

# Научно-исследовательский центр СтаДиО

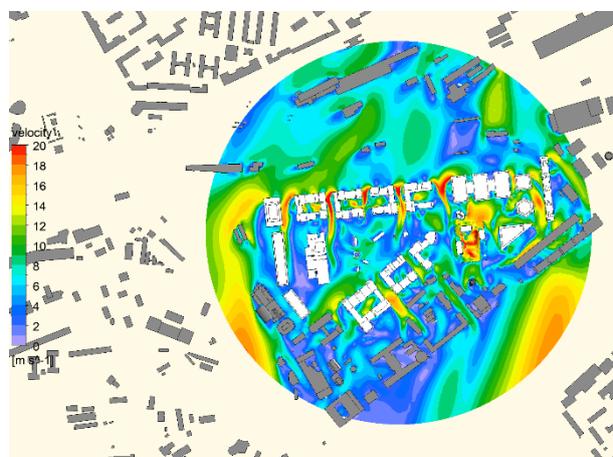
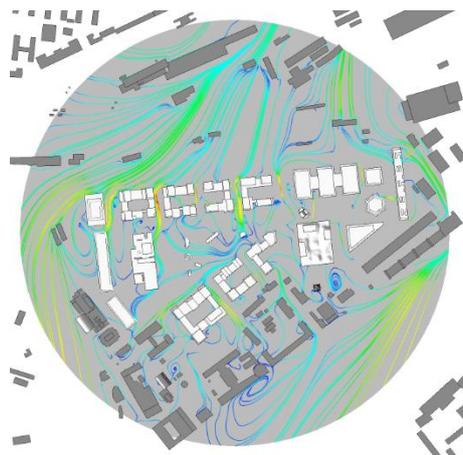
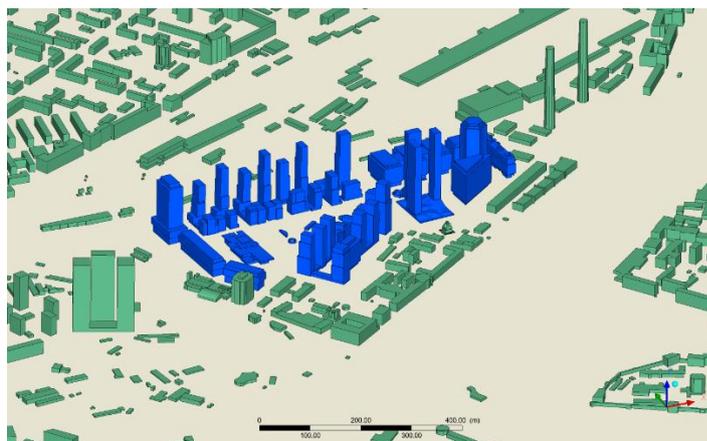
Свидетельство СРО «АПОЭК» - Ассоциации «Проектировщики оборонного и энергетического комплексов»  
Номер решения о приеме в члены СРО № 06-ПСС-38/2018 от 20.06.2018 г.

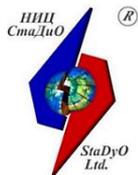
123098, Москва, пл. акад. Курчатова, 1, т. (499)706-8810, e-mail: [stadyo@stadyo.ru](mailto:stadyo@stadyo.ru), Web-site: [www.stadyo.ru](http://www.stadyo.ru)

Инв. № 04-МИ-10/21/1

## Научно-технический отчет по договору № 04-МИ-10/21 от 06.10.2021

**«Определение параметров ветровой комфортности пешеходных зон на основе численного решения трёхмерных задач аэродинамики по объекту: «Многофункциональная застройка на участке: г. Москва, ЗАО, Бережковская Набережная. влд. 20, влд. 20Б»».**





# Научно-исследовательский центр **СтаДиО**

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

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

Инв. № 04-МИ-10/21/1

«Утверждаю»

Генеральный директор ЗАО НИЦ СтаДиО

  
\_\_\_\_\_  
**А.М.Белостоцкий**  
\_\_\_\_\_ 2022 г.



## Научно-технический отчет по договору № 04-МИ-10/21 от 06.10.2021

**«Определение параметров ветровой комфортности пешеходных зон на основе численного решения трёхмерных задач аэродинамики по объекту: “Многофункциональная застройка на участке: г. Москва, ЗАО, Бережковская Набережная. влд. 20, влд. 20Б”».**

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

Исполнители:  
**О.С. Горячевский**  
**А.Ю. Купреева**

Москва, 2022

## Список исполнителей

### *Руководители работы:*

Ген. директор НИЦ СтаДиО,

док. техн. наук, член-корр.

РААСН

Заведующий отделом

расчетных исследований,

канд. техн. наук.

*А.М. Белостоцкий*

(научное руководство, постановка задач,  
анализ результатов, общее редактирование отчета)

*Д.С. Дмитриев*

(сбор и анализ технической документации,  
постановка задач, общее редактирование отчета)

### *Ответственный исполнитель:*

Ведущий инженер-расчетчик

*О.С. Горячевский*

(анализ тех. документации и нормативно-методической  
литературы, постановка задач расчетных исследований,  
общее редактирование отчета)

### *Исполнители:*

Инженер-расчетчик

*А.Ю. Купреева*

(анализ тех. документации, разработка расчетных  
моделей, анализ и представление результатов,  
формирование отчета)

## Исходные данные. Постановка задач

### 1.1. Площадка строительства, рельеф и застройка объекта

Земельный участок под строительство Объекта находится на западе Москвы на правом берегу Москвы реки между Бережковской набережной и ТТК (рис. 2.1).

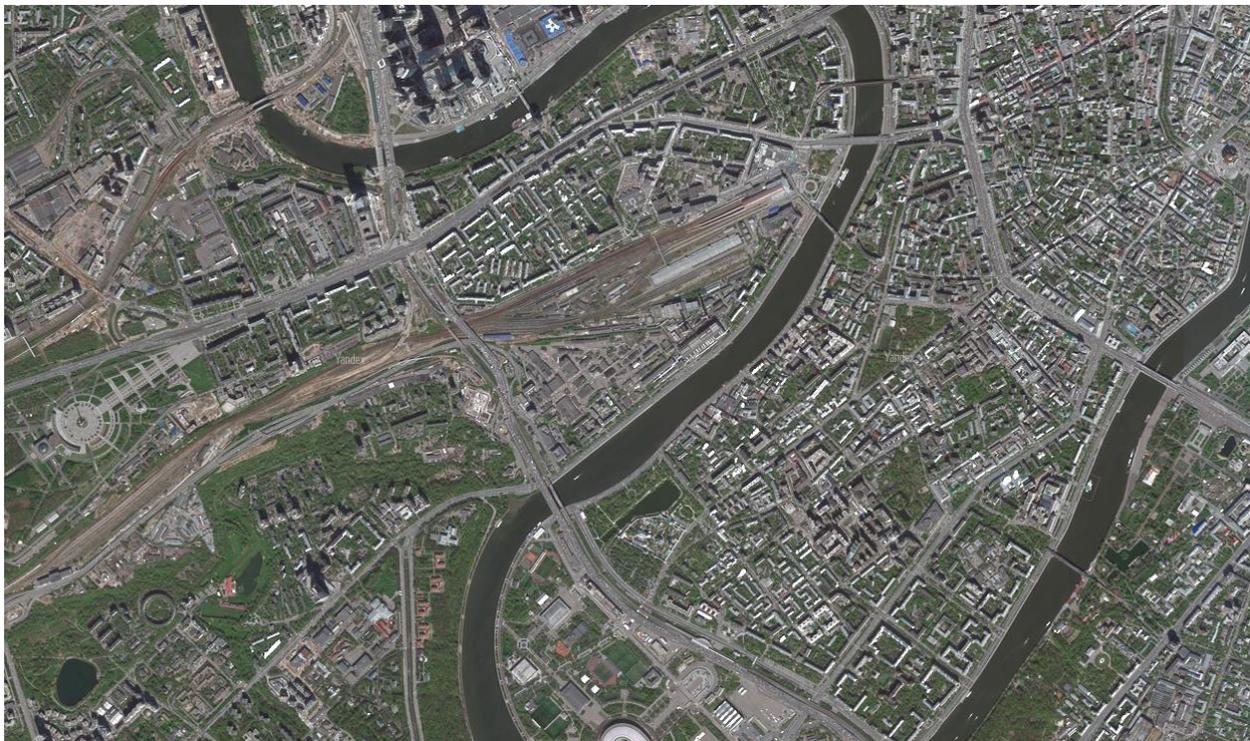


Рис. 0.1 Карта местности возле площадки строительства (<https://yandex.ru/maps/>)

В Москве, как и в других больших городах мира, естественно-погодные условия в значительной степени подвержены воздействиям самого города, его сложного хозяйства. Внутри города наблюдаются микроклиматические различия, обусловленные территориальной застройкой, размещением промышленных установок, характером подстилающей поверхности, рельефом.

Москва – это возвышенные северные и южные окраины столицы и замкнутая между ними котловина центральной части города, открывающаяся к востоку и юго-востоку.

В целом территория Москвы равнинная. Основная часть города расположена на высоте 30-35 м над уровнем Москвы-реки (150 м над уровнем моря). Самая высокая часть Москвы приурочена к Теплостанской возвышенности (около 250 м над уровнем моря), расположенной на Юге и Юго-Западе города. Самые низкие части города, восточная и юго-восточная относятся к окраине Мещерской равнины (рис. 2.2)

Климатические условия определяются преобладающими над городом ветрами Западного и Северо-Западного направлений, переносящими с воздушными потоками в Восточном направлении огромное количество загрязняющих веществ. Юго-Восточный ветер осложняет жизнь горожан переносом дыма торфяников.

Важную роль также играют местные особенности погоды, характерные для больших городов. Кроме того, в окраинных районах повторяемость сильного ветра практически вдвое больше, чем в центре – эффект плотности застройки города и радиально-кольцевого

расположения улиц. Последний фактор порождает особую систему ветров внутри Москвы – «городские бризы» с окраин в центр города.

Весь этот естественный природный фон усиливает воздействие антропогенных факторов. Недоучет ветрового режима при формировании застроек привел к тому, что появились микрорайоны, где скорость ветра не снижается, как это бывает обычно в условиях города, а увеличивается на 20% и более, когда на торцевых разрывах между зданиями происходит сильное сужение потоков воздуха (Крылатское, Нагатинская набережная), в результате создаются условия дискомфорта.

Участок строительства не имеет значимых перепадов рельефа. Проходящее рядом с участком русло Москвы-реки (рис. 2.3) не оказывает значительного влияния на распределение скоростей ветра в районе Объекта, что позволяет не учитывать его в расчетах.

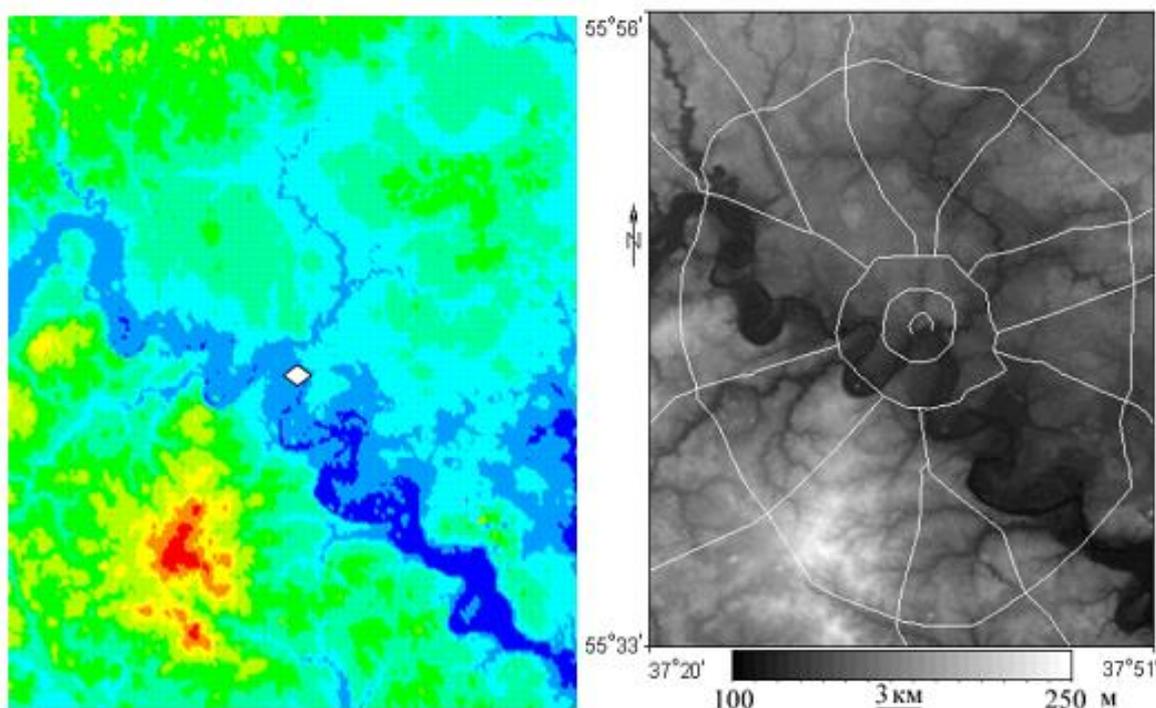


Рис. 0.2 Карта высот Москвы по данным ShuttleRadarTopographyMission. Красным показана высшая точка Москвы –Теплостанская возвышенность (254 м над уровнем моря)

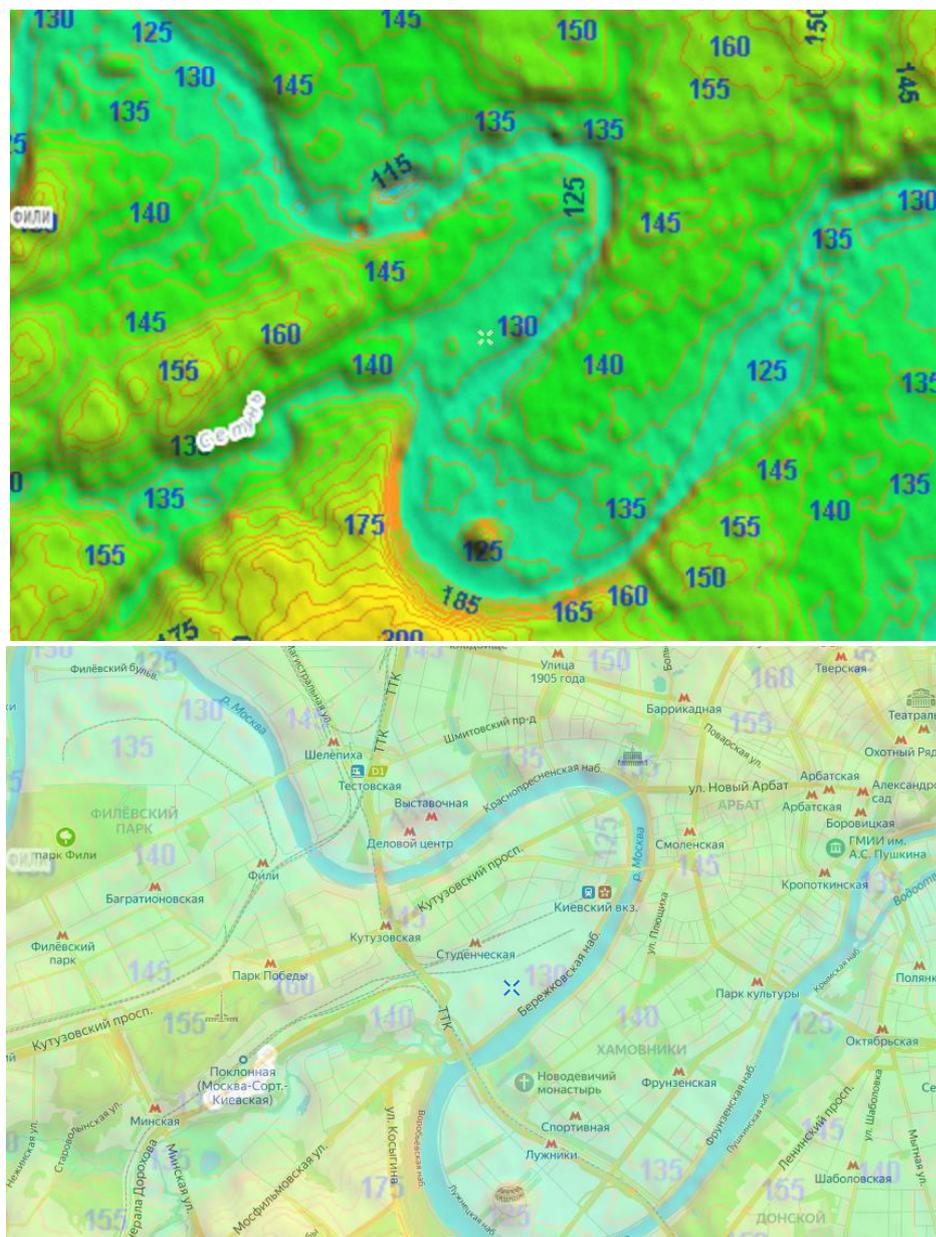


Рис. 0.3 Карта высот возле площадки строительства (EtoMesto.ru и Yandex.ru/maps).

Наблюдения за состоянием атмосферного воздуха столицы показали, что относительно комфортными по состоянию воздушной среды условиями для проживания населения можно считать Юго-Западный (Ясенево, Теплый Стан) и Северо-Западный (Строгино, Тушино) административные округа города.

Получение официальных метеоданных для конкретной площадки порой занимает длительное время, и полнота их недостаточна. Существующая система метеостанций не учитывает специфики и не определяет скорости ветра в порывах, оперируя весьма осредненными данными.

Информация по профилям ветра для г. Москвы практически отсутствует даже для зон планируемого высотного строительства. В последние несколько лет зарегистрированы внезапные шквальные ветры значительной разрушительной силы (скорость по некоторым оценкам превышала 40 м/с). Во всех случаях (вне зависимости от места строительства) предлагается использовать, как правило, данные метеостанции МГУ, находящейся в зоне ветрового затенения в окружении лесопарка и не регистрирующей ветры сильной интенсивности.

В работе использовались статистические данные о ветровых режимах, накопленные обсерваторией Михельсона в период с 1966 по 1998 гг.

Для справки на графиках (рис. 0.4-0.5) показаны вероятные направления ветра для периодов длительностью 5, 50 и 500 лет. Относительная повторяемость ветров (доля от количества часов в год) по данным метеостанции Михельсона в табличном виде представлена в табл. 2.1. Роза ветров, построенная по этой таблице безотносительно скорости ветра, представлена на рис. 2.5.

В расчетных исследованиях использовался профиль ветра согласно СП 20.13330.2016 (I ветровой район, тип местности – В).

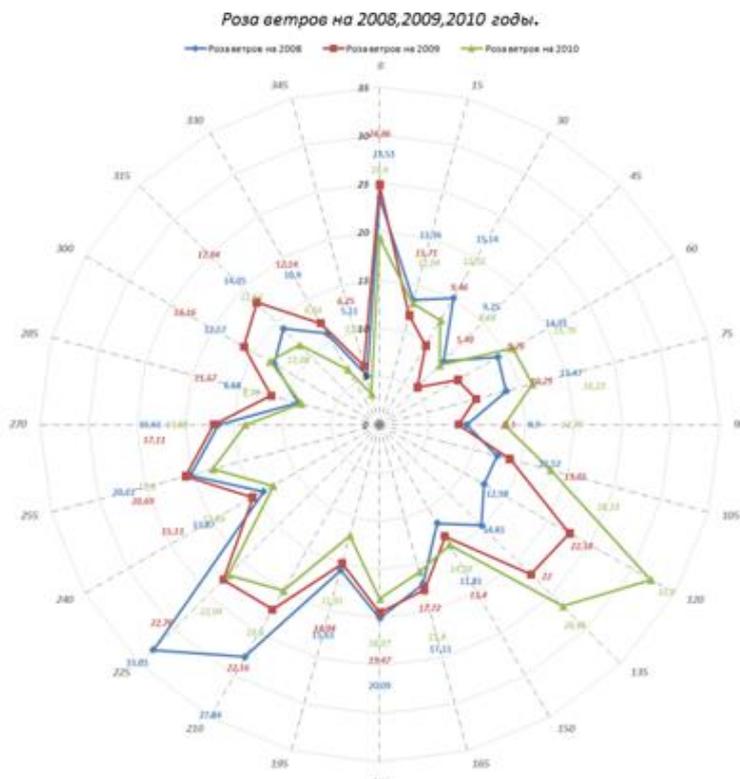


Рис. 0.4 Направление и повторяемость ветров на высоте 300м (часов в год) по данным метеостанции на Останкинской телебашне по данным за 2008-2010 гг.

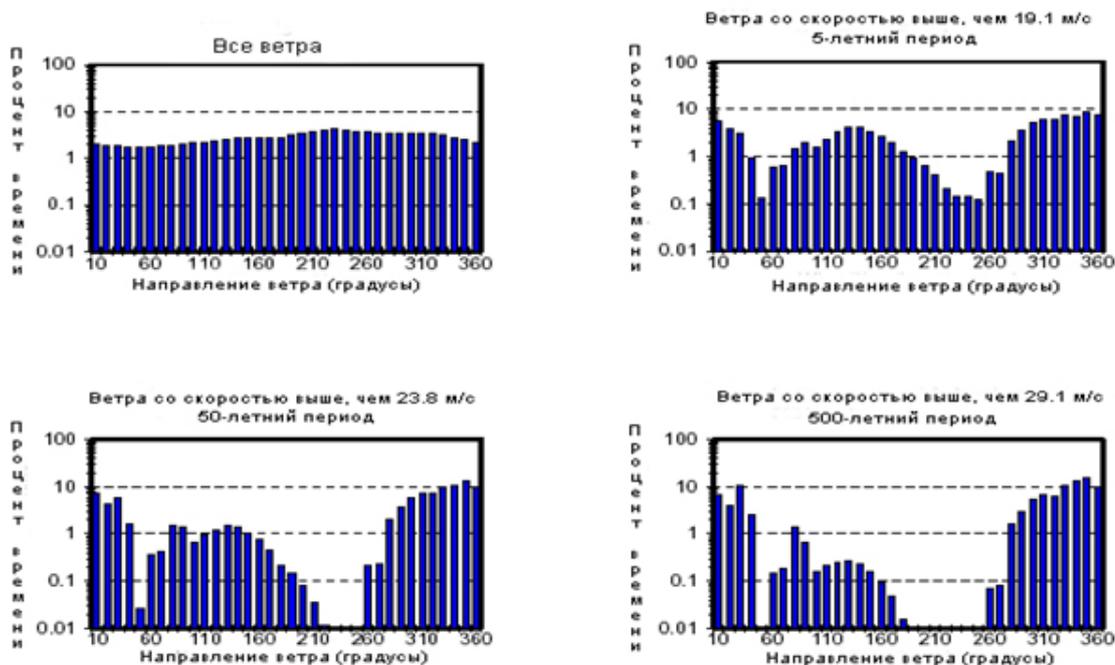


Рис. 0.5 Направление и повторяемость ветров на высоте 10 м (часов в год) по данным метеостанции им. Михельсона

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here.** 1. Направление и относительная повторяемость ветров на высоте 10 м по данным метеостанции им. Михельсона. Отсчет углов от Севера к Востоку

| Угол | % год | Скорости ветра, м/с |         |         |         |         |          |           |           |           |
|------|-------|---------------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|-----------|-----------|
|      |       | 0-1.5               | 1.5-3.5 | 3.5-5.5 | 5.5-7.5 | 7.5-9.5 | 9.5-11.5 | 11.5-13.5 | 13.5-15.5 | 15.5-17.5 |
| 0    | 2,58  | 0,0058              | 0,0115  | 0,006   | 0,0018  | 0,0003  | 4E-05    | 2E-05     | 2E-05     | 0         |
| 15   | 3,23  | 0,0099              | 0,0144  | 0,0057  | 0,0016  | 0,0003  | 3E-05    | 2E-05     | 7E-06     | 0         |
| 30   | 3,01  | 0,0095              | 0,0136  | 0,0051  | 0,0013  | 0,0002  | 3E-05    | 1E-05     | 0         | 0         |
| 45   | 1,91  | 0,0047              | 0,0089  | 0,0042  | 0,0009  | 4E-05   | 2E-05    | 8E-06     | 0         | 0         |
| 60   | 3,01  | 0,0093              | 0,0139  | 0,0053  | 0,0011  | 0,0001  | 4E-05    | 3E-06     | 0         | 0         |
| 75   | 3,12  | 0,0099              | 0,0118  | 0,007   | 0,0017  | 0,0003  | 6E-05    | 3E-06     | 0         | 3E-06     |
| 90   | 2,23  | 0,0067              | 0,0027  | 0,0092  | 0,0029  | 0,0005  | 9E-05    | 8E-06     | 0         | 8E-06     |
| 105  | 2,86  | 0,0072              | 0,0093  | 0,0083  | 0,0026  | 0,0007  | 0,0001   | 5E-05     | 8E-06     | 1E-05     |
| 120  | 3,45  | 0,0066              | 0,0135  | 0,0093  | 0,0033  | 0,001   | 0,0002   | 1E-04     | 2E-05     | 1E-05     |
| 135  | 3,99  | 0,005               | 0,0154  | 0,0121  | 0,0051  | 0,0013  | 0,0004   | 0,0001    | 3E-05     | 0         |
| 150  | 5,44  | 0,0105              | 0,0227  | 0,0146  | 0,0045  | 0,001   | 0,0002   | 7E-05     | 5E-05     | 6E-06     |
| 165  | 5,69  | 0,0112              | 0,0253  | 0,0148  | 0,0039  | 0,0009  | 0,0001   | 3E-05     | 4E-05     | 6E-06     |
| 180  | 4,73  | 0,0072              | 0,0228  | 0,0126  | 0,0032  | 0,0007  | 0,0001   | 2E-05     | 6E-06     | 0         |
| 195  | 5,83  | 0,0125              | 0,0278  | 0,0138  | 0,0029  | 0,0005  | 1E-04    | 6E-06     | 6E-06     | 0         |
| 210  | 5,89  | 0,0127              | 0,0279  | 0,0142  | 0,0029  | 0,0004  | 9E-05    | 5E-06     | 4E-06     | 0         |
| 225  | 4,91  | 0,0078              | 0,0232  | 0,0138  | 0,0033  | 0,0004  | 0,0001   | 1E-05     | 0         | 0         |
| 240  | 6,39  | 0,0126              | 0,0289  | 0,017   | 0,0039  | 0,0007  | 0,0001   | 2E-05     | 2E-06     | 0         |
| 255  | 6,35  | 0,0123              | 0,0282  | 0,0172  | 0,0041  | 0,0008  | 0,0001   | 3E-05     | 5E-06     | 0         |
| 270  | 4,80  | 0,0069              | 0,0211  | 0,0146  | 0,0039  | 0,0007  | 0,0001   | 6E-05     | 8E-06     | 0         |
| 285  | 4,97  | 0,0094              | 0,0214  | 0,0134  | 0,0037  | 0,0009  | 0,0002   | 7E-05     | 7E-06     | 0         |
| 300  | 4,51  | 0,0084              | 0,0183  | 0,0124  | 0,004   | 0,001   | 0,0003   | 7E-05     | 1E-05     | 3E-06     |
| 315  | 3,41  | 0,0039              | 0,0121  | 0,0116  | 0,0048  | 0,001   | 0,0002   | 6E-05     | 2E-05     | 8E-06     |
| 330  | 3,99  | 0,0068              | 0,0154  | 0,012   | 0,004   | 0,001   | 0,0002   | 8E-05     | 4E-05     | 3E-06     |
| 345  | 3,71  | 0,0074              | 0,0153  | 0,0101  | 0,003   | 0,0007  | 0,0001   | 7E-05     | 4E-05     | 0         |

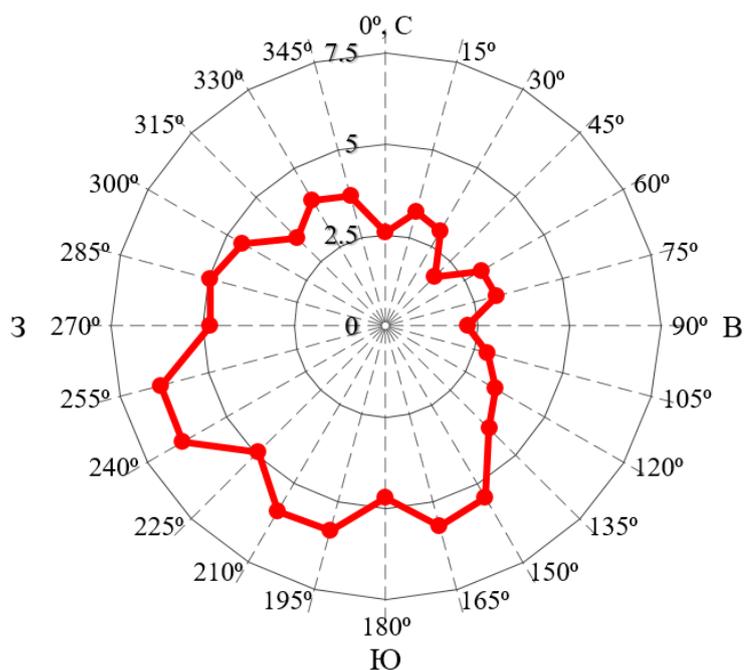


Рис. 0.6 Повторяемость ветров по табл. 2.1, %

## Разработка и верификация расчётных моделей

Расчетные аэродинамические модели Объекта создавались с учетом окружающей застройки исходные данным: 3D-модели (Rhinoceros 3D –формат .3dm), выданной Заказчиком [1].

Расчеты проводились в стационарной постановке для 24 направлений ветра – основные расчеты для получения оценок пешеходной комфортности.

### 1.2. Геометрические модели

Практическая подготовка расчетных моделей начинается с создания геометрической объемной модели Объекта и окружающей застройки. Геометрия зданий и сооружений Объекта выполнена согласно исходным данным. Фасадные конструкции моделировались с низкой детализацией, т.к. это практически не влияет на параметры пешеходной комфортности.

Объемные геометрические модели создавались в модуле ANSYS SpaceClaim (рис. 4.1-4.2).

Начало координат расположено примерно в геометрическом центре плана проектируемой застройки (отметка 0.00).



Рис. 0.1 Геометрическая модель. Общий вид  
Зеленые – исследуемые сооружения.

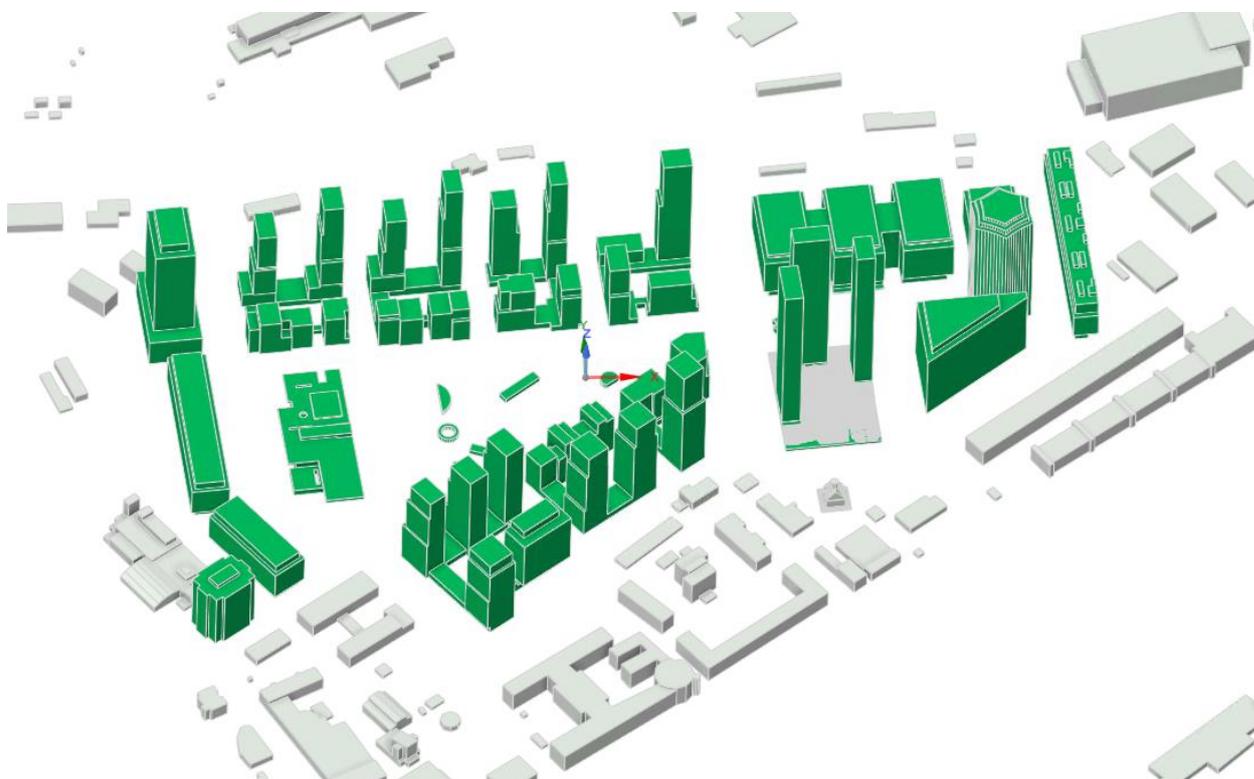


Рис. 0.2 Геометрическая модель. Вид вблизи Объекта.

### 1.3. Конечнообъемные сетки

Конечнообъемные сетки для последующих расчетов формируются следующим образом: после создания в модуле ANSYS SpaceClaim геометрическая модель Объекта (см. рис. 4.1-4.2) «вычитается» из объема воздушного пространства. Расчетный объем воздушного пространства представляет из себя цилиндр радиусом 1650 м и высотой 800 м. Затем полученное воздушное пространство делится на ряд частей с целью оптимизации количества конечных объемов. Далее в модуле ANSYS Meshing в полученном объеме создается конечнообъемная сетка из тетраэдров (рис. 4.3-4.5) и назначаются поверхности сбора аэродинамических нагрузок (для удобства дальнейшего присвоения граничных условий в препроцессоре ANSYS CFX-PRE и обработки результатов расчетов в постпроцессоре ANSYS CFD-POST).

В областях, где ожидается высокий градиент скоростей ветра и давлений, создается качественная мелкая сетка, в других областях – более грубая. Параметры используемых для расчетов конечнообъемных сеток представлены в табл. 4.1.

Пограничный слой над землей и нижними поверхностями исследуемых корпусов рядом тонких (в нормальном к поверхности направлении) в количестве 5 шт.

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here.**1 Параметры конечнообъемных сеток

| Местоположение   | Размер элементов у поверхностей, м | Размер элементов в объеме, м                         |
|--|------------------------------------|--|
| во внутреннем вспомогательном объеме вокруг наиболее детализированных зданий концепции | 0,5 м                              | 0,5 м на высотах 0-20 м<br>1,5 м на высотах 20-200 м |
| в кольце радиусом до 800 м   | 6 м                                | 4 м  |
| в кольце между радиусами 800-1250 м  | 8 м                                | 6 м  |
| в кольце между радиусами 550-1000 м  | 10 м                               | 8 м  |

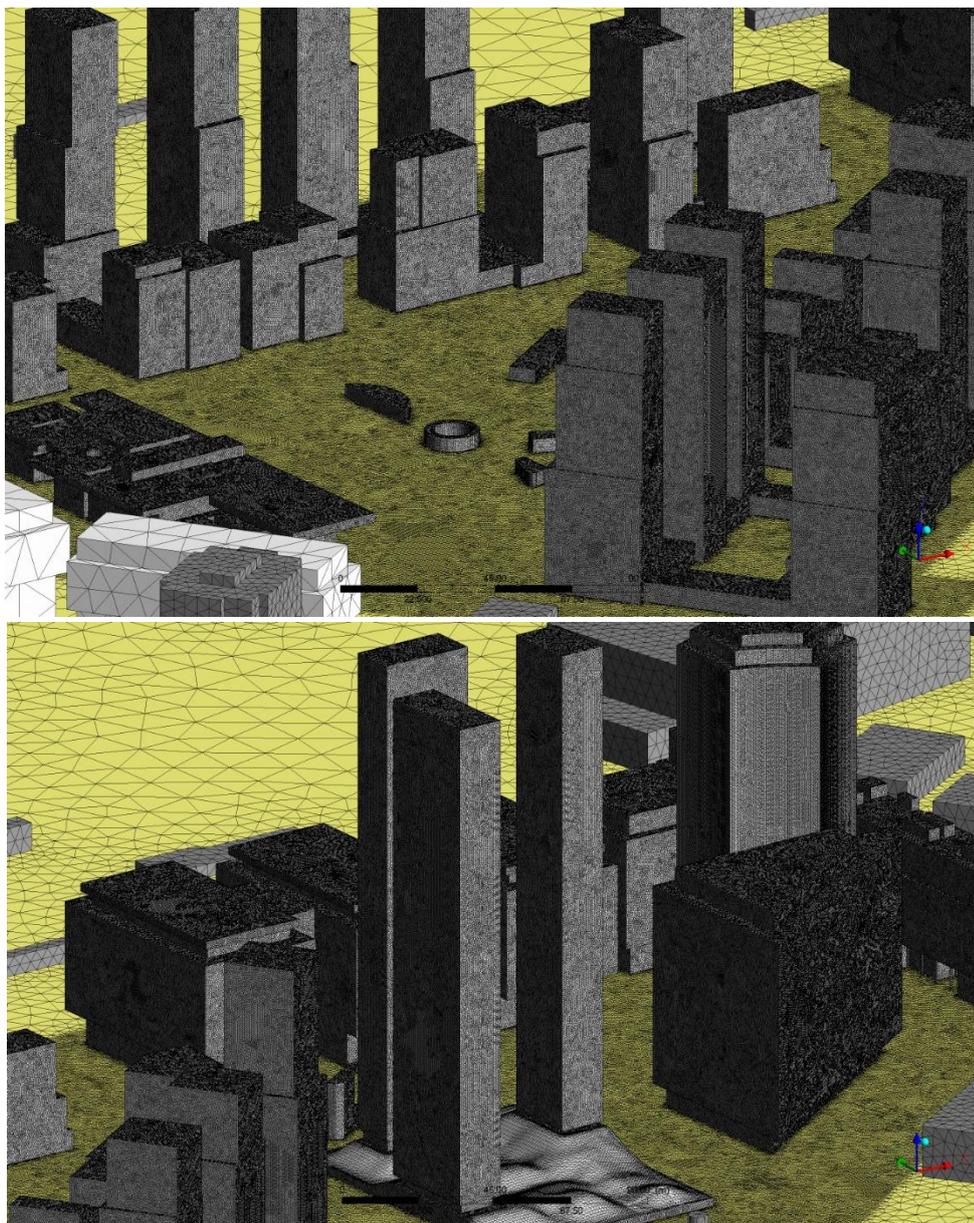


Рис. 0.3 Фрагмент сетки на поверхностях модели

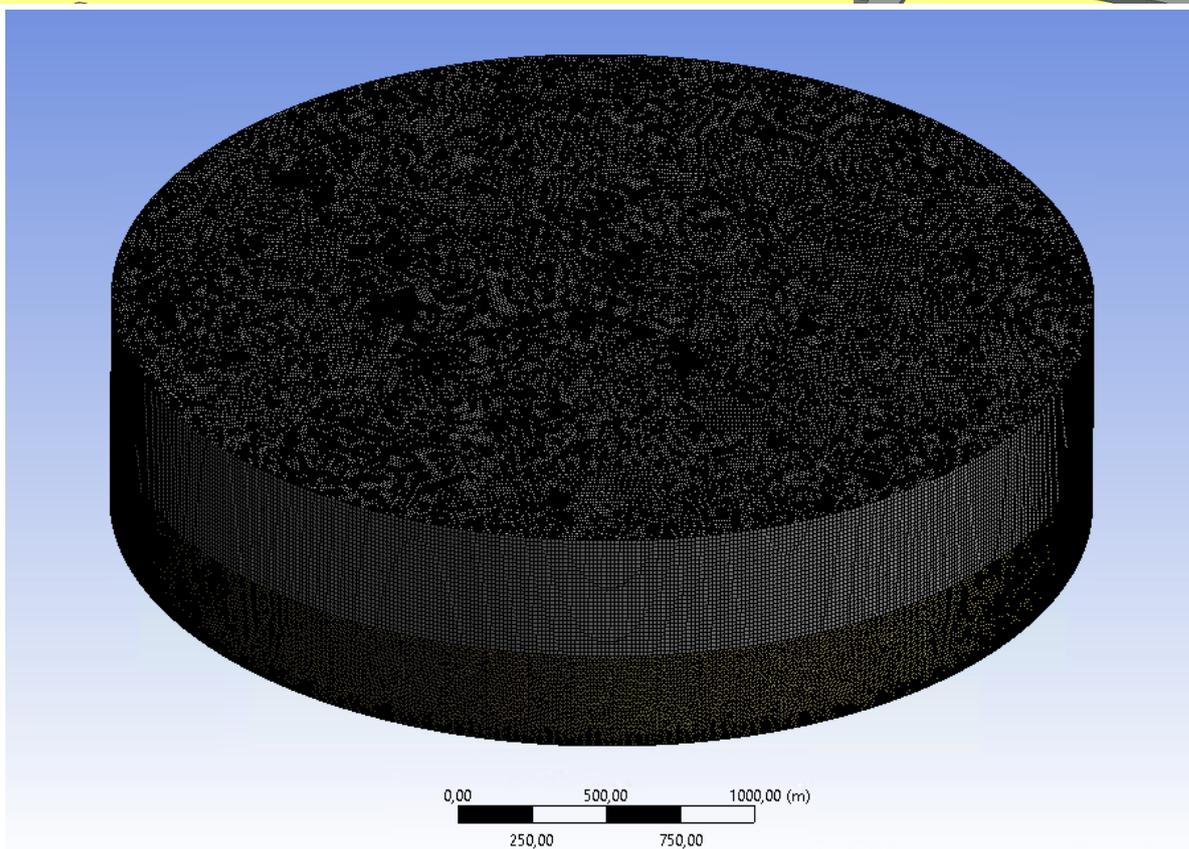
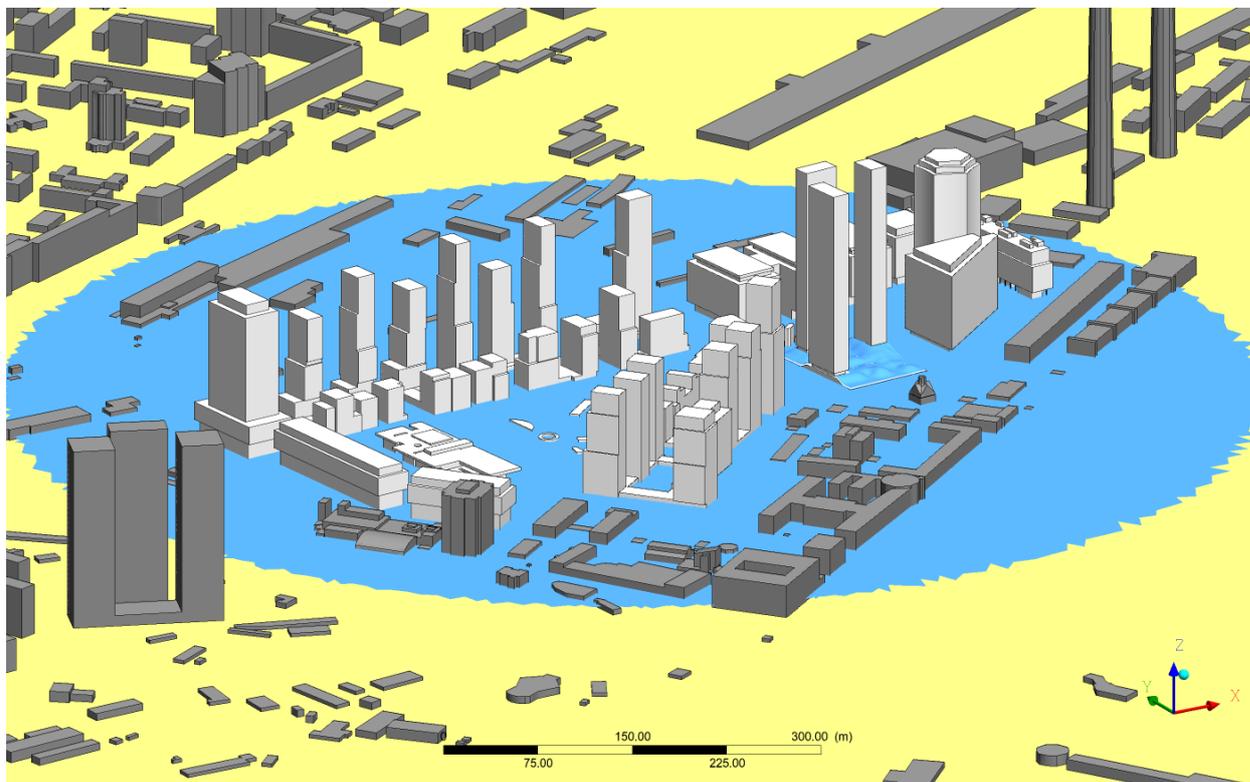
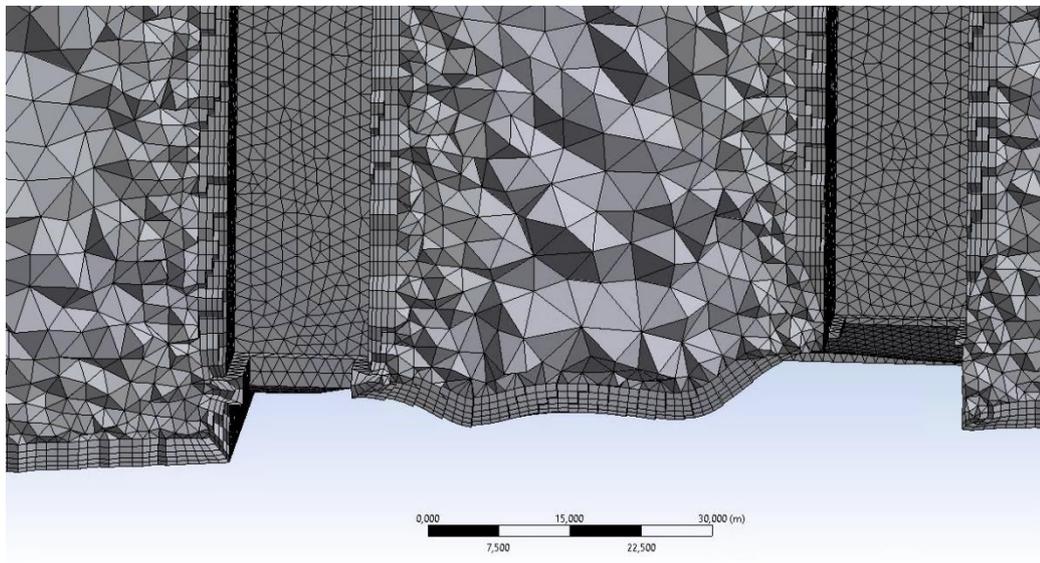
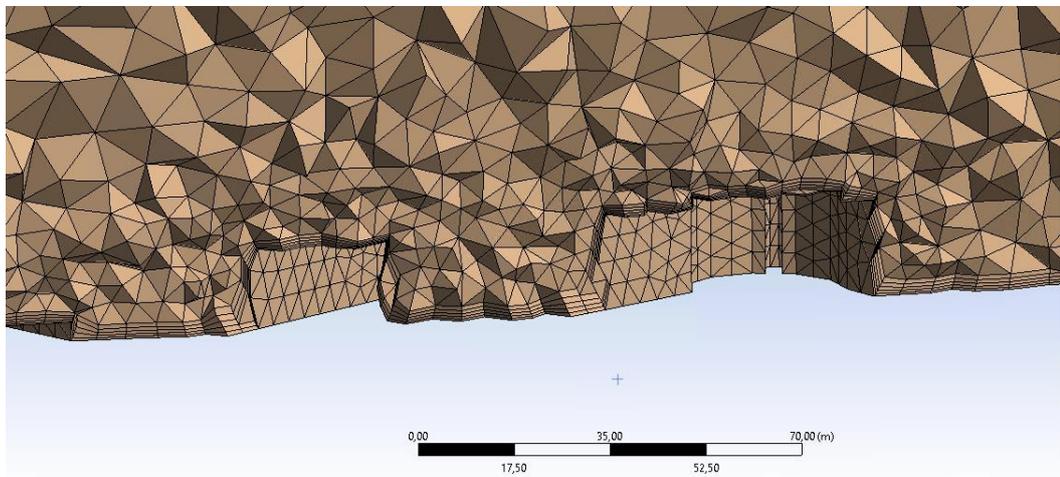
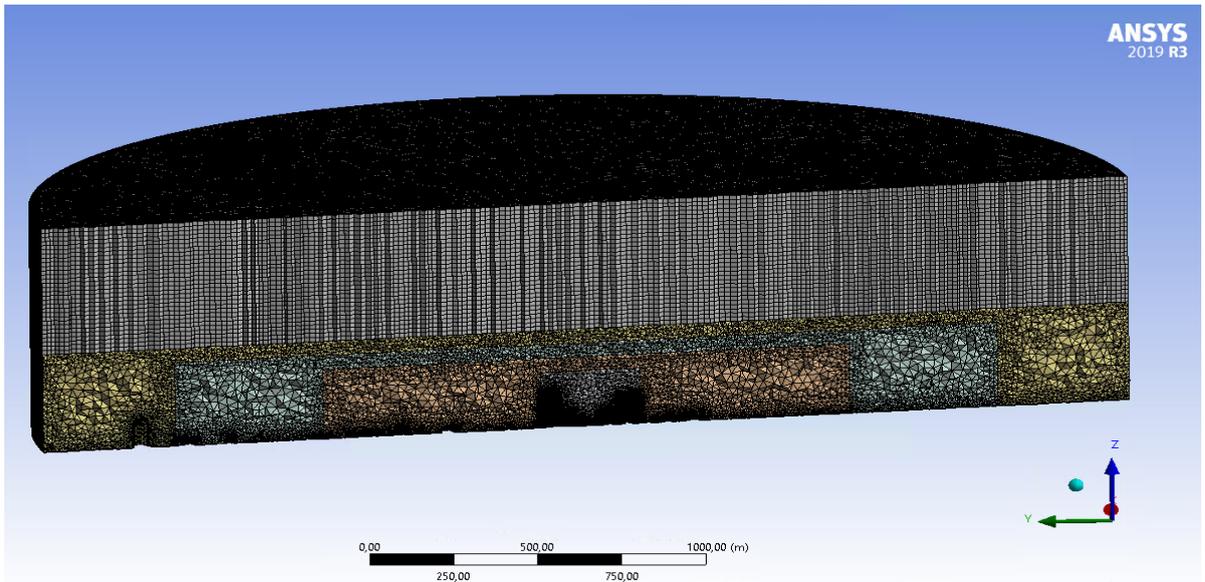


Рис. 0.4 Конечнообъемная сетка модели  
(16 510 263 узлов / конечных объемов)



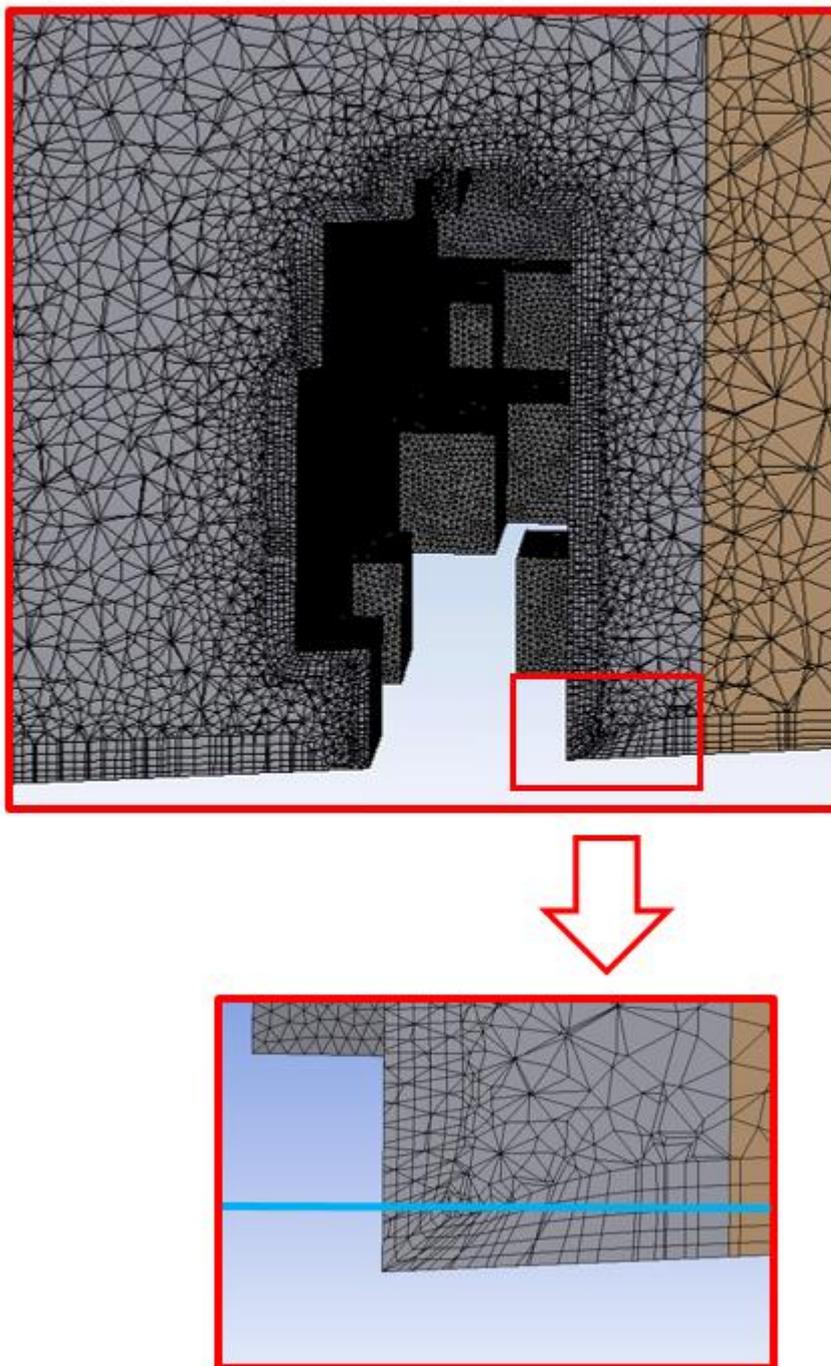


Рис. 0.5 Разрез конечнообъемной модели.

Синяя линия – отметка высоты, на которой происходит оценка пешеходной комфортности

#### 1.4. Граничные и начальные условия

Области расчета (см. рис. 4.6) присвоен домен Air (Воздух) со следующими физическими параметрами: тип среды – несжимаемый воздух при температуре (25°C) и давление 1 атм.

Граничные условия на "входе" (*INLET*) по форме соответствуют нормативному профилю [2] (тип местности А), отмасштабированному до скорости 4 м/с на высоте 10 м, что соответствует средней скорости ветра. Зависимости скорости и кинетической энергии турбулентности от высоты над землей представлены на рис. 4.7. Масштаб турбулентности принят равным 300 м в соответствии с рекомендациями Eurocode [8].

На "выходе" (*OUTLET*) и на верхней границе области потоку назначаются "мягкие" граничные условия Opening с нулевыми дополнительными давлениями и такими же параметрами турбулентности, как и на "входе".

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

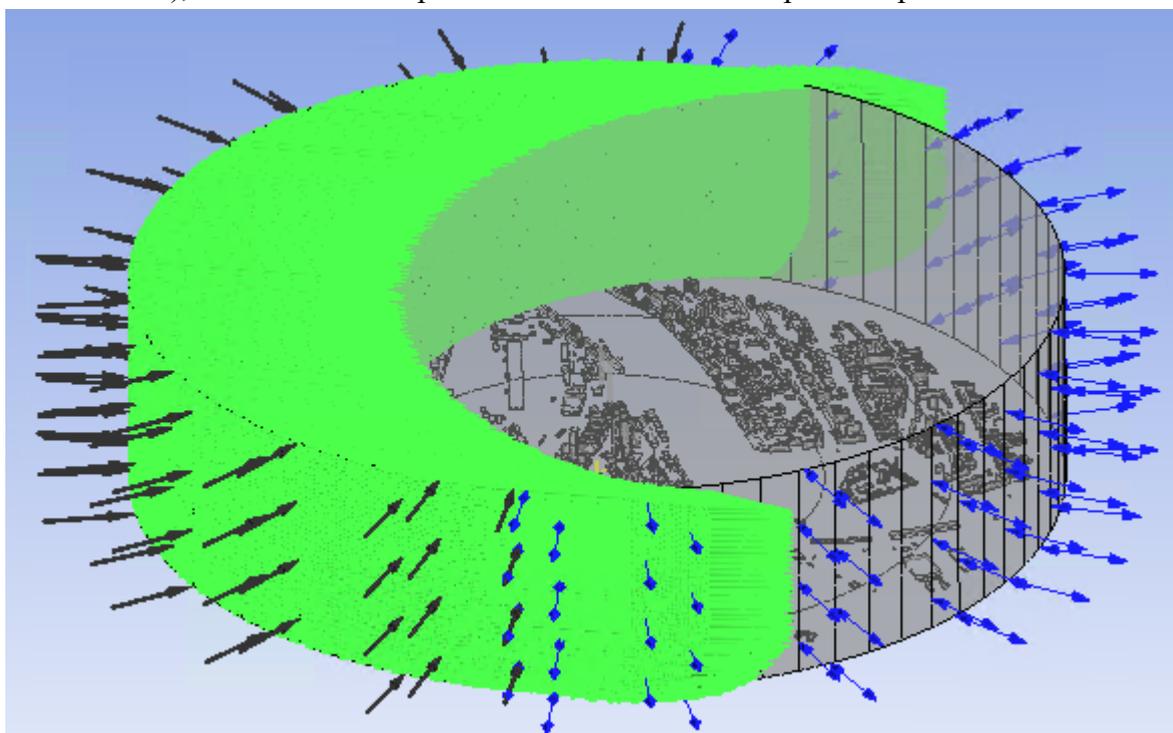


Рис. 0.6 Расчетная область модели 1 (ANSYS CFX) с обозначенными граничными условиями (зеленые стрелки – Inlet, синие стрелки – Outlet). Угол атаки 0°

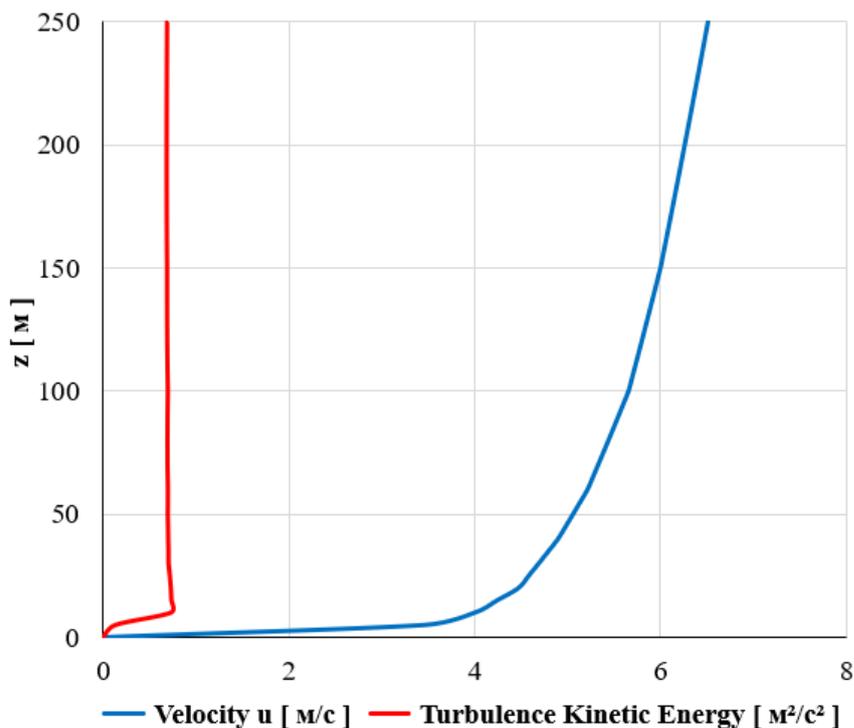


Рис. 0.7 Профили кинетической энергии турбулентности *TKE* (красная линия), м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>, и скорости ветра  $u$  (синяя линия), м/с, для первого ветрового района

### 1.5. Параметры расчетов

Математическое (численное) моделирование ветровых потоков с последующим определением параметров ветровой комфортности пешеходных зон проводилось в *стационарной постановке* с использованием подхода турбулентности *RANS* (модель турбулентности *SST*) при 24-ти направлениях ветра (углы атаки ветра от 0° до 345° с шагом 15°). Критерием окончания счета назначено максимальное количество итераций – 100 или достижение максимальных невязок по давлению и по всем компонентам скорости 10<sup>-5</sup>.

## Выводы и рекомендации

По результатам выполненной НИР ««Определение параметров ветровой комфортности пешеходных зон на основе численного решения трёхмерных задач аэродинамики по объекту: “Многофункциональная застройка на участке: г. Москва, ЗАО, Бережковская Набережная. влд. 20, влд. 20Б”», можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

Проведен анализ ветровых режимов района строительства, особенностей локального рельефа местности, проектируемой застройки и конструктивно-архитектурных особенностей Объекта.

1. Описаны нормативные и численные методики определения ветровых нагрузок и воздействий.
2. Разработаны и верифицированы трехмерные CFD-модели исследуемых сооружений с учетом окружающей застройки.
3. На основе численного моделирования в стационарной постановке определены максимальные скорости ураганного ветра и коэффициенты усиления средней скорости ветра для 24 направлений ветра.
4. На основе результатов стационарных расчетов для 24 направлений ветра получены суммарные схемы распределения времени ветрового «дискомфорта» в пешеходных зонах.
5. Критерии ветровой комфортности пешеходных зон нарушаются в двух зонах: в промежутке между двумя зданиями на севере участка (см. вторые изображения на рис. 5.11-5.12) и на стилобатной части трёх самых высоких зданий в восточной части участка. Наиболее заметно превышение по 1-му критерию ( $V_{cr1} = 6\text{м/с}$  не дольше  $K_{cr1} = 1000$  часов в год). Так, в зоне между зданиями продолжительность превышения скорости в  $6\text{м/с}$  достигает 3140 часов. По второму критерию ( $V_{cr1} = 12\text{м/с}$  не дольше  $K_{cr1} = 50$  часов в год) условия нарушаются в тех же зонах. По третьему критерию ( $V_{cr1} = 20\text{м/с}$  не дольше  $K_{cr1} = 5$  часов в год) превышений на всем участке проектирования не наблюдается.
6. За исключением двух описанных зон проектируемая застройка в целом отвечает условиям достаточной пешеходной комфортности. С точки зрения аэродинамики, центральная части участка, где планируется располагать объекты благоустройства, спортивные площадки и пр., хорошо защищена от ветра.
7. Для улучшения параметров ветровой комфортности в пешеходных зонах Объекта рекомендуем предусмотреть стандартные ветрозащитные мероприятия. Например, расположить к северу от прохода между северными зданиями и на стилобате высоких башен озеленение, малые архитектурные формы.
8. При изменении проекта рекомендуем провести повторные расчеты для актуализации и уточнения полученных результатов.