

Научно-исследовательский центр СтаДиО

АО НИЦ 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: stadvo@stadvo.ru

Инв. № ТГ-04/24-3

«Утверждаю»
Генеральный директор АО НИЦ СтаДиО

А.М. Белостоцкий
2024 г.



Научно-технический отчет

по договору № ТГ/24-04-1 от 25.04.2024 г.

Численное моделирование ветровых и снеговых нагрузок для объекта «Административно-производственный корпус ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ»

Руководители работы:
докт. техн. наук, академик РААСН А.М. Белостоцкий
канд. техн. наук Д.С. Дмитриев

Ответственный исполнитель:
О.С. Горячевский

Исполнители:
Н.А. Бритиков
И.Ю. Негрозова

Москва, 2024



Научно-исследовательский центр СтаДиО
АО НИЦ СтаДиО

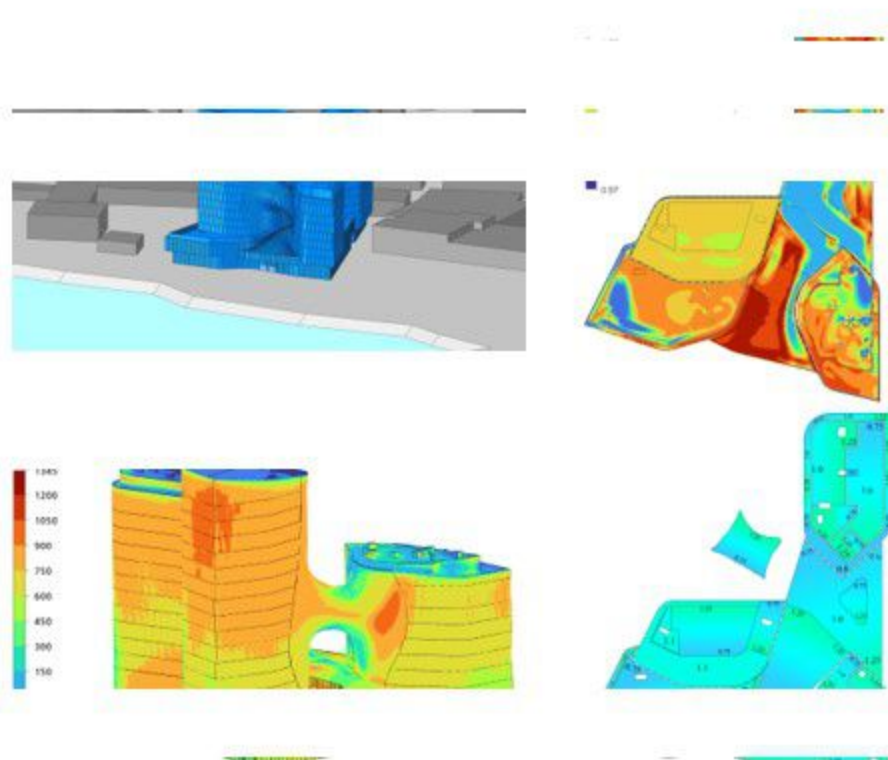
Свидетельство СРО «АПОЭК» - Ассоциации «Проектировщики оборонного и энергетического комплексов»
Номер решения о приеме в члены СРО № 06-ПСС-38/2018 от 20.06.2018 г.

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

Инв. № ТГ-04/24-3

Научно-технический отчет
по договору № ТГ/24-04-1 от 25.04.2024 г.

Численное моделирование ветровых и снеговых нагрузок для объекта
«Административно-производственный корпус
ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСПАЗ КАЗАНЬ»



2. Исходные данные. Постановка задач

В главе представлено:

- описание местоположения, окружающей застройки, рельефа и климата площадки строительства;
- краткое описание Объекта аэродинамических исследований;
- постановка целей и задач аэродинамических исследований.

2.1. Площадка строительства, рельеф и застройка объекта

Площадка под строительство Объекта располагается в городе Казань в районе улицы Спартаковской (участок 2). Участок расположен в исторической части города. С северо-востока участок ограничен улицей Спартаковской, с юга-запада – улицей Марселя Салимжанова, на юго-востоке расположен IT-парк (рис. 2.1 – 2.2). На юго-западе от Объекта располагается озеро Нижний Кабан, на северо-западе – парк Тысячелетия. Можно заключить, что окружающая застройка оказывает существенное аэродинамическое влияние на Объект.



Рис. 2.1 Карта местности возле площадки строительства (<https://maps.yandex.ru/>)



Рис. 2.2 Мастер-план Объекта [1]

Локальный рельеф местности в радиусе 500 км от Объекта практически ровный, за исключением понижения озера Нижний Кабан (рис. 2.3). Таким образом, для аэродинамики объекта целесообразно учитывать только рельеф, связанный с озером.



Рис. 2.3 Карта высот возле площадки строительства по данным OpenStreetMap

Климат в г. Казань умеренно-континентальный, с морозной зимой и умеренно жарким летом. Преобладающими направлениями ветра за год и в холодный период в районе Казани являются южное, западное и юго-восточное. В летний период увеличивается

повторяемость северных и северо-западных ветров (рис. 2.4). Среднемесячная скорость ветра в течение года примерно 3.1 м/с.

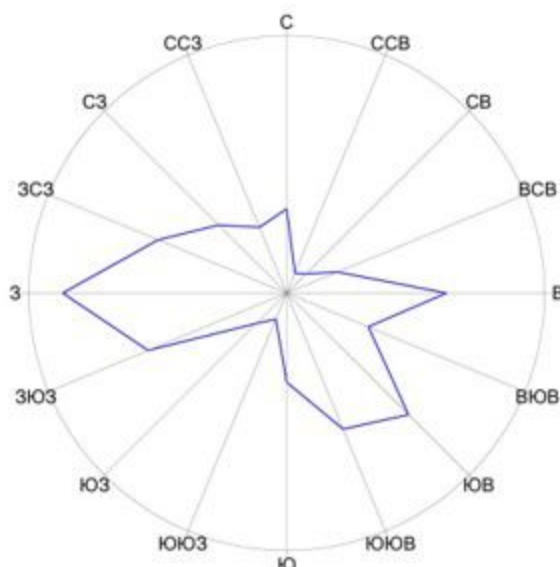


Рис. 2.4 Роза скоростей ветра для г. Казань
(согласно метеоданным www.rp5.ru)

Согласно СП 20.13330.2016 площадка строительства находится в *II ветровом районе* (нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,3 \text{ кПа}$) и *IV снеговом районе* (нормативное значение веса снегового покрова $S_g = 2,3 \text{ кПа}$ согласно Приложению К к СП [2]). При определении ветровых нагрузок следует принять тип местности *B*, т.к. Объект окружен низкостажной окружающей застройкой.

2.2. Краткая характеристика исследуемого Объекта

Объемно-пространственное решение объекта представляет из себя композицию: трех башен (А, Б и В) на общем стилобате. Башни А и Б объединены надземным переходом на уровне 8 и 9 этажей.

Башня А возвышается над стилобатом на 14 этажей (в том числе верхний технический этаж), башня Б на 7 этажей, башня В на 8 этажей.

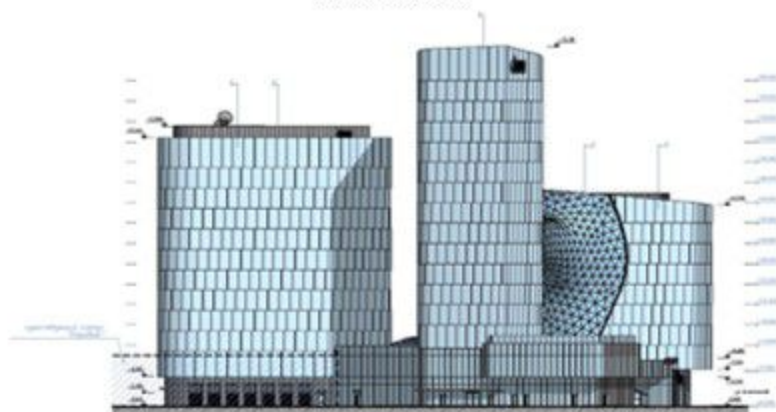
Геометрические параметры и архитектурный облик нового здания позволяют обеспечить его визуальное выделение среди окружающей застройки. Это выражается в этажности, общей высоте нового здания, его конфигурации, а также в стиливом решении его фасадов.

Надземная часть здания административно-производственного корпуса имеет сложную конфигурацию в плане. Проектируемое здание имеет четко выраженную функциональную структуру, развивающуюся по вертикали.

Основной объем стен выполнен сплошным витражным остеклением. Переход между башнями А и Б выполнен с панорамным остеклением. Высота этажей – 4,2 м.



Фасад боковой



Фасад боковой



Фасад дворовой

Рис. 2.5 Фасады [1]



Рис. 2.6 Рендеры объекта [1]

2.3. Постановка задач расчетных исследований

В соответствии с техническим заданием [1] и по результатам анализа и обобщения нормативной и проектной документации Объекта ставятся и решаются следующие задачи:

1. Разработка трехмерных численных моделей аэродинамики Объекта с учетом окружающей застройки и рельефа местности для 24-х (для ветровых нагрузок) и 8-и (для снеговых нагрузок) направлений ветра.
2. Численное моделирование распределения пиковых ветровых давлений на ограждающие (фасадные) конструкции Объекта.
3. Проведение математического (численного) моделирования снегопереноса на покрытиях Объекта;
4. Разработка на основе синтеза нормативных методик и результатов математического моделирования рекомендаций по назначению снеговых нагрузок на покрытие Объекта в виде инженерных схем расчетного коэффициента μ .

5.2. Распределения численно моделируемого коэффициента формы

При численном моделировании снегонакопления, варьируя скорость ветра, было выполнено по три аэродинамических расчёта для восьми направлений ветра для *Объекта* ($0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$) с учётом окружающей застройки. В соответствии с табл. 8.1 СП 131.13330.2020 Строительная климатология [3] средняя скорость ветра на высоте 10 м за зимний период для г. Казань составляет 3.1 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/м⁴, $w_f = 0.5$ м/с, $u_c = 0.22$ 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.

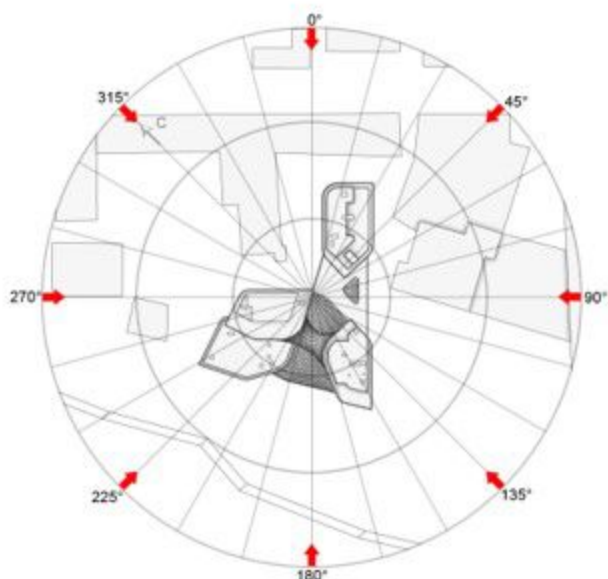


Рис. 5.13 Расчетные направления ветрового потока для покрытий *Объекта*

/

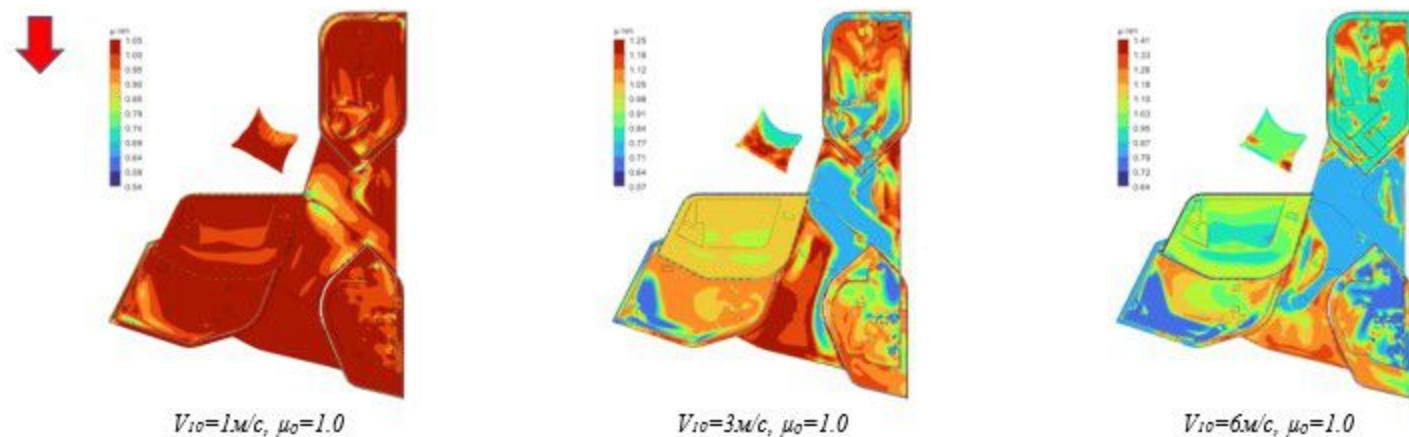


Рис. 5.14 Численно моделируемый коэффициент формы μ_{fm} для направления ветра 0° (с учётом окружающей застройки)

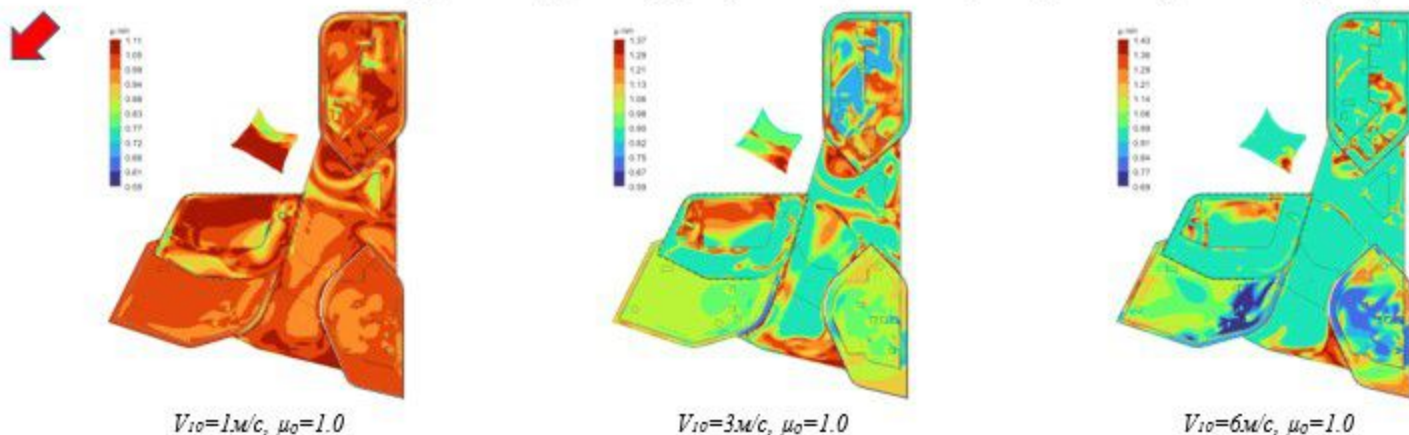
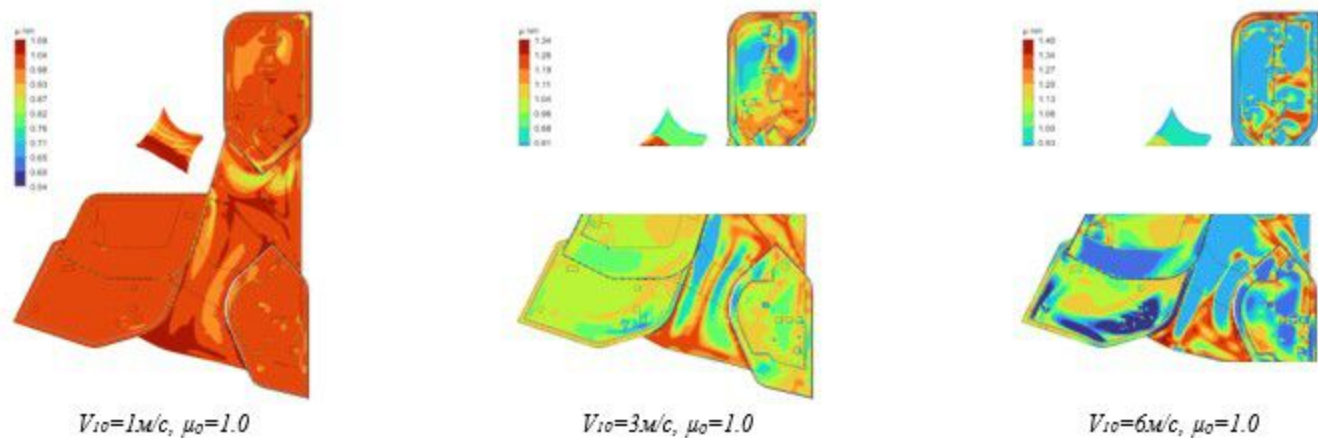
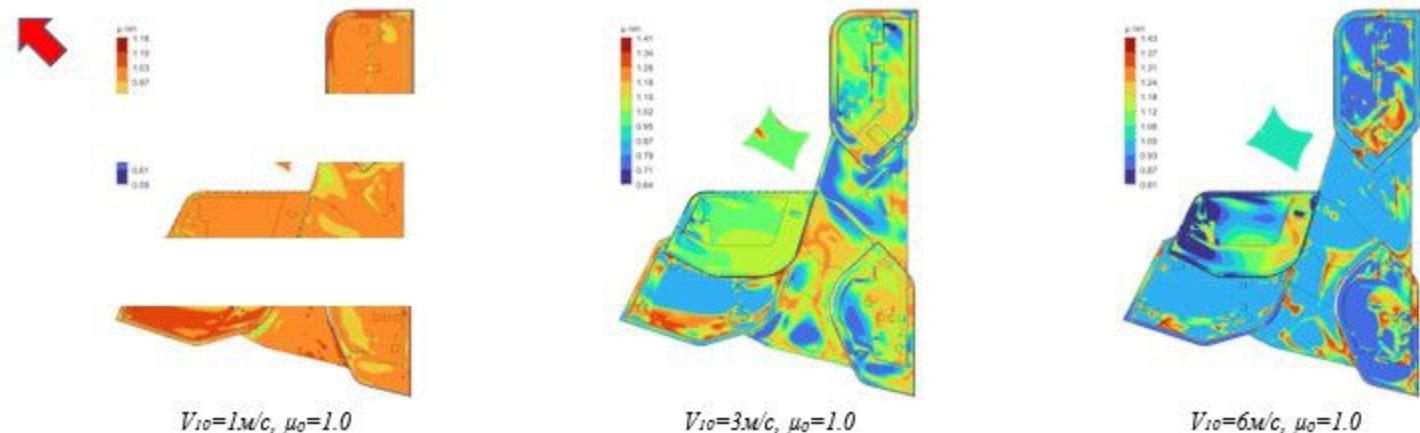


Рис. 5.15 Численно моделируемый коэффициент формы μ_{fm} для направления ветра 45° (с учётом окружающей застройки)

Рис. 5.16 Численно моделируемый коэффициент формы μ_{fm} для направления ветра 90° (с учётом окружающей застройки)Рис. 5.17 Численно моделируемый коэффициент формы μ_{fm} для направления ветра 135° (с учётом окружающей застройки)

Анализ и обобщение результатов

В силу сложной нестандартной формы покрытий *Объекта* при определении расчетных значений снеговых нагрузок применялся синтез нормативных рекомендаций и численного моделирования снегонакопления. 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. 5.1-5.12 и табл. 5.1 настоящего отчёта, полученные по схемам Б.1, Б.2, Б.3, Б.8, Б.13 Приложения Б к СП [2] и по результатам численного моделирования, представленным в разделе 5.2 настоящего отчёта.

Ввиду отсутствия устройств снегозадержания на покрытиях *Перехода* возможно аварийное падение снега на стеклянное покрытие *Блока Г*. Горизонтальная проекция площади участка *Перехода*, с которого возможно падение снега, составляет 166 м². Согласно пункту 2 предоставленного Эскизного проекта, снежный покров в районе строительства достигает высоты 0.64 м. Таким образом, на покрытие *Блока Г* возможно падение 106.24 м³ снега, что при различной плотности может составлять от 15.9 т (для свежеснежавшего рыхлого снега плотностью 150 кг/м³) до 32 т (для лежалого снега плотностью 300 кг/м³). В случае образования в снеговом покрове ледяных включений (плотностью до 900 кг/м³) в ходе циклов таяния и намерзания его вес может быть ещё больше.

В связи с этим **рекомендуется** установка устройств снегозадержания на покрытиях *Перехода*.

Выводы и рекомендации

В результате НИР, выполненной АО НИЦ СтаДиО по договору № ТГ/24-04-1 от 25.04.2024 г на тему Численное моделирование ветровых и снеговых нагрузок для объекта «Административно-производственный корпус ООО «ГАЗПРОМ ТРАНСГАЗ КАЗАНЬ», можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

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

- модель 1 для определения пиковых ветровых давлений на фасадные конструкции;
- модель 2 для моделирования снеговых нагрузок.

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 численного моделирования пиковых ветровых давлений при 24-х направлениях ветра с учетом существующей окружающей застройки выявлено следующее:

- максимальные значения расчетных *положительных* пиковых ветровых давлений не превышают 810 Па для 80% площади фасадов *Объекта*, находятся в диапазоне 850 - 950 Па – для 19%, превышают 950 Па – для 1%;
- максимальные абсолютные значения расчетных *отрицательных* пиковых ветровых давлений не превышают 1 600 Па для 80% площади фасадов *Объекта*, находятся в диапазоне 1 600 - 2 400 Па – для 15%, находятся в диапазоне 2 400 - 3 400 Па – для 4%, превышают 3 400 Па – для 1%.

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

Пиковые ветровые нагрузки на тонкие ограждения на стилобате и покрытиях корпусов следует определять как векторную разность пиковых положительных давлений с одной стороны и пиковых отрицательных давлений с другой стороны.

В прочностных расчетах в зависимости от грузовой площади следует умножать приведенные в главе 4 значения на коэффициент корреляции ветровых давлений $v_{1(-)}$ согласно п. 11.2 СП 20.1330.2016.

Для вентилируемых фасадных систем следует дополнительно учесть внутреннее ветровое давление согласно п. В.1.9 СП 20.13330 ($c_i = +0.2$ для положительных внешних давлений и $c_i = -0.2$ – для отрицательных). Соответствующие расчетные значения внутренних давлений $w_i = \pm 120$ Па.

4. В силу сложной нестандартной формы покрытий Объекта при определении расчетных значений снеговых нагрузок применялся синтез нормативных рекомендаций и численного моделирования снегонакопления. 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. 5.1-5.12 и табл. 5.1 настоящего отчёта, полученные по схемам Б.1, Б.2, Б.3, Б.8, Б.13 Приложения Б к СП 20.13330.2016 и по результатам математического (численного) моделирования, представленным в разделе 5.2 настоящего отчёта.

Также **рекомендуется** установка устройств снегозадержания на покрытиях *Перехода*.