели 1 и 2 обусловлено высокой численной ресурсоемкостью общей модели.

### Расчетная область для численных исследований

Практическая подготовка численных моделей начинается с создания геометрии расчетной области вокруг Объекта и окружающей застройки. Геометрия Объекта выполнена, согласно исходным данным.

Модель 1 учитывает содержит подробную геометрию Велодрома и упрощенную Навеса трассы BMX. Перфорированные навесные ограждающие конструкции по периметру Велодрома учитывались с помощью модели скачка давления, используемого для моделирования аэродинамики тонких пористых тел.

*Модель 2* содержит подробную геометрию Навеса трассы BMX и упрощенную геометрию Велодрома. Влияние шаростержневой системы и вертикальных ламелей на аэродинамику учитывалось с помощью модели пористой среды.

*Модель 3* для моделирования снегопереноса и снеготложений содержит упрощения фасадных конструкций и не учитывает проницаемость элементов, т.к. это практически не оказывает влияния на распределение снега на покрытиях.

Расчетные области для *Моделей 1 - 3* разделены на 2 части: внутреннюю цилиндрическую радиусом 400 м и внешнюю прямоугольную. Высота обеих частей – 400 м. При смене направлений ветра внутренняя область остается неподвижной, а внешняя – поворачивается на соответствующий угол. Объемные геометрические модели создавались в модуле ANSYS SpaceClaim.

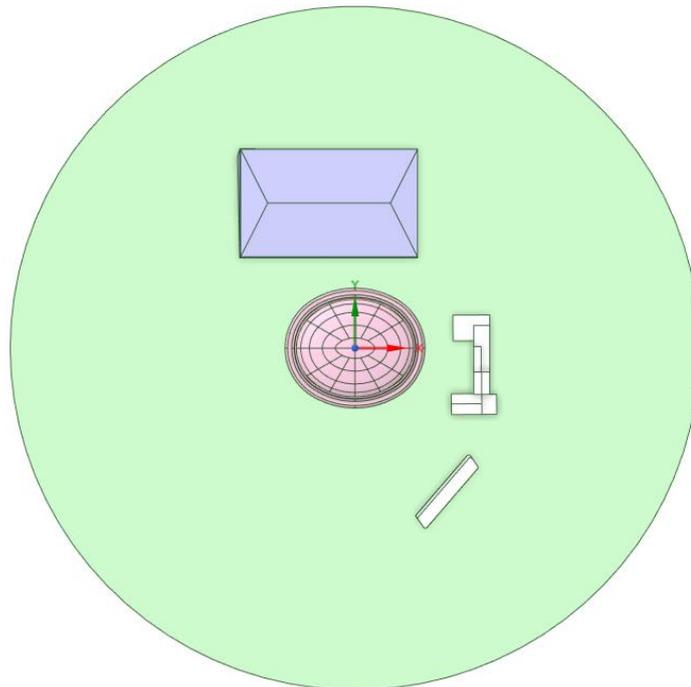


Рис. Расчетная область численных моделей.  
Общий вид (без окружающей прямоугольной области)

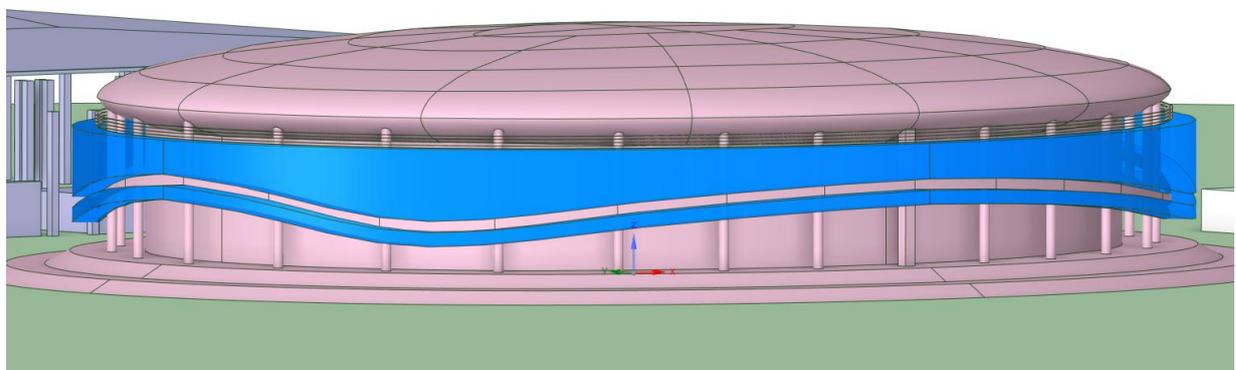


Рис. *Модель 1*: Геометрическая модель Объекта  
Синий цвет - проницаемые тела

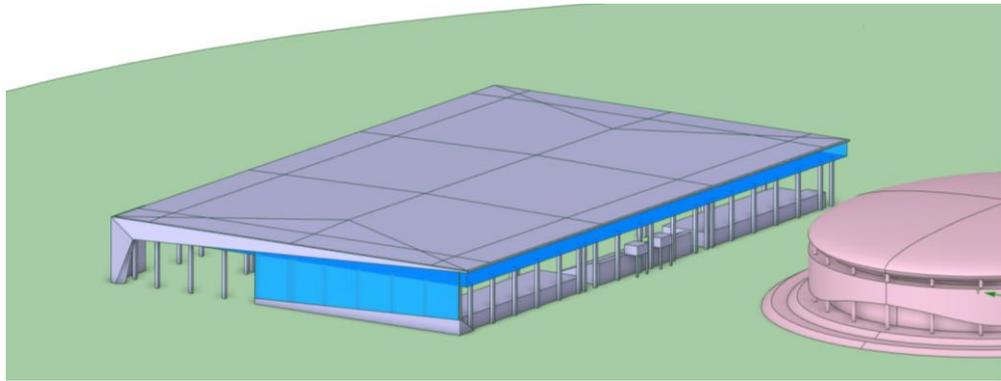


Рис. *Модель 2*: Геометрическая модель Объекта  
Синий цвет – проницаемые тела

### Конечнообъемные сетки

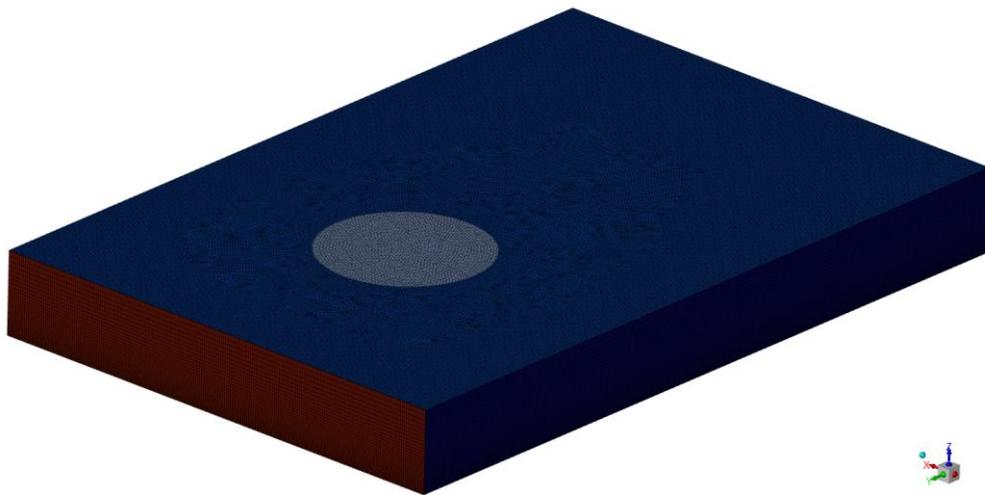


Рис. *Модель 1*: Конечнообъемная сетка (~14.44 млн. КО)

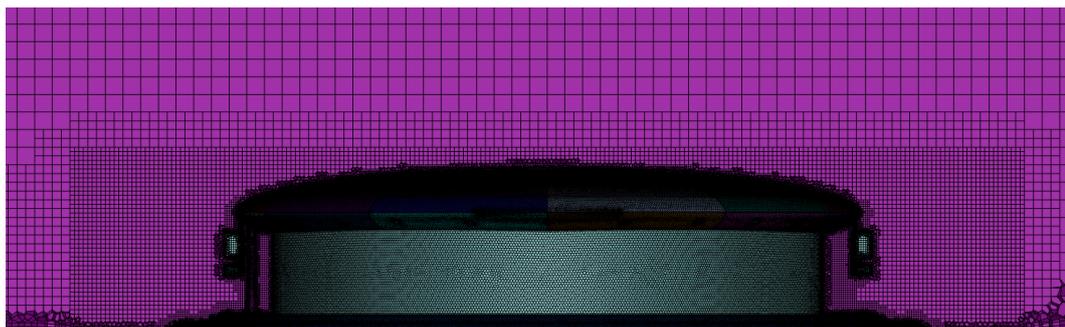
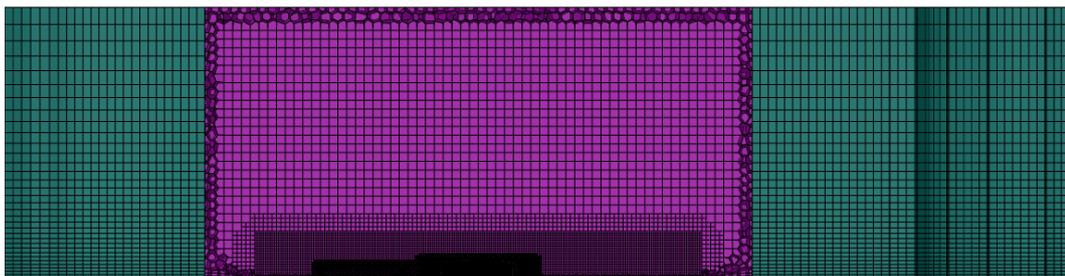


Рис. *Модель 1*: Разрез конечнообъемной модели

## Граничные условия

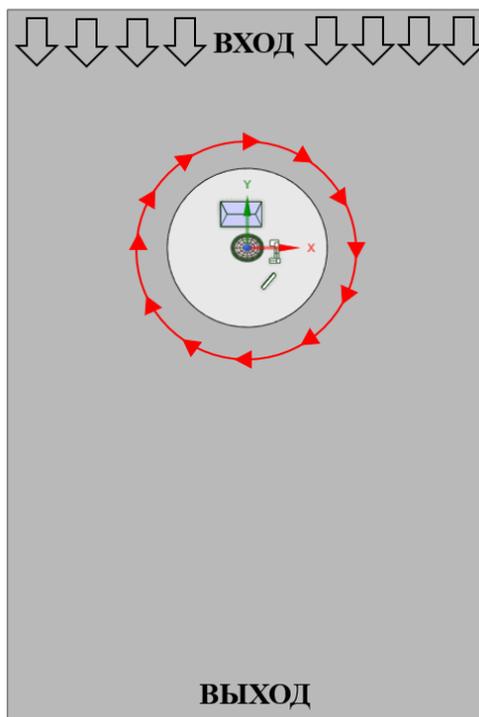


Рис. Расчетная область со схемой поворота внешней части домена

## 3. Определение ветровых нагрузок на несущие конструкции

### Форма представления и номенклатура результатов

Система координат сооружения и исследуемые направления ветрового потока показаны, а также пример схемы нумерации зон сбора ветровых нагрузок представлены на рисунке ниже.

Положительные значения интегральных и погонных ветровых нагрузок соответствуют направлению вдоль соответствующих координатных осей.

Ветровые давления на перфорированные панели навесных фасадов (далее *НФ1*, *НФ2*, *НФ3*) определялись как разность давлений на внешней и внутренней стороне. При этом положительные значения соответствуют направлению на внешние поверхности. Ветровые давления на *Навес трассы ВМХ* определялись как разность давлений сверху и снизу. При этом положительные значения соответствуют направлению против оси *z* (вниз). Для остальных зон положительные значения давлений соответствуют направлению на поверхности, а отрицательные – от поверхностей.

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

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

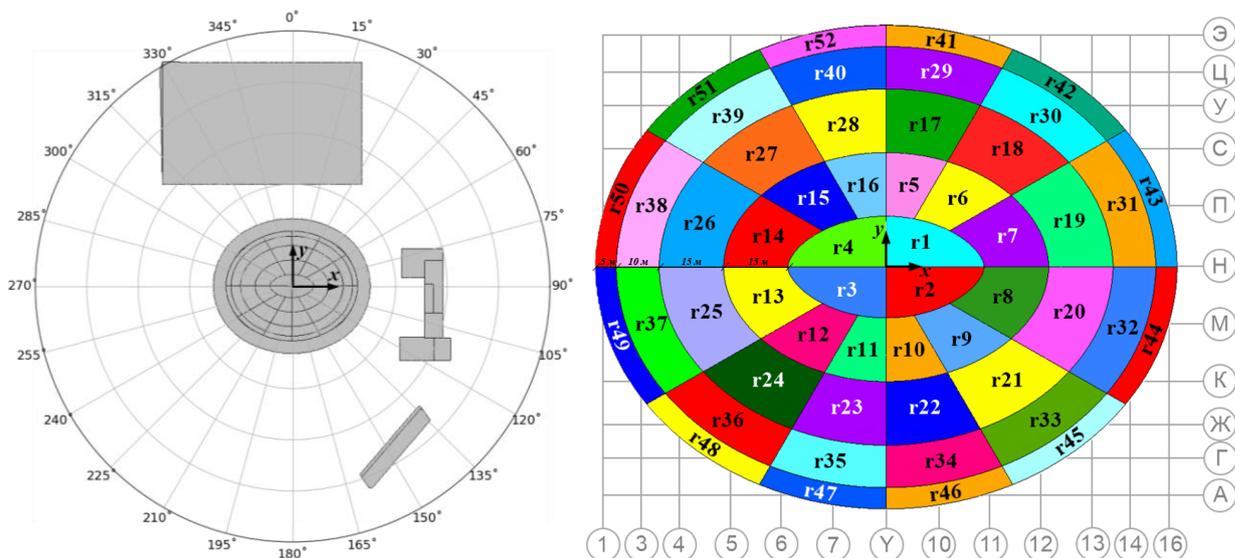


Рис. Система координат и расчетные направления ветра (слева), схема зон сбора аэродинамических нагрузок для *покрытия Велодрома*. Вид сверху (справа)

Полученные результаты представлены в следующем виде:

### **Ветровые нагрузки на несущие конструкции**

#### ***Ветровые нагрузки на несущие конструкции Велодрома***

В пункте следующие материалы по ветровым нагрузкам на несущие конструкции *Велодрома*:

– суммарные расчетные ветровые нагрузки на несущие конструкции 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  $15^\circ$ ) в табличном виде и в форме графиков. В таблицах оранжевым цветом выделены направления, при которых реализуются самые значительные ветровые нагрузки;

– среднее ветровое давление ( $P$ , Па) для соответствующих зон сбора аэродинамических нагрузок для *Велодрома* в табличном виде. Результаты представлены для характерных и наиболее опасных направлений ветра с точки зрения несущей системы в целом;

– погонная ветровая нагрузка ( $f_x$ ,  $f_y$ , Н/м) для *колонн Велодрома* в табличном виде. Результаты представлены для характерных и наиболее опасных направлений ветра с точки зрения несущей системы в целом;

– суммарные расчетные ветровые нагрузки ( $F_x$ ,  $F_y$ , Н) и суммарная вертикальная сила ( $F_z$ , Н) для *ламелей Велодрома* в табличном виде. Результаты представлены для характерных и наиболее опасных направлений ветра с точки зрения несущей системы в целом;

– среднее ветровое давление ( $P$ , Па) для *стен Велодрома* в форме эпюр. Значения на эпюрах являются средними по высоте. Результаты представлены для характерных и наиболее опасных направлений ветра с точки зрения несущей системы в целом.

Материалы по ветровым нагрузкам на несущие конструкции для всех 24-х направлений представлены в *Приложении Б* к отчету (представлен в электронном виде в формате *xlsx*).

Таблица Пример суммарных расчетных ветровых нагрузок ( $F_x$ ,  $F_y$ ), векторной суммы нагрузок ( $F_R$ ) и суммарной вертикальной силы ( $F_z$ ) для Велодрома в зависимости от направления ветра

Направление ветра, °	Велодрома			
	$F_x$ , кН	$F_y$ , кН	$F_R$ , кН	$F_z$ , кН
0	300.2	-925.1	972.6	3250.8
15	287.6	-870.0	916.3	3622.5
30	-315.0	-428.4	531.7	3629.2
45	-186.3	-392.0	434.0	3587.2
60	-206.5	-849.7	874.5	3660.4
75	-518.4	-575.0	774.2	3363.7
90	-693.3	-198.9	721.3	2686.7
105	-301.5	-118.6	324.0	2032.6
120	-393.9	450.4	598.3	2548.5
135	-253.3	431.4	500.3	1543.5
150	-110.0	323.7	341.9	2056.1
165	279.6	838.4	883.8	3007.9
180	-551.1	801.3	972.6	3769.3
195	-382.7	960.0	1033.5	3946.5
210	8.0	865.0	865.0	3938.8
225	225.1	711.6	746.3	3606.3
240	668.0	62.4	670.9	3159.1
255	953.1	-223.6	978.9	2954.1
270	829.6	-418.8	929.3	2896.2
285	458.6	-559.0	723.0	2835.7
300	152.4	-750.9	766.2	2687.9
315	209.9	-208.2	295.7	2417.5
330	405.5	-576.8	705.1	2544.7
345	14.7	-683.8	684.0	2860.2

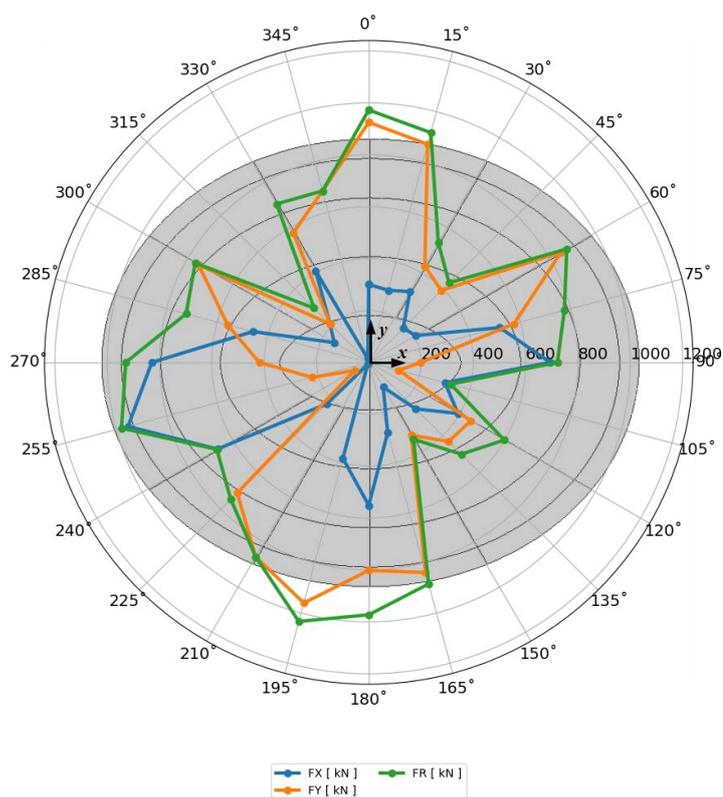


Рис. Пример интегральных ветровых нагрузок ( $F_x$ ,  $F_y$ ,  $F_R$ , кН) для *Велодрома* для всех исследуемых направлений ветра

Таблица Средняя составляющая ветрового давления ( $P$ , Па) для зон сбора аэродинамических нагрузок для *покрытия Велодрома*. Направление ветра  $0^\circ$

Зона	$P$ , Па	Зона (рис. 5.2 – 5.3)	$P$ , Па
<i>r1</i>	-333.6	<i>r33</i>	-404.0
<i>r2</i>	-345.8	<i>r34</i>	-376.3
<i>r3</i>	-339.8	<i>r35</i>	-325.5
<i>r4</i>	-329.4	<i>r36</i>	-302.1
<i>r5</i>	-324.6	<i>r37</i>	-311.6
<i>r6</i>	-321.7	<i>r38</i>	-295.3
<i>r7</i>	-330.7	<i>r39</i>	-281.5
<i>r8</i>	-353.2	<i>r40</i>	-251.1
<i>r9</i>	-365.2	<i>r41</i>	-7.0
<i>r10</i>	-373.2	<i>r42</i>	-40.4
<i>r11</i>	-366.3	<i>r43</i>	-270.9
<i>r12</i>	-347.9	<i>r44</i>	-475.0
<i>r13</i>	-334.5	<i>r45</i>	-259.0
...	...	...	...

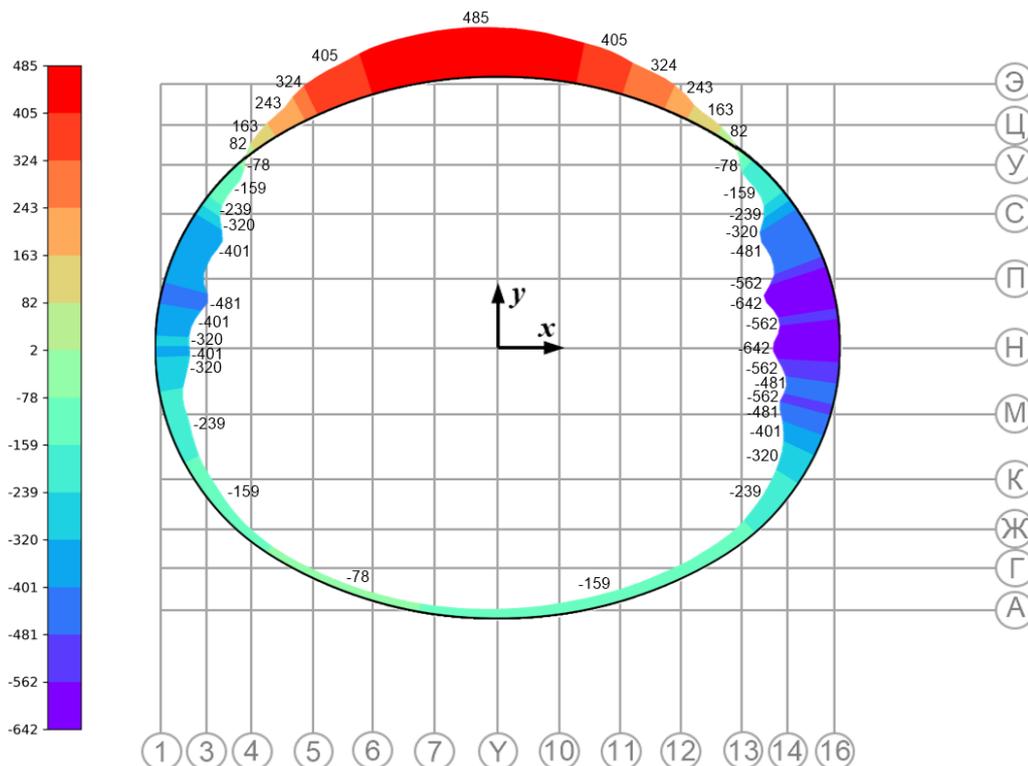


Рис. Пример эпюры средней составляющей ветрового давления ( $P$ , Па) на стены Велодрома. Направление ветра  $0$

Таблица Пример средней составляющей ветрового давления ( $P$ , Па) для зон сбора аэродинамических нагрузок для покрытия Велодрома. Направление ветра  $90^\circ$

Зона	$P$ , Па	Зона	$P$ , Па
<i>r1</i>	-290.8	<i>r33</i>	-175.1
<i>r2</i>	-291.3	<i>r34</i>	-259.9
<i>r3</i>	-304.6	<i>r35</i>	-313.4
<i>r4</i>	-299.6	<i>r36</i>	-327.5
<i>r5</i>	-288.4	<i>r37</i>	-369.3
<i>r6</i>	-287.3	<i>r38</i>	-250.3
<i>r7</i>	-269.4	<i>r39</i>	-215.9
...	...	...	...

Таблица Пример средней составляющей ветрового давления ( $P$ , Па) для зон сбора аэродинамических нагрузок для НФ1-НФ3. Направление ветра  $90^\circ$

Зона	$P$ , Па		
	НФ1»	НФ2	НФ3
<i>1</i>	-55.4	-66.7	-21.6
<i>2</i>	-3.4	-17.0	10.0
<i>3</i>	15.8	11.5	-5.6
<i>4</i>	31.4	-8.7	-38.7
<i>5</i>	60.2	8.7	-60.3
...	...	...	...

Таблица Пример погонной ветровой нагрузки ( $f_x, f_y$ , Н/м) для колонн Велодрома.  
Направление ветра  $90^\circ$

Зона	$f_x$ , Н/м	$f_y$ , Н/м
1	-683.2	7.2
2	-289.2	79.3
3	-349.4	117.4
4	-334.8	193.6
5	-240.1	225.5
6	-129.1	162.1
7	-64.7	78.5
...	...	...

Таблица Пример ветровой нагрузки ( $F_x, F_y$ , Н) и вертикальной силы ( $F_z$ , Н) для ламелей Велодрома. Направление ветра  $90^\circ$

Зона	Ламель 1		
	$F_x$ , Н	$F_y$ , Н	$F_z$ , Н
1	-42.3	10.9	52.1
2	-53.1	4.6	-11.5
3	-65.7	5.7	-32.8
...	...	...	...

Аналогичным образом в отчете представлены результаты для других рассматриваемых компонентов сооружения:

### **Ветровые нагрузки на несущие конструкции Навеса трассы ВМХ**

В пункте следующие материалы по ветровым нагрузкам на несущие конструкции:

– суммарные расчетные ветровые нагрузки на несущие конструкции 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  $15^\circ$ ) в табличном виде и в форме графиков. В таблицах оранжевым цветом выделены направления, при которых реализуются самые значительные ветровые нагрузки;

– среднее ветровое давление ( $P$ , Па) для соответствующих зон сбора аэродинамических нагрузок для Навеса трассы ВМХ в табличном виде. Результаты представлены для характерных и наиболее опасных направлений ветра с точки зрения несущей системы в целом;

– погонная ветровая нагрузка ( $f_x, f_y$ , Н/м) для колонн Навеса трассы ВМХ в табличном виде. Результаты представлены для характерных и наиболее опасных направлений ветра с точки зрения несущей системы в целом.

Материалы по ветровым нагрузкам на несущие конструкции для всех 24-х направлений представлены в соответствующем приложении к отчету (представлен в электронном виде в формате *xlsx*).

## Пиковые ветровые давления на ограждающие конструкции

### Пиковые ветровые давления на ограждающие конструкции Велодрома

В разделе представлены изополя пиковых положительных и отрицательных ветровых давлений для конструкции *Велодрома*. Эти же рисунки в 3D-формате представлены в *Приложении В* к отчету (представлен в электронном виде в формате avz). Также в *Приложении В* представлены в трехмерном виде изополя огибающих (максимальные и минимальные значения) средней составляющей ветровых давлений для конструкции *Велодрома*.

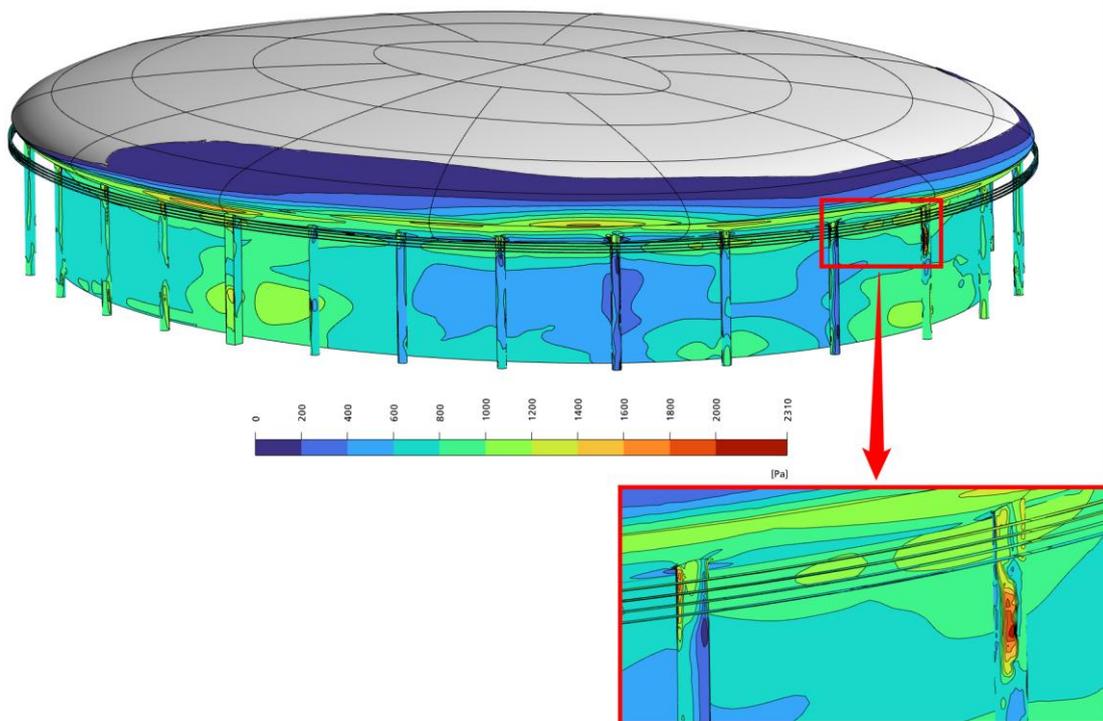


Рис. Положительные пиковые ветровые давления на поверхностях *Велодрома*, Па. Вид 1

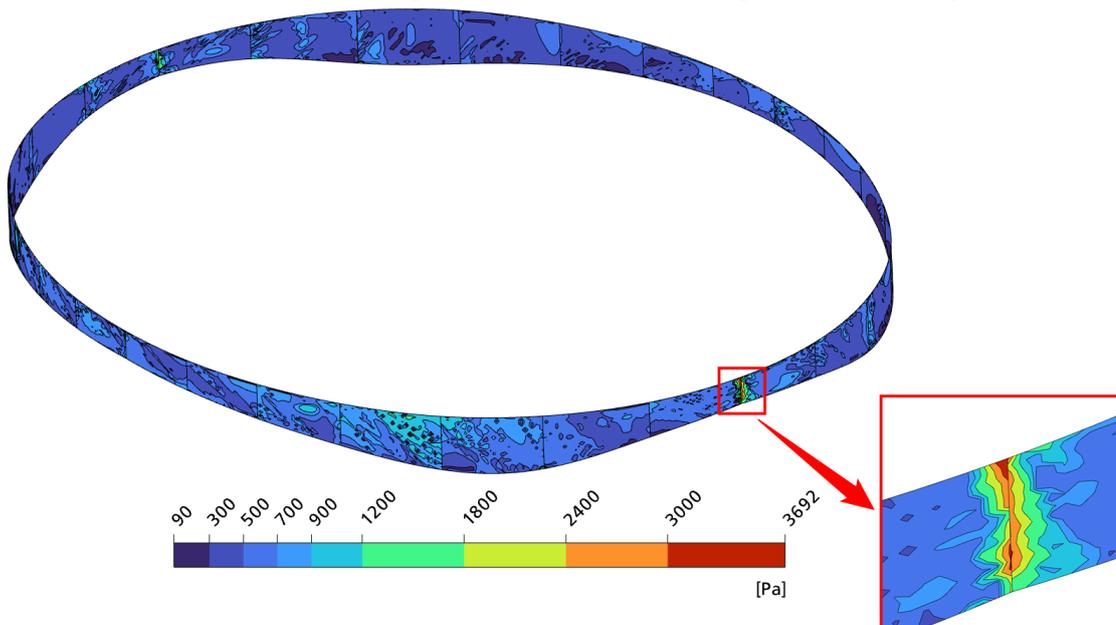


Рис. Положительные пиковые ветровые давления на поверхностях *Навесного фасада 1 (НФ1)*, Па.

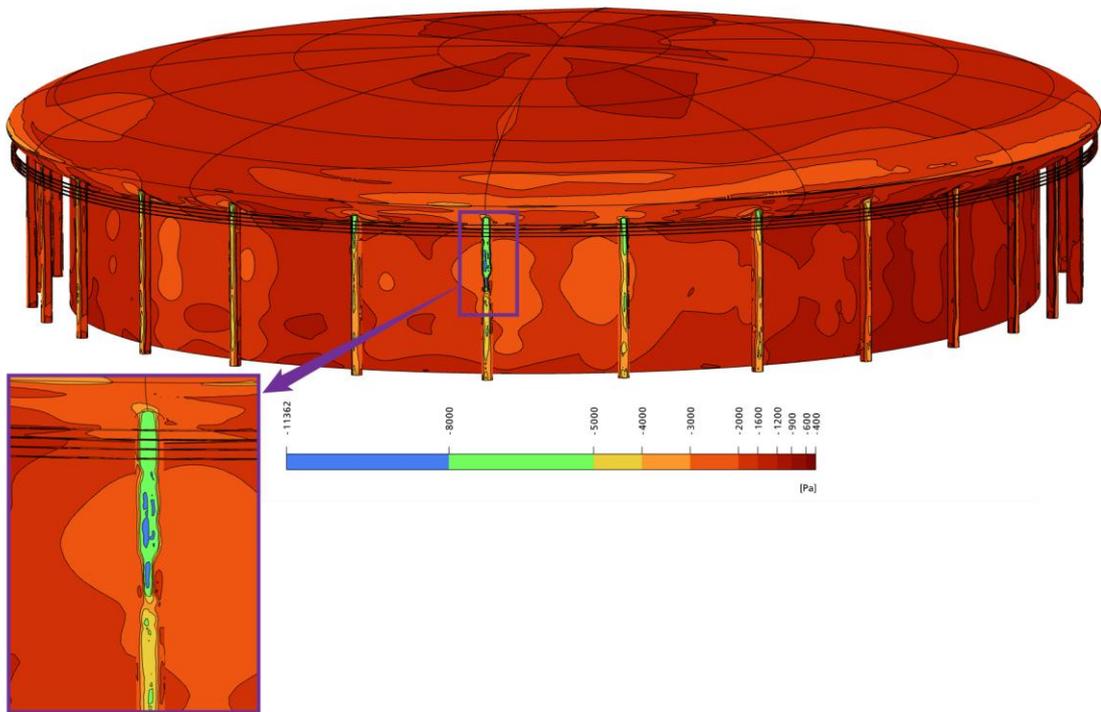


Рис. Отрицательные пиковые ветровые давления на поверхностях *Велодрома*, Па. Вид

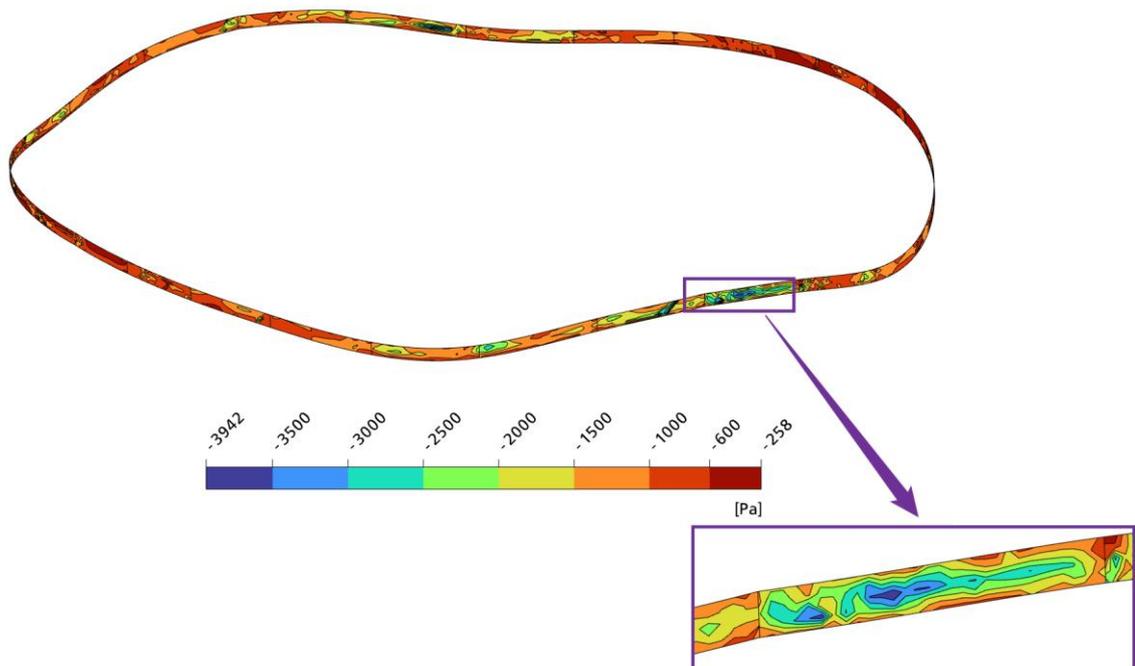


Рис. Отрицательные пиковые ветровые давления на поверхностях *Навесного фасада 3 (НФ3)*, Па.

Аналогичным образом в отчете представлены результаты для других рассматриваемых компонентов сооружения:

### ***Пиковые ветровые давления на ограждающие конструкции навеса трассы ВМХ***

В разделе представлены изополя пиковых положительных и отрицательных ветровых давлений для конструкции навеса трассы ВМХ. Эти же рисунки в 3D-формате представлены в *Приложении В* к отчету (представлен в электронном виде в формате avz). Также в *Приложении В* представлены в трехмерном виде изополя огибающих (максимальные и минимальные значения) средней составляющей ветровых давлений для конструкции навеса трассы ВМХ.

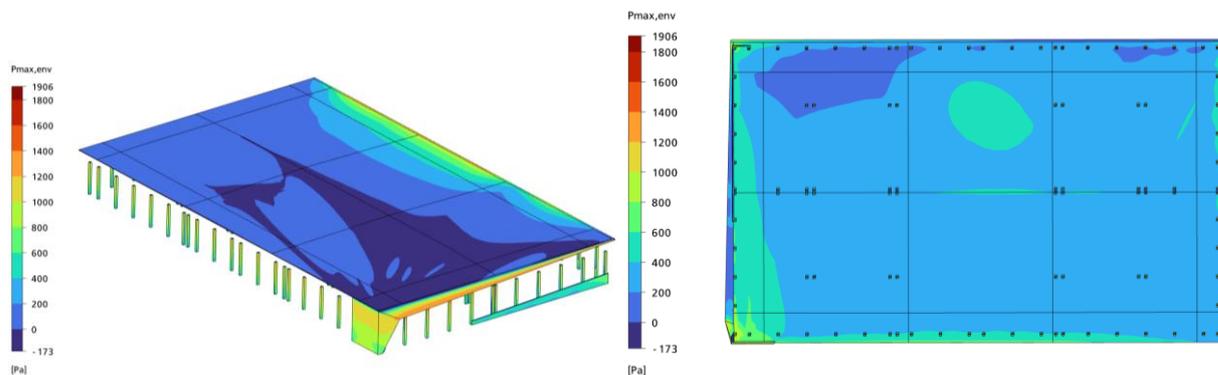


Рис. Положительные пиковые ветровые давления на поверхностях навеса трассы ВМХ, Па. Вид 1 (слева) и Вид снизу (справа)

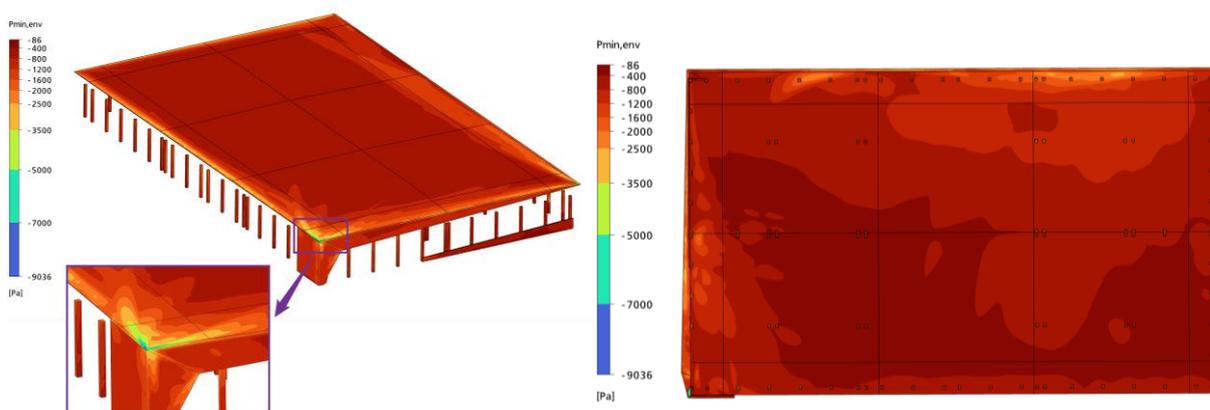


Рис. Отрицательные пиковые ветровые давления на поверхностях навеса трассы ВМХ, Па. Вид 1 (слева) и Вид снизу (справа)

#### 4. 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, представленные в соответствующем разделе отчета.

##### Расчетные значения снеговых нагрузок

Нормативное значение снеговой нагрузки  $S_0$ , действующей на горизонтальную проекцию кровель Велодрома и Навеса трассы ВМХ, следует определять по формуле:

$$S_0 = c_e c_t \mu S_g$$

где:

$S_g = 0.9$  кПа в соответствии с Приложением К к СП;

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

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

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

Для покрытий Велодрома необходимо рассмотреть девять вариантов загрузжений с коэффициентом формы, определяемым в соответствии со схемами Б.1, Б.2 Приложения Б к СП и по результатам моделирования, представленным в отчете.

Для *Навеса трассы ВМХ* необходимо рассмотреть *девять вариантов загрузки* с коэффициентом формы, определяемым в соответствии со схемой Б.1 Приложения Б к СП и по результатам моделирования, представленным в соответствующем разделе отчета.

*Расчетное значение снеговой нагрузки* следует определять как произведение ее нормативного значения, представленного на схемах, на коэффициент надежности по нагрузке, равный 1.4.

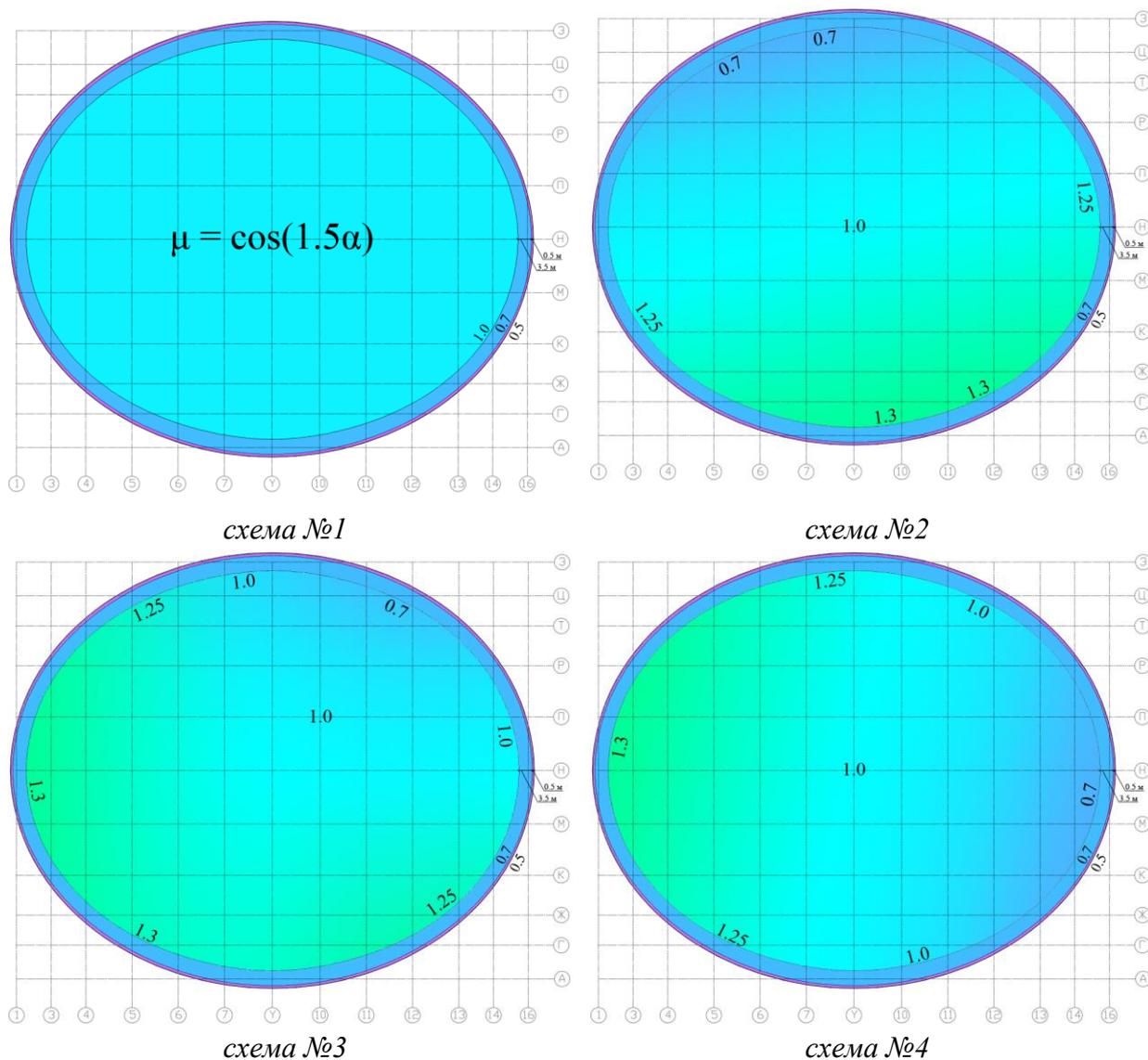


Рис Пример схем для назначения расчётного коэффициент формы  $\mu$  для покрытия *Велодрома*

Аналогичные схемы для *Навеса трассы ВМХ* представлены в отчете.

### Смоделированные коэффициенты формы для расчётных направлений ветра

При *математическом (численном) моделировании*, с применением численной методики и варьируя скорость ветра, было выполнено по три аэродинамических расчёта для восьми направлений ветра для *Велодрома* и *Навеса трассы ВМХ* ( $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$ ) с учётом окружающей застройки. В соответствии с табл. 8.1 СП 131.13330.2020 *Строительная климатология*, средняя скорость ветра на высоте 10 м за

зимний период для г. Майкоп составляет 3.3 м/с ( $V_{10}$ ). Расчёты проводились для скоростей ветра на высоте 10 м ( $V_{10}$ ), равных 1 м/с, 3 м/с и 6 м/с, при  $\mu_0 = 1$ . Также были приняты следующие значения экспериментальных констант:  $A\rho_a = 10^{-4}$  кг·с/м<sup>4</sup>,  $w_f = 0.5$  м/с,  $u_t = 0.25$  м/с. Концентрация снега  $C$  была принята равной 5 г/м<sup>3</sup>, 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.

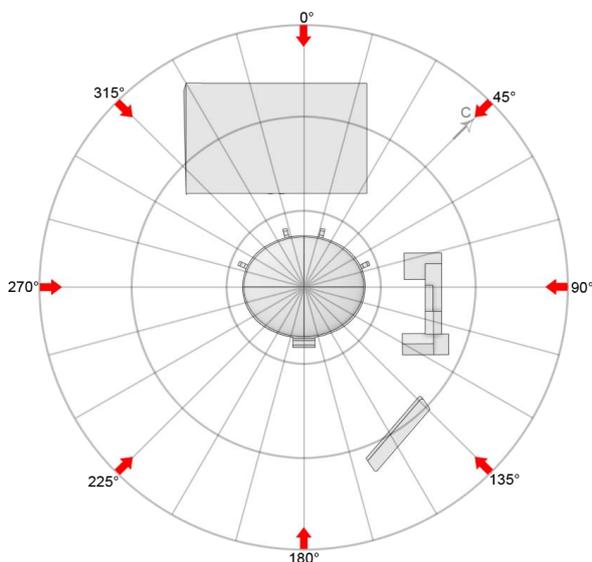


Рис. Расчетные направления ветрового потока для покрытий Объекта

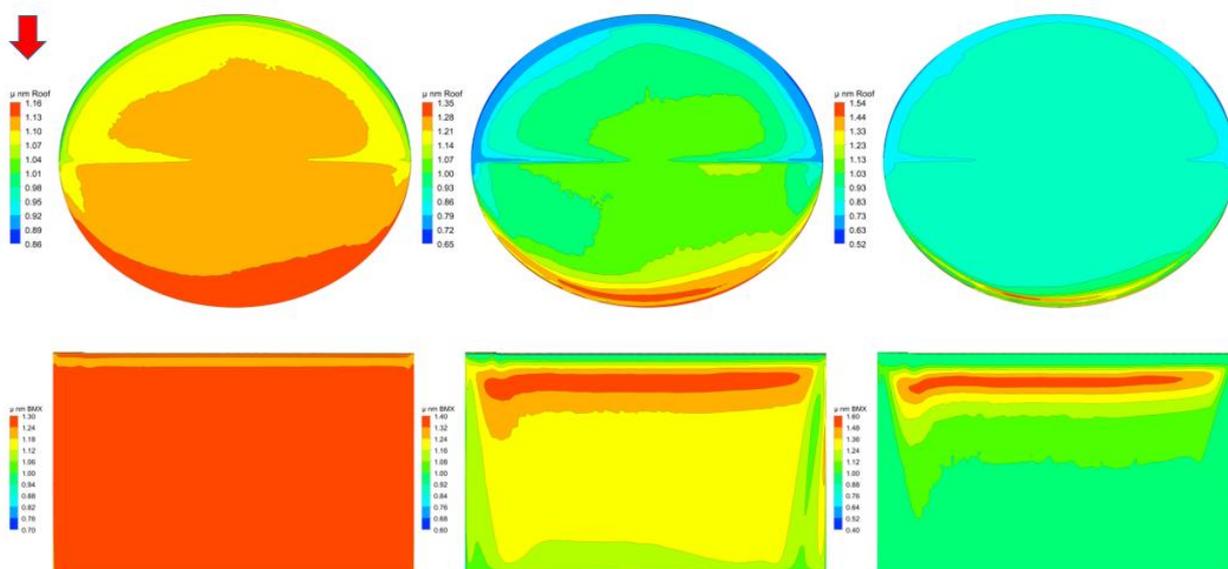


Рис. Численно моделируемый коэффициент формы  $\mu_{fm}$ . Пример для направления ветра 0° (с учётом окружающей застройки) для скоростей 1, 3 и 6 м/с

## Выводы и рекомендации

По результатам выполненного комплексного аэродинамического исследования «Разработка рекомендаций по назначению ветровых и снеговых нагрузок на несущие и фасадные конструкции Объекта, на основе результатов математического моделирования задач аэродинамики» на основе численного решения трехмерных задач аэродинамики, можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения исходных данных разработаны и верифицированы численные модели аэродинамики Объекта с учетом существующей и перспективной окружающей застройки:

- модель 1 для определения нагрузок на несущие и фасадные конструкции *Велодрома*;
- модель 2 для определения нагрузок на несущие и фасадные конструкции *Навеса трассы ВМХ*;
- модель 3 для моделирования снегопереноса.

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. Моделирование ветровых нагрузок проводилось для 24-х направлений ветра, а снеговых – для 8-ми направлений ветра при 3-х скоростных режимах.

3. В результате проведенных на основе численного моделирования расчетных исследований при 24-х направлениях ветра с учетом окружающей застройки выявлены наиболее опасные и характерные расчетные случаи:

Для *Велодрома*:

- максимальное положительное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_x$  на *Велодром* составляет **953.1 кН** и реализуется для направления ветра  $255^\circ$ , максимальное отрицательное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_x$  на *Велодром* составляет **-693.3 кН** и реализуется для направления ветра  $90^\circ$ ;
- максимальное положительное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_y$  на *Велодром* составляет **960 кН** и реализуется для направления ветра  $195^\circ$ ; максимальное отрицательное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_y$  на *Велодром* составляет **-925.1 кН** и реализуется для направления ветра  $0^\circ$ ;
- максимальное значение векторной суммы нагрузки  $F_R$  на *Велодром* составляет **1033.5 кН** и реализуется для направления ветра  $195^\circ$ ;
- максимальное значение интегральной вертикальной силы  $F_z$  на *Велодром* составляет **3 946.5 кН** и реализуется для направления ветра  $195^\circ$ .

Для *Навеса трассы ВМХ*:

- максимальное положительное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_x$  на *Навес трассы ВМХ* составляет **922.3 кН** и реализуется для направления ветра  $255^\circ$ ,

максимальное отрицательное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_X$  на *Навес трассы ВМХ* составляет **-940.3 кН** и реализуется для направления ветра **105°**;

- максимальное положительное значение интегральной ветровой нагрузки  $F_Y$  на *Навес трассы ВМХ* составляет **809.5 кН** и реализуется для направления ветра **195°**;

- максимальное значение векторной суммы нагрузки  $F_R$  на *Навес трассы ВМХ* составляет **986.3 кН** и реализуется для направления ветра **45°**;

- максимальное отрицательное значение интегральной вертикальной силы  $F_Z$  на *Навес трассы ВМХ* составляет **-2 907.4 кН** и реализуется для направления ветра **165°**.

Для выявленных наиболее опасных и характерных расчетных случаев приведены ветровые нагрузки, **рекомендуемые** к применению при обосновании механической безопасности *Объекта* (п. 5.2).

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

Для *Велодрома*:

- максимальные положительные пиковые ветровые давления достигают 2 310 Па. На большей части площади *Велодрома* положительные пиковые ветровые давления не превышают 1 200 Па;

- максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления достигают – 11 362 Па в локальных зонах (на колоннах). На большей части площади *Велодрома* отрицательные пиковые ветровые давления не превышают -2 000 Па.

Для *Навеса трассы ВМХ*:

- максимальные положительные пиковые ветровые давления достигают 1 906 Па. На большей части площади *Навеса трассы ВМХ* положительные пиковые ветровые давления не превышают 400 Па;

- максимальные по модулю отрицательные пиковые ветровые давления достигают – 9 036 Па в локальных угловых зонах. На большей части площади *Навеса трассы ВМХ* отрицательные пиковые ветровые давления не превышают -1 000 Па.

Схемы пиковых ветровых давлений **рекомендуются** к применению в расчетах ограждающих (фасадных) конструкций.

5. В силу сложной нестандартной формы покрытий *Велодрома* и *Навеса трассы ВМХ* при определении расчетных значений снеговых нагрузок применялся синтез нормативных рекомендаций и математического (численного) моделирования снегонакопления. Полученные с помощью этого подхода значения коэффициента формы  $\mu$  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 *Велодрома* и *Навеса трассы ВМХ* рекомендуется использовать распределения коэффициента формы  $\mu$  в соответствии с рис. 6.1 – 6.15, полученные по схемам Б.1, Б.2 Приложения Б к СП и по результатам математического (численного) моделирования, представленным в отчёте.