

# 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. № 2021-МИ-12/1

«Утверждаю»

Генеральный директор ЗАО НИЦ СтаДиО

\_\_\_\_\_ А.М.Белостоцкий

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 г.

## Научно-технический отчёт

по договору № 02-МИ-12/21 от 01.12.2021 года

**«Численные аэродинамические исследования интегральных характеристик различных концептуальных форм высотного здания и параметров пешеходной комфортности в зоне комплекса зданий по Объекту: "Многофункциональный высотный жилой комплекс с подземной автостоянкой, встроенно-пристроенными нежилыми помещениями "Сити 2. Лот 1", по адресу: г. Москва, ул. территория, прилегающая к ММДЦ Москва-Сити и ограниченной: Третьим Транспортным кольцом, 1-м и 2-м Красногвардейским проездом, Шмитовским проездом, ул. Антонова-Овсеенко»**

Руководители работы:

докт. техн. наук, академик РААСН **А.М. Белостоцкий**

канд. техн. наук **Д.С. Дмитриев**

Ответственный исполнитель:

**О.С. Горячевский**

Исполнитель:

**С.Г. Саиян**

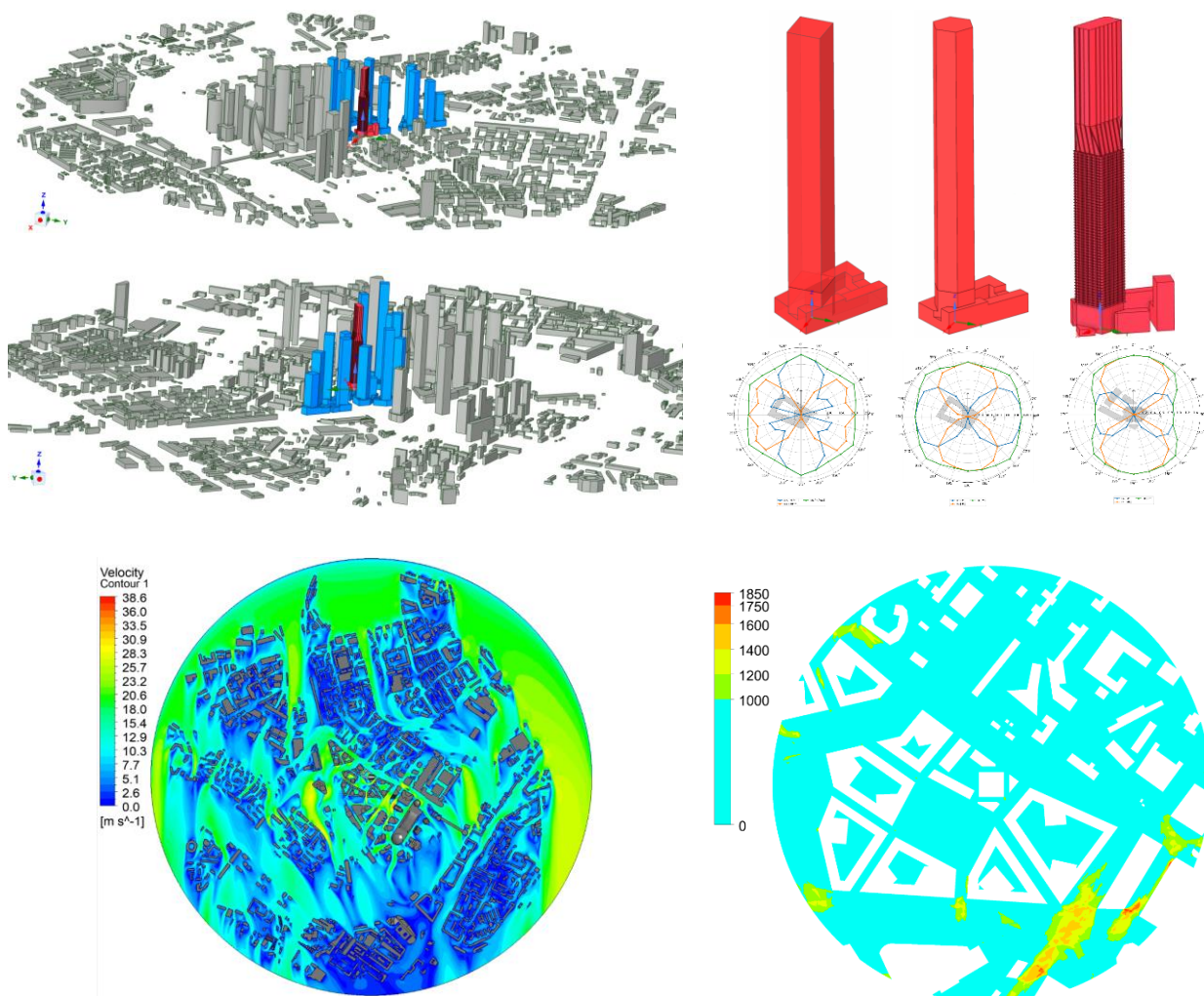
**И.Ю. Негророва**

Москва, 2021

Инв. № 2021-МИ-12/1

**Научно-технический отчёт**  
по договору № 02-МИ-12/21 от 01.12.2021 года

**«Численные аэродинамические исследования интегральных характеристик различных концептуальных форм высотного здания и параметров пешеходной комфортности в зоне комплекса зданий по Объекту: "Многофункциональный высотный жилой комплекс с подземной автостоянкой, встроенно-пристроенными нежилыми помещениями "Сити 2. Лот 1", по адресу: г. Москва, ул. территория, прилегающая к ММДЦ Москва-Сити и ограниченной: Третьим Транспортным кольцом, 1-м и 2-м Красногвардейским проездом, Шмитовским проездом, ул. Антонова-Овсеенко»**



## Список исполнителей

### *Руководители работы:*

Ген. директор НИЦ СтаДиО,  
докт. техн. наук,  
академик РААСН

*А.М. Белостоцкий*  
(научное руководство, постановка задач,  
анализ результатов, общее редактирование отчета)

Заведующий отделом  
расчетных исследований,  
канд. техн. наук.

*Д.С. Дмитриев*  
(сбор и анализ технической документации,  
постановка задач, общее редактирование отчета)

### *Ответственные исполнители:*

Ведущий инженер-расчетчик

*О.С. Горячевский*  
(анализ тех. документации и нормативно-методической  
литературы, постановка задач расчетных исследований,  
анализ результатов, формирование отчета)

### *Исполнители:*

Инженер-расчетчик

*С.Г. Саиян*  
(анализ тех. документации, разработка расчетных  
моделей, анализ и представление результатов,  
формирование отчета)

Инженер-расчетчик

*И.Ю. Негрозова*  
(анализ тех. документации, анализ и представление  
результатов, формирование отчета)



## 1. Исходные данные. Постановка задач

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

Земельный участок под строительство Объекта находится в г. Москве на территории, прилегающей к ММДЦ Москва-Сити и ограниченной Третьим Транспортным кольцом, 1-м и 2-м Красногвардейским проездом, Шмитовским проездом, ул. Антона-Овсенко (рис. 2.1).

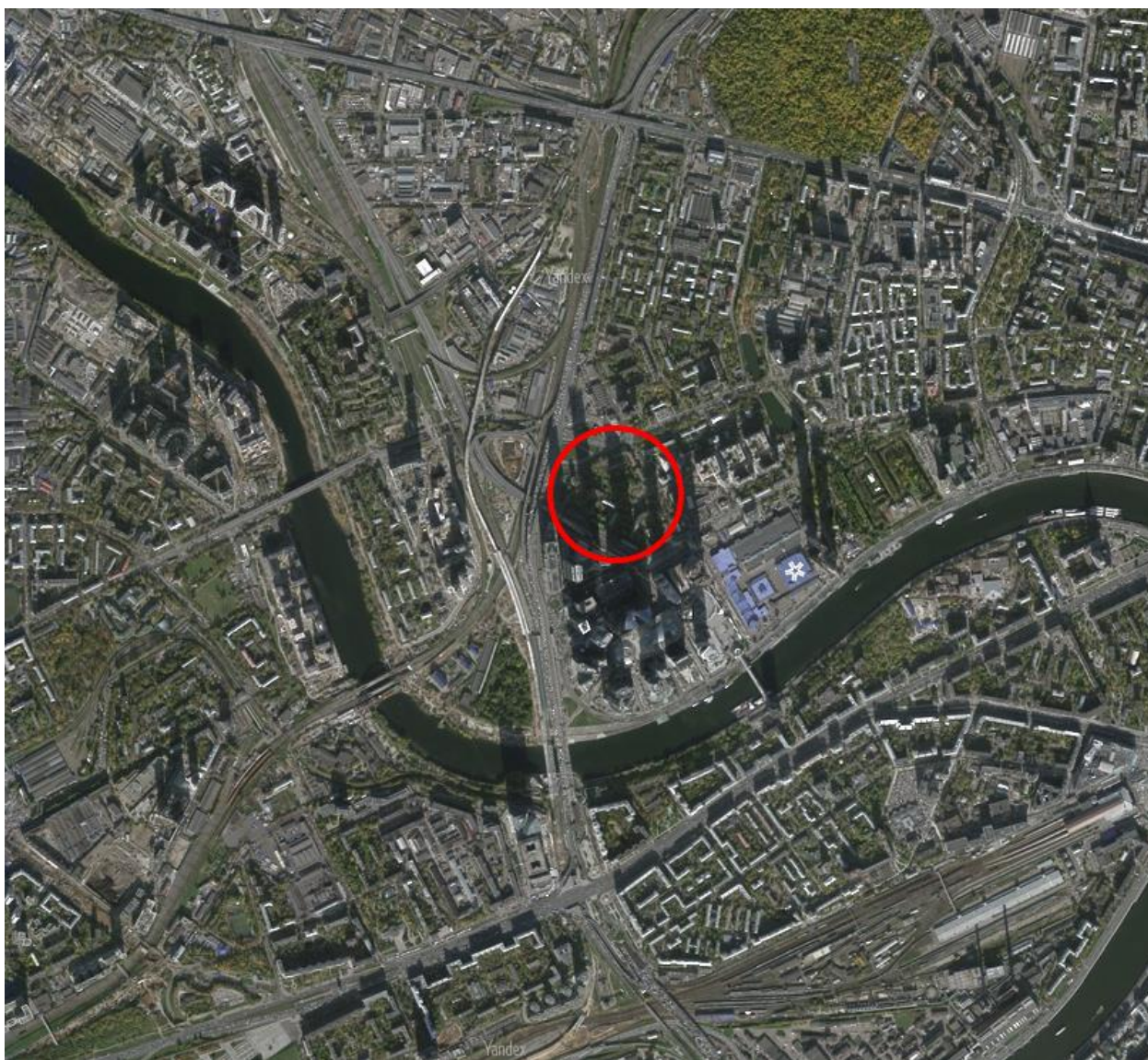


Рис. 1.1 Карта местности возле площадки строительства (<https://yandex.ru/maps/>)

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 (рис. 2.3), что позволяет не учитывать их в расчетах.

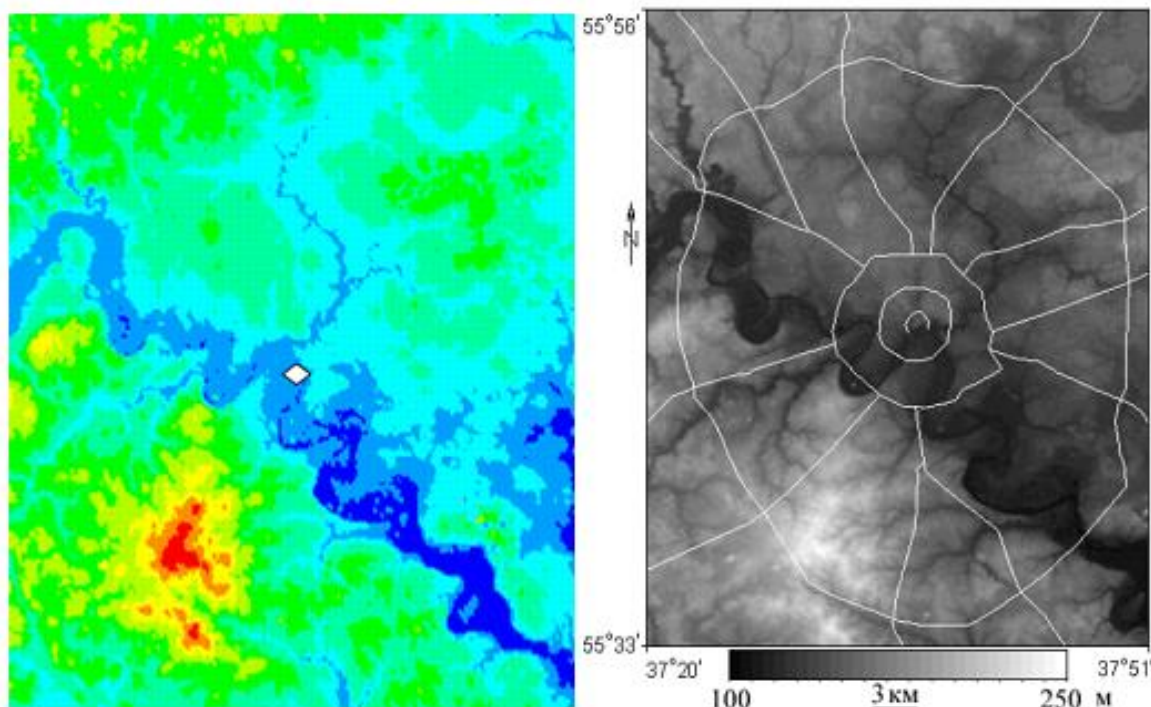


Рис. 1.2 Карта высот Москвы по данным ShuttleRadarTopographyMission.  
Красным показана высшая точка Москвы –Теплостанская возвышенность  
(254 м над уровнем моря)



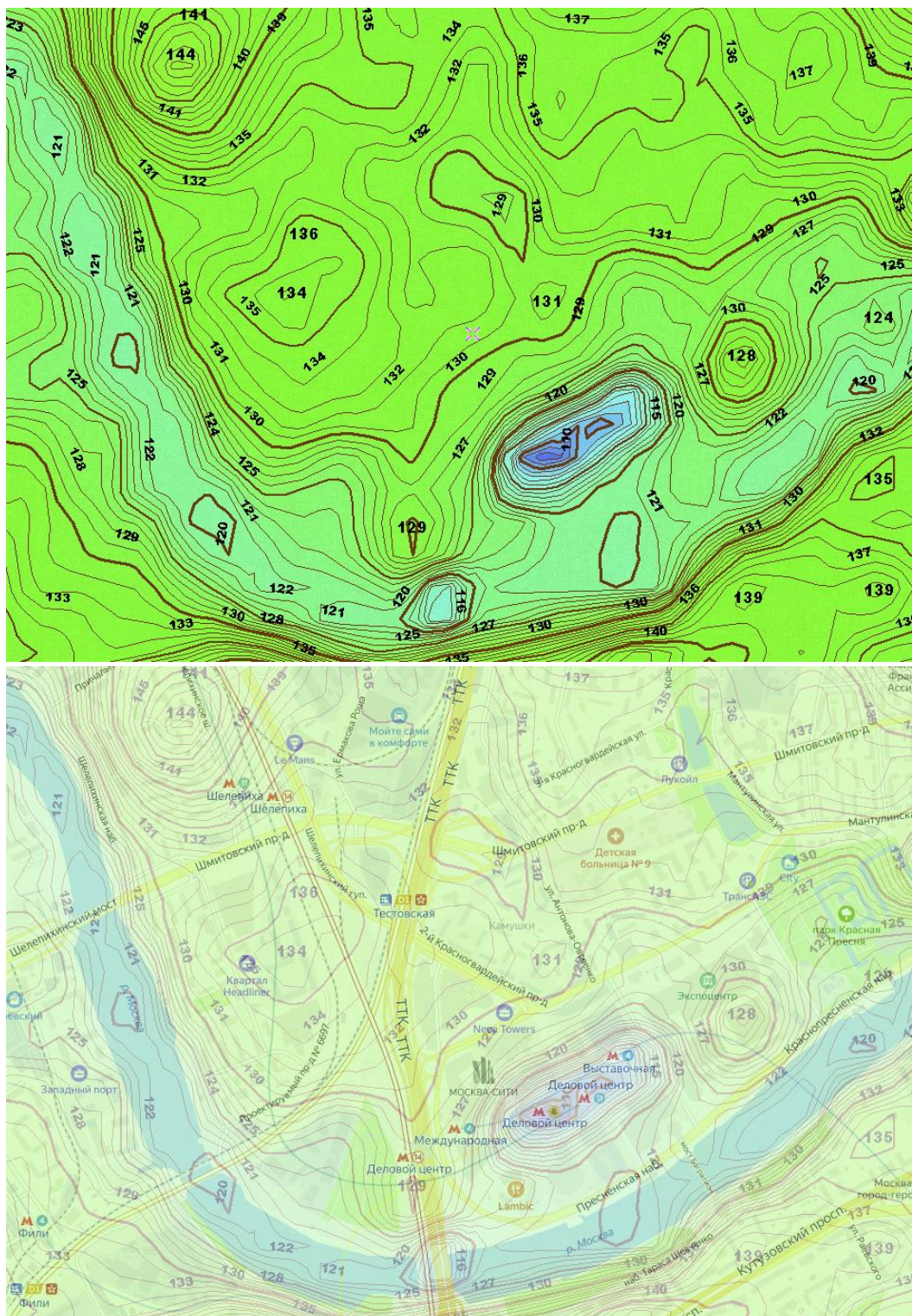


Рис. 1.3 Карта высот возле площадки строительства (EtoMesto.ru и Yandex.ru/maps).

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. 2.4) 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.

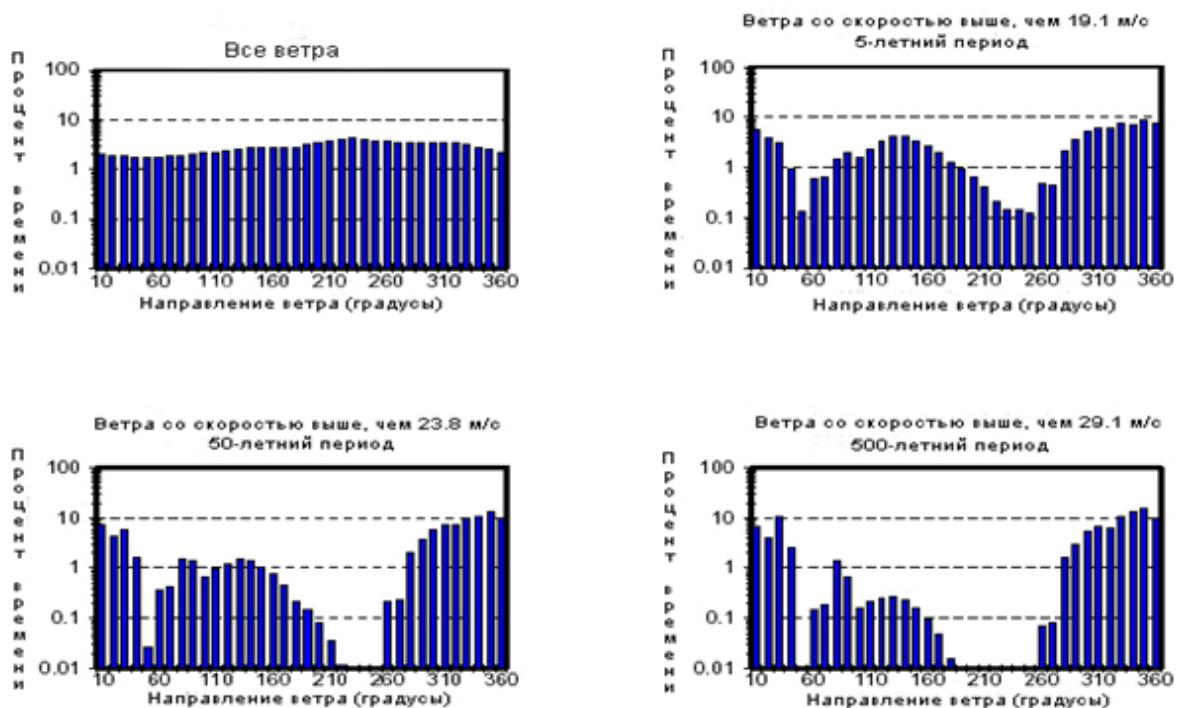
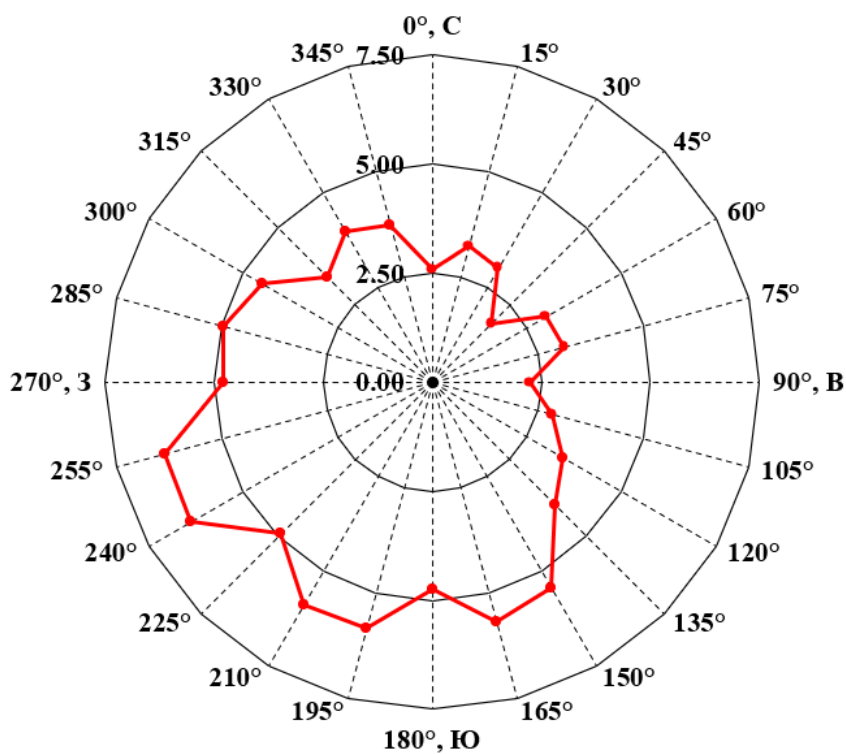


Рис. 1.4 Направление и повторяемость ветров на высоте 10 м (часов в год)  
по данным метеостанции им. Михельсона



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 | %    | 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         |



Москва, 2021

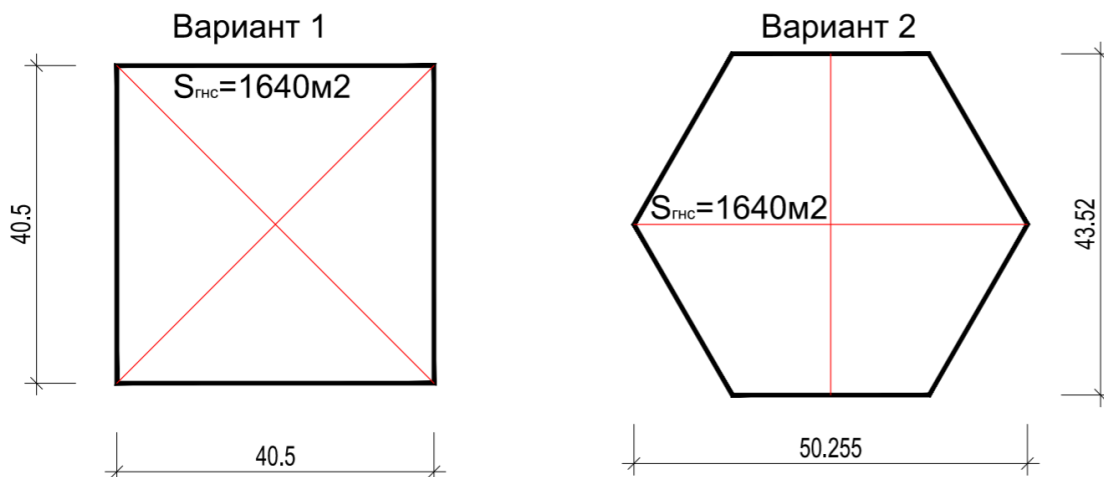


Рис. 1.5 Повторяемость ветров по табл. 2.1, %

## 1.2. Краткая характеристика исследуемых сооружений

Заказчиком были предоставлены 3D-модели исследуемого комплекса и окружающей застройки. Геометрические размеры поперечных сечений (планов) высотной части комплекса представлены на рис. 2.6, а 3D-модели – на рис. 2.7-2.8.

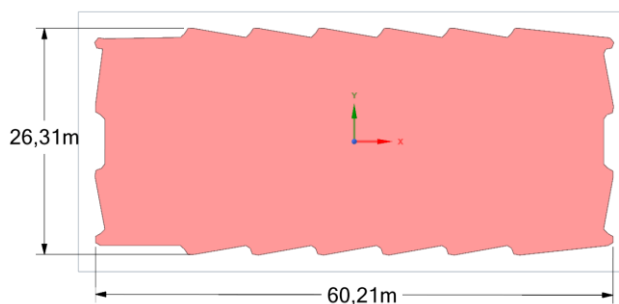
### Высота башни $H=378\text{м}$



### Вариант 3 (комбинированное сечение)

Высота башни  $H=383.7\text{ м}$

Верхняя часть  
 $S_{\text{гсн}}=1484\text{м}^2$



Нижняя часть  
 $S_{\text{гсн}}= 1892\text{м}^2$

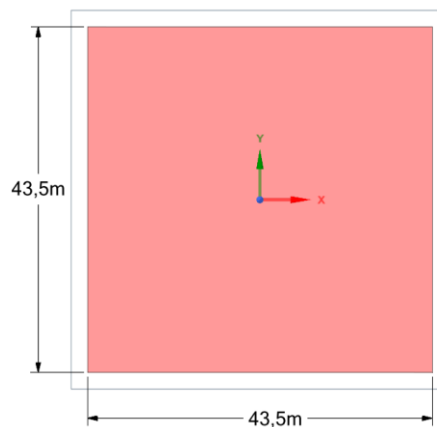


Рис. 1.6 Три концептуальных Варианта геометрической формы Объекта «Сити 2. Лот 1»

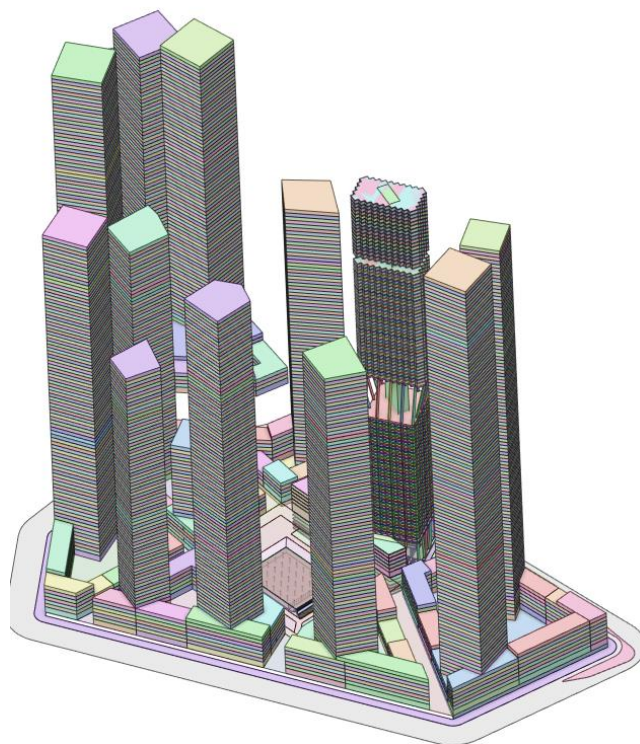


Рис. 1.7 Третья концептуальная геометрическая форма Объекта «Сити 2. Лот 1» совместно с комплексом Москва Сити 2

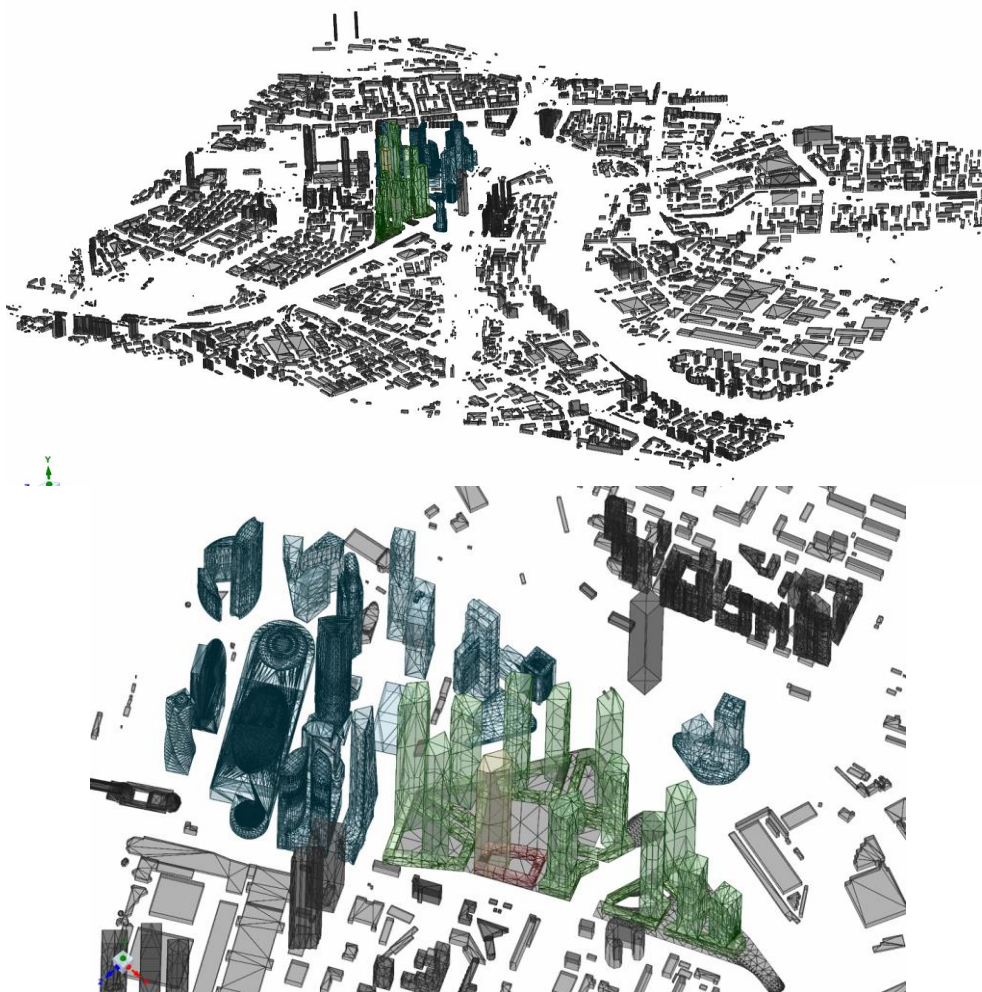


Рис. 1.8 Рассматриваемый Объекта «Сити 2. Лот 1» в окружении застройки (данные, предоставленные Заказчиком [1])

### **1.3. Постановка задач расчетных исследований**

В соответствии с техническим заданием [1] ставятся и решаются следующие задачи:

- 1) анализ и обобщение проектной документации Объекта, постановка задач расчетных исследований;
- 2) разработка и верификация трехмерных аэродинамических расчетных моделей различных концептуальных вариантов Объекта с учетом существующей и перспективной окружающей застройки и различных направлений ветра;
- 3) оценка ветровой комфортности предполагаемых пешеходных зон для третьего концептуального варианта на основе критериев МДС 20-1.2006 при заданной розе ветров (табл. 2.1);
- 4) определение и сравнение интегральных ветровых нагрузок (горизонтальных сил и опрокидывающих моментов) для трех концептуальных вариантов зданий.



## 2. Определение интегральных ветровых нагрузок

### 2.1. Форма представления и номенклатура результатов

В данном разделе приведены основные результаты выполненных расчетных исследований по определению интегральных ветровых нагрузок (горизонтальных ветровых нагрузок и опрокидывающих моментов) на несущие конструкции Объекта при 24-х направлениях ветра для различных вариантов концептов. Многовариантные расчетные исследования проводились с учетом (для третьего варианта концепта) и без учета окружающей застройки (для всех вариантов концептов).

Система координат сооружений и расчетные направления ветрового потока показаны на рис. 6.1.

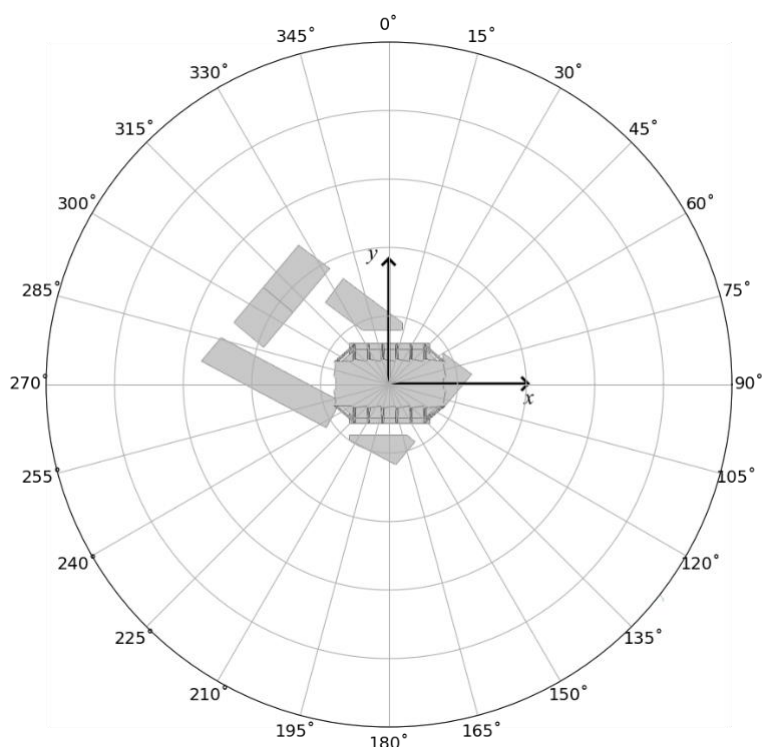


Рис. 2.1. Система координат и расчетные направления ветрового потока

Начало координат расположено в геометрическом центре плана высотной части Объекта (отметка 0.00). Система координат ориентирована по строительным осям и (Север соответствует 330°). Угол атаки ветра (Угол, °) отсчитывается от направления 0° (см. рис. 6.1) по часовой стрелке.

Положительному значению ветровых нагрузок соответствует направление сонаправленное соответствующей координатной оси, а отрицательному – противоположно направленное соответствующей оси.

Средняя составляющая ветрового давления и средние скорости получены в результате стационарных расчетов. Интегральная ветровая нагрузка определялась интегрированием по поверхности Объекта, **начиная с отметки 46м и до кровли башни** (для минимизации эффекта влияния нижней части объекта и более «чистого» сравнения концептуальных вариантов), средней составляющей ветрового давления.

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

## 2.2. Ветровые нагрузки на несущие конструкции для различных концептов Объекта

Средние *суммарные* (на высотную часть Объекта) ветровые нагрузки на несущие конструкции каждой Башни в упомянутых выше осях ( $F_x$ ,  $F_y$ , тс), векторная сумма нагрузки ( $F_R$ , тс), изгибающие моменты ( $M_x$ ,  $M_y$ , ктс·м) и векторная сумма нагрузки ( $M_R$ , ктс·м), для 24-х направлений (шаг по углу  $15^\circ$ ) с учетом и без учета окружающей застройки для различных вариантов концепта Объекта представлены в табличном виде (табл. 6.1-6.4) и в форме графиков (рис. 6.6, 6.7, 6.12, 6.13, 6.17, 6.18, 6.25, 6.26). В таблице 6.5 представлена сводная информация по наибольшим интегральным нагрузкам по всем концептам Объекта без застройки.

Изополя давления поверхностях Объекта для характерных направлений ветра показаны на рис. 6.2, 6.8, 6.14, 6.19-6.22.

Изополя средних скоростей потока на характерных высотах показаны на рис. 6.3-6.5, 6.9-6.11, 6.15, 6.16, 6.23, 6.24.

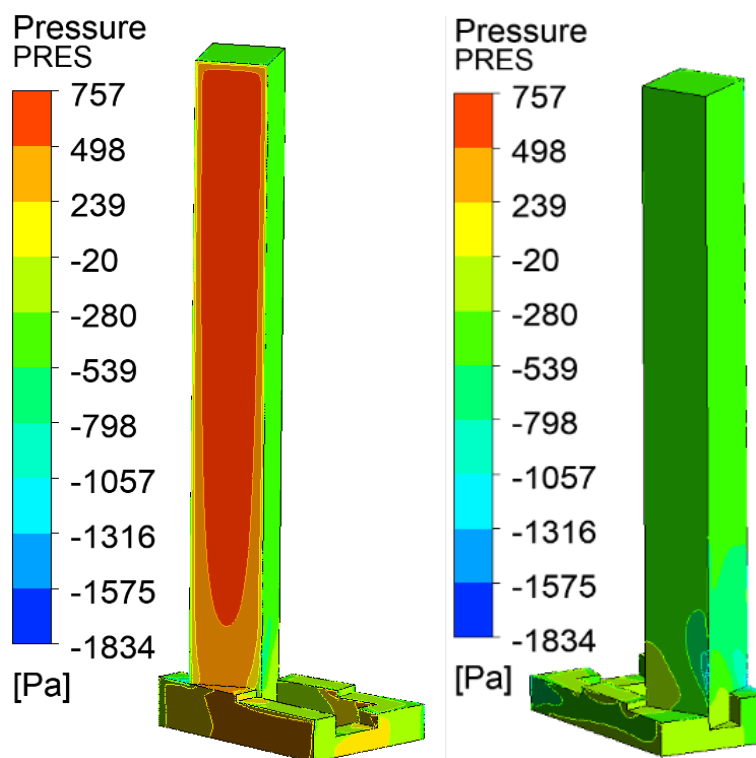


Рис. 2.2. Средние давления на фасадах для Варианта 1, Па. Угол атаки  $0^\circ$

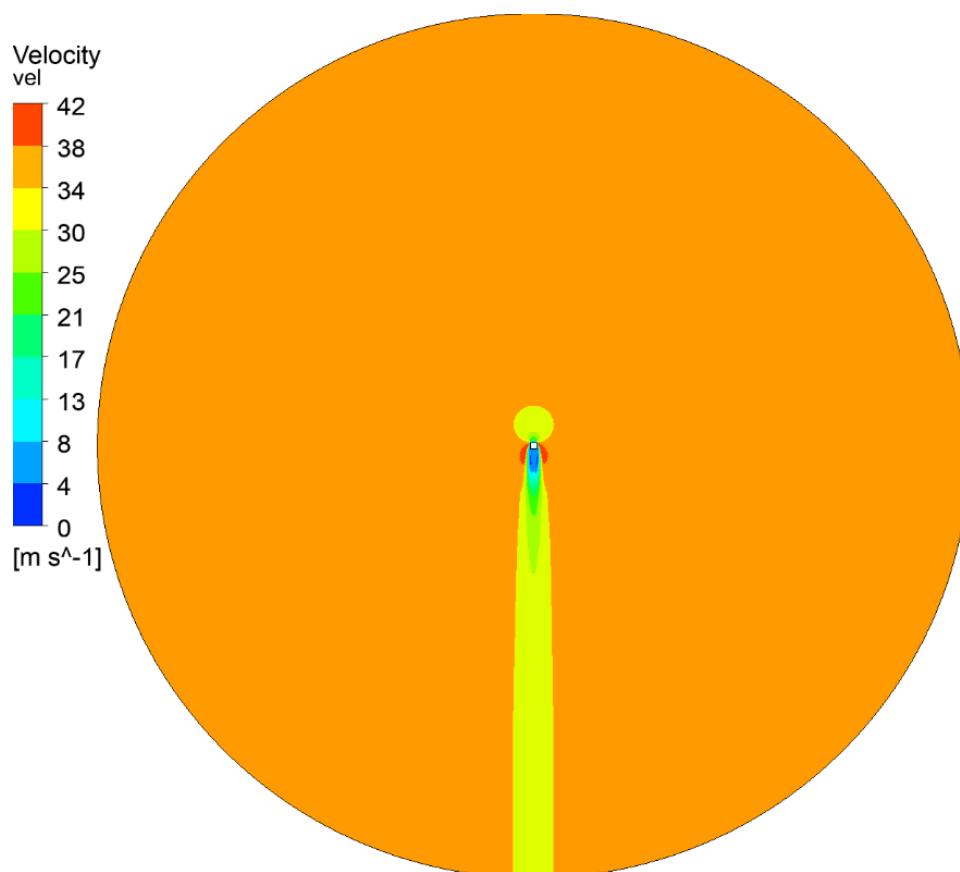


Рис. 2.3. Средняя скорость потока в сечении XY на высоте 300 м, м/с  
для *Варианта 1*. Угол атаки  $0^\circ$

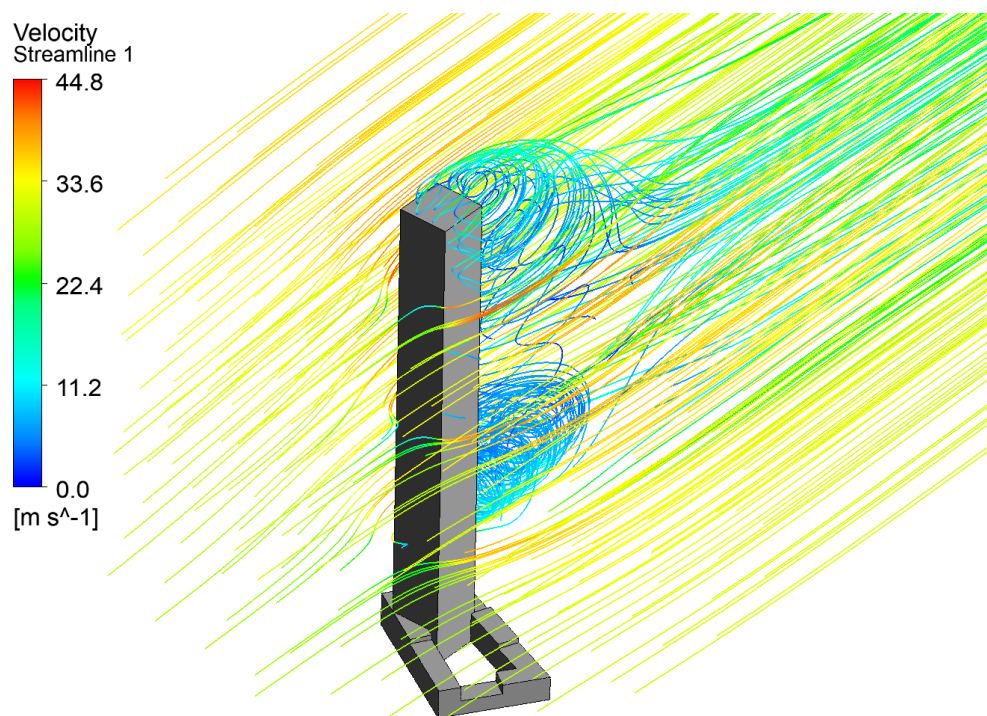


Рис. 2.4. Линии тока средних скоростей на высотах 100, 200 и 300 м  
при угле атаки  $0^\circ$  для *Варианта 1*, м/с.



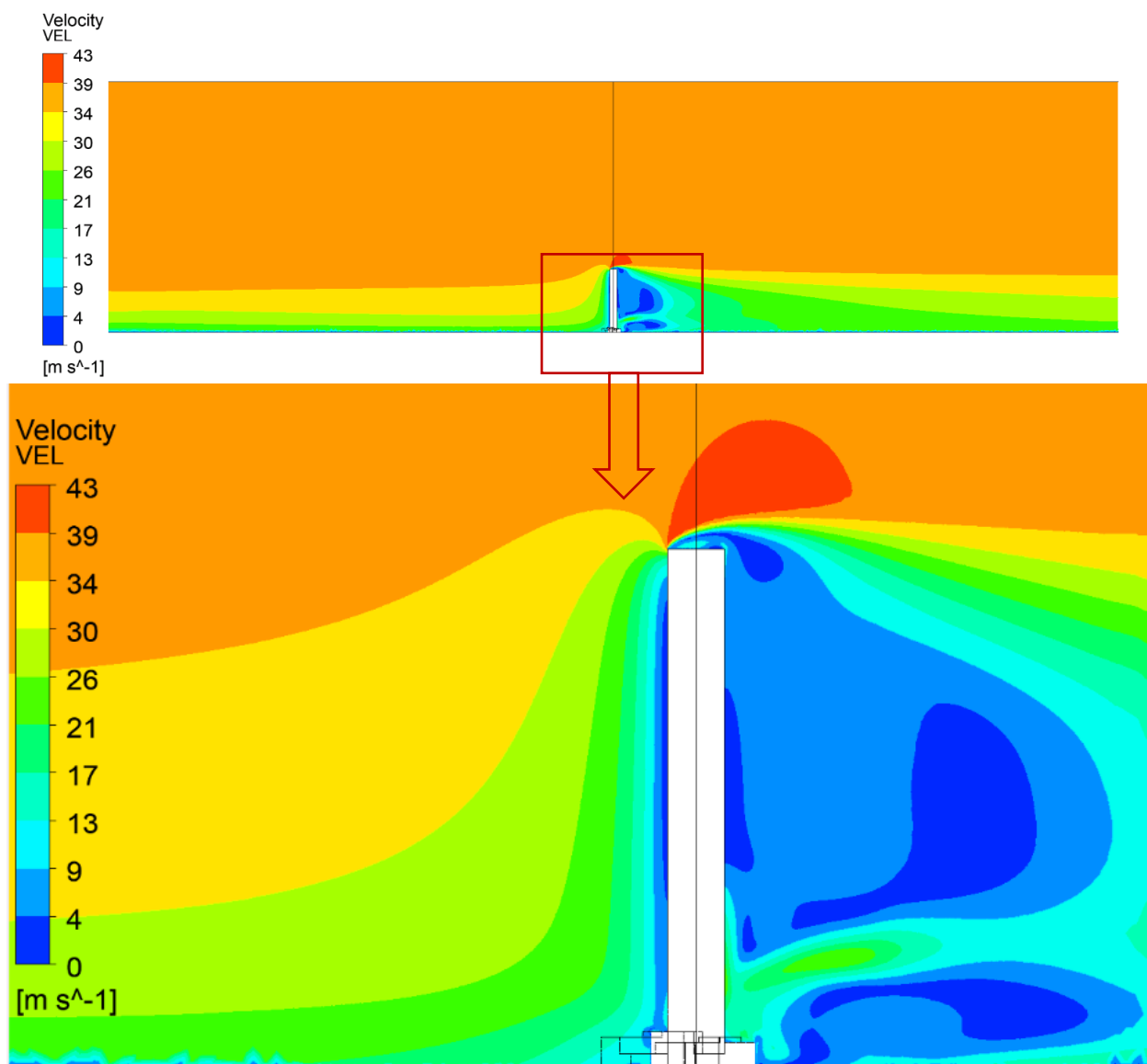


Рис. 2.5. Средняя скорость потока в сечении ZY на по середине высотной части Объекта  
для *Варианта 1*, м/с. Угол атаки  $0^\circ$

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here..1** Суммарные аэродинамические силы и моменты на высотную часть Объекта при различных углах атаки для *Варианта 1*.

| Угол атаки | $F_X$ [тс] | $F_Y$ [тс] | $F_R$ [тс] | $M_X$ [тс·м] | $M_Y$ [тс·м] | $M_R$ [тс·м] |
|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 0          | 72         | -1193      | 1195       | 257468       | 7015         | 257564       |
| 15         | 218        | -1130      | 1151       | 250529       | 43290        | 254242       |
| 30         | -486       | -1096      | 1199       | 242891       | -111511      | 267266       |
| 45         | -903       | -909       | 1281       | 201402       | -200532      | 284211       |
| 60         | -1098      | -538       | 1223       | 116894       | -243312      | 269935       |
| 75         | -1158      | 166        | 1170       | -32320       | -256336      | 258366       |
| 90         | -1169      | 14         | 1169       | -2412        | -258414      | 258426       |
| 105        | -1137      | -226       | 1160       | 43764        | -251252      | 255035       |
| 120        | -1109      | 528        | 1228       | -117978      | -246409      | 273197       |
| 135        | -906       | 916        | 1288       | -202263      | -201610      | 285582       |
| 150        | -521       | 1103       | 1220       | -244743      | -116420      | 271022       |
| 165        | 150        | 1178       | 1188       | -255304      | 32128        | 257317       |
| 180        | 8          | 1177       | 1177       | -257469      | 3036         | 257487       |
| 195        | -230       | 1126       | 1149       | -249580      | -46332       | 253844       |
| 210        | 493        | 1091       | 1197       | -242408      | 112056       | 267055       |
| 225        | 910        | 904        | 1282       | -200564      | 201112       | 284028       |
| 240        | 1096       | 509        | 1209       | -114782      | 242280       | 268095       |
| 255        | 1123       | -211       | 1143       | 42140        | 249350       | 252885       |
| 270        | 1147       | -1         | 1147       | 1219         | 254069       | 254072       |
| 285        | 1121       | 231        | 1145       | -46222       | 247320       | 251602       |
| 300        | 1098       | -516       | 1213       | 114574       | 241675       | 267459       |
| 315        | 910        | -921       | 1295       | 202332       | 201460       | 285524       |
| 330        | 511        | -1104      | 1217       | 244218       | 114987       | 269934       |
| 345        | -150       | -1129      | 1139       | 250530       | -34387       | 252879       |

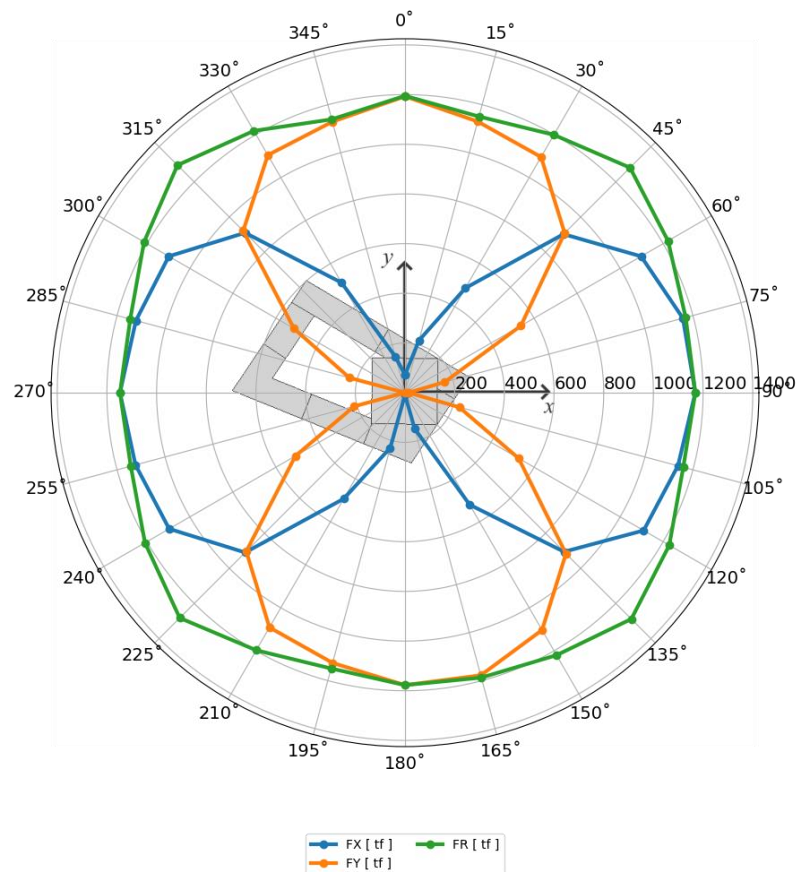


Рис. 2.6. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических сил на высотную часть Объекта для Варианта 1, тс.

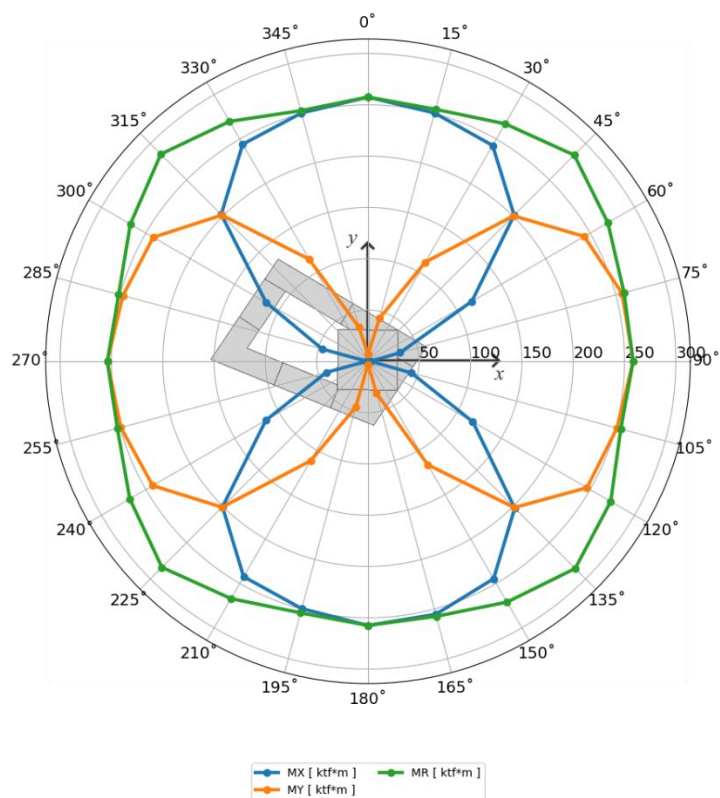


Рис. 2.7. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических опрокидывающих моментов на высотную часть Объекта для Варианта 1, ктс·м.

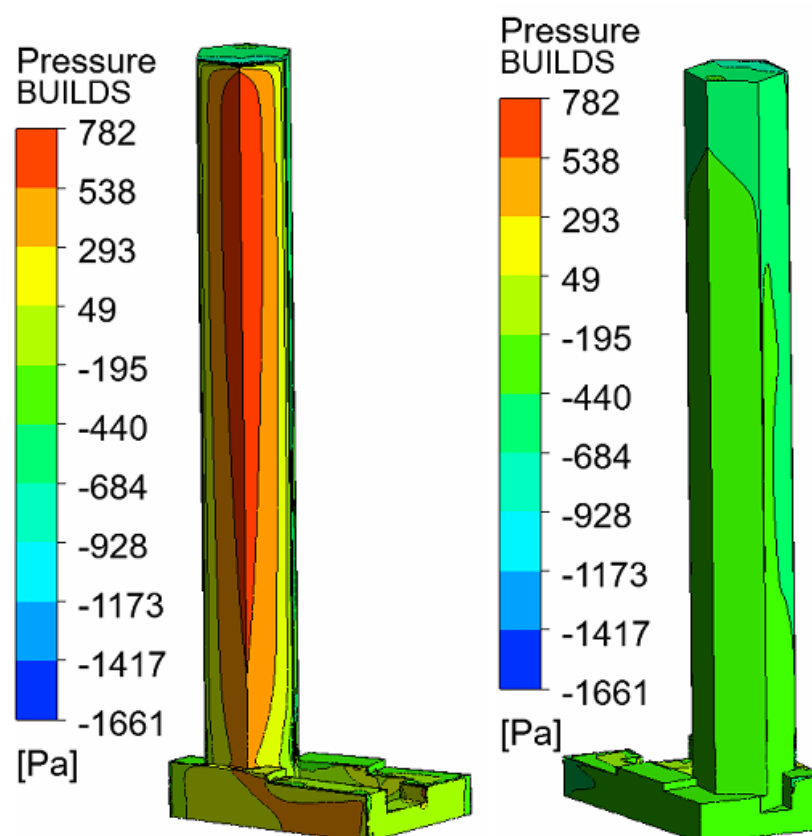


Рис. 2.8. Средние давления на фасадах для Варианта 2, Па. Угол атаки  $0^\circ$

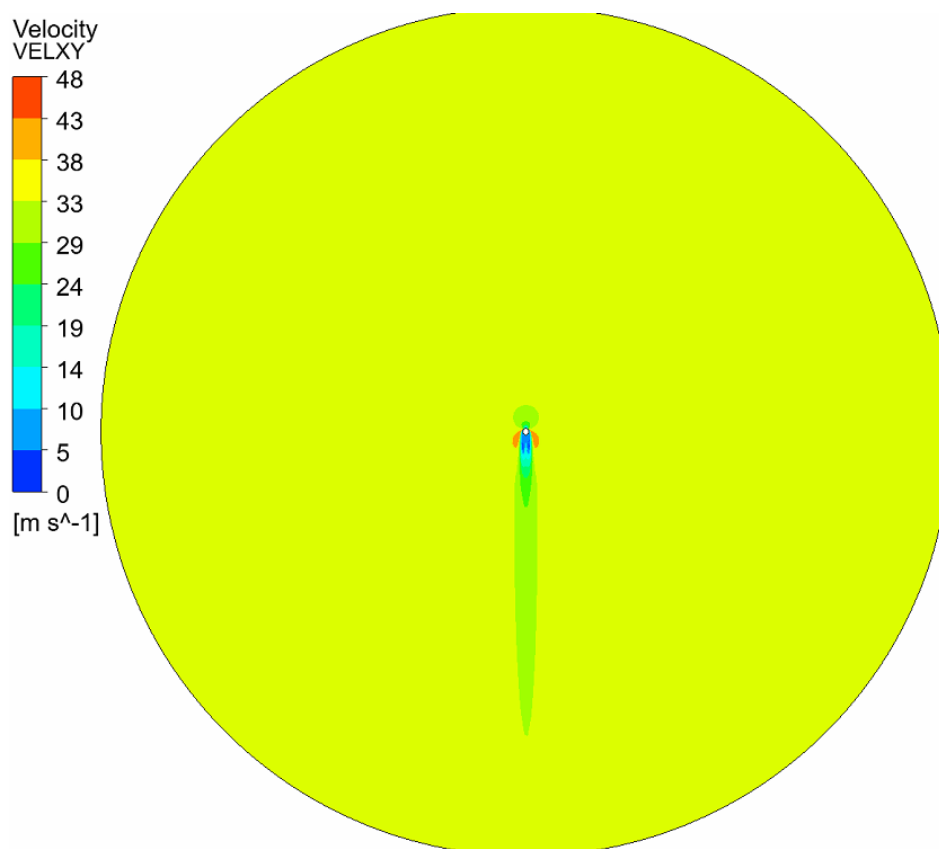


Рис. 2.9. Средняя скорость потока в сечении XY на высоте 300 м, м/с  
для Варианта 2. Угол атаки  $0^\circ$



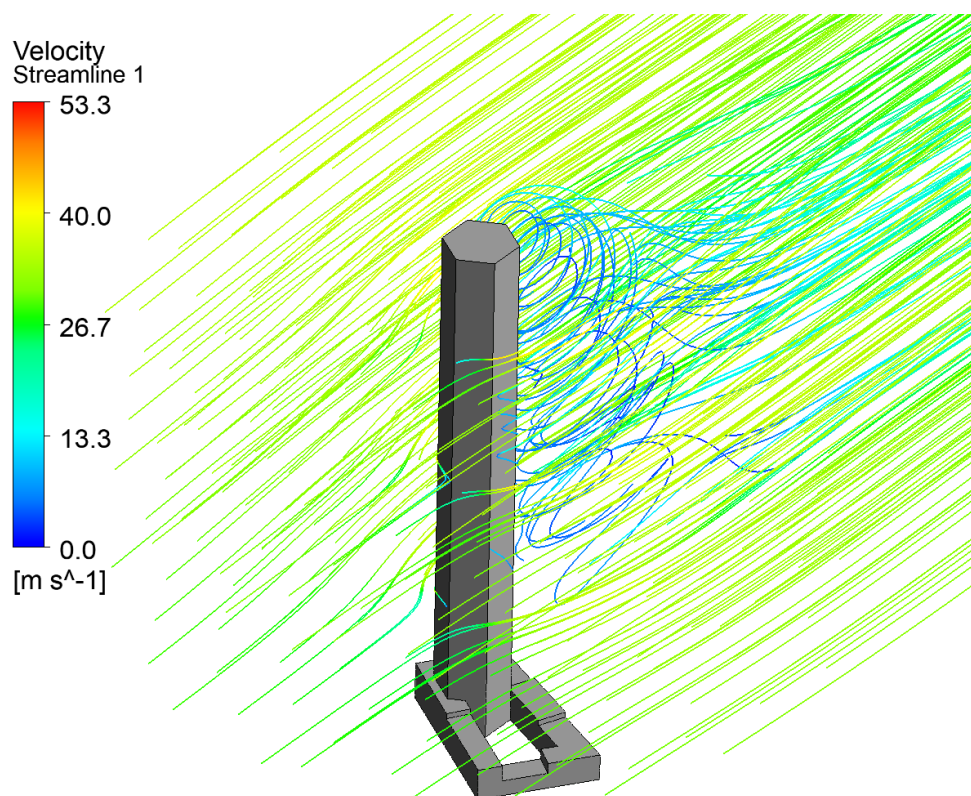


Рис. 2.10. Линии тока средних скоростей на высотах 100, 200 и 300 м при угле атаки 0° для *Варианта 2*, м/с.

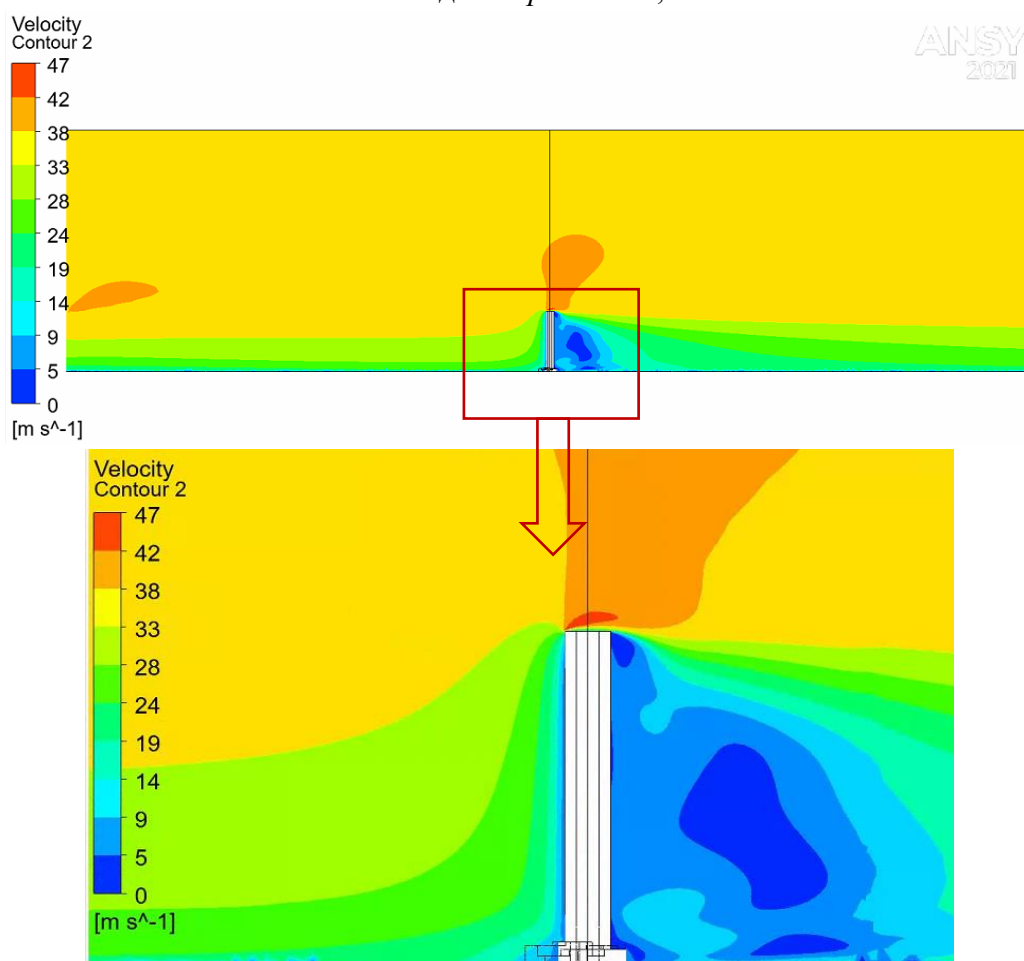


Рис. 2.11. Средняя скорость потока в сечении ZY на по середине высотной части  
Объекта для *Варианта 2*, м/с. Угол атаки 0°  
Москва, 2021

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here..2** Суммарные аэродинамические силы и моменты на высотную часть Объекта при различных углах атаки для *Варианта 2*.

| Угол атаки | $F_X$ [тс] | $F_Y$ [тс] | $F_R$ [тс] | $M_X$ [тс·м] | $M_Y$ [тс·м] | $M_R$ [тс·м] |
|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 0          | -18        | -1073      | 1073       | 239117       | -1903        | 239125       |
| 15         | 120        | -985       | 992        | 219594       | 24357        | 220941       |
| 30         | -455       | -811       | 930        | 181675       | -103317      | 208998       |
| 45         | -899       | -402       | 985        | 91684        | -199216      | 219301       |
| 60         | -948       | -540       | 1091       | 119462       | -210124      | 241709       |
| 75         | -837       | -589       | 1024       | 128860       | -182779      | 223636       |
| 90         | -961       | -16        | 961        | 3118         | -214646      | 214669       |
| 105        | -807       | 579        | 994        | -125590      | -181366      | 220605       |
| 120        | -939       | 533        | 1080       | -118518      | -207214      | 238714       |
| 135        | -900       | 422        | 994        | -95128       | -200340      | 221778       |
| 150        | -512       | 858        | 999        | -185949      | -108775      | 215427       |
| 165        | 96         | 1037       | 1041       | -225837      | 19256        | 226656       |
| 180        | -6         | 1097       | 1097       | -240119      | 497          | 240119       |
| 195        | -103       | 972        | 977        | -216086      | -21027       | 217106       |
| 210        | 484        | 803        | 938        | -179587      | 105042       | 208051       |
| 225        | 887        | 392        | 970        | -90146       | 196533       | 216221       |
| 240        | 929        | 528        | 1069       | -117817      | 206121       | 237417       |
| 255        | 795        | 581        | 985        | -129329      | 177322       | 219474       |
| 270        | 929        | 21         | 930        | -3114        | 208152       | 208176       |
| 285        | 789        | -563       | 969        | 123068       | 176116       | 214855       |
| 300        | 922        | -530       | 1064       | 117349       | 203894       | 235252       |
| 315        | 895        | -417       | 987        | 94501        | 197007       | 218500       |
| 330        | 466        | -815       | 939        | 181969       | 105306       | 210243       |
| 345        | -91        | -980       | 985        | 216953       | -18894       | 217774       |

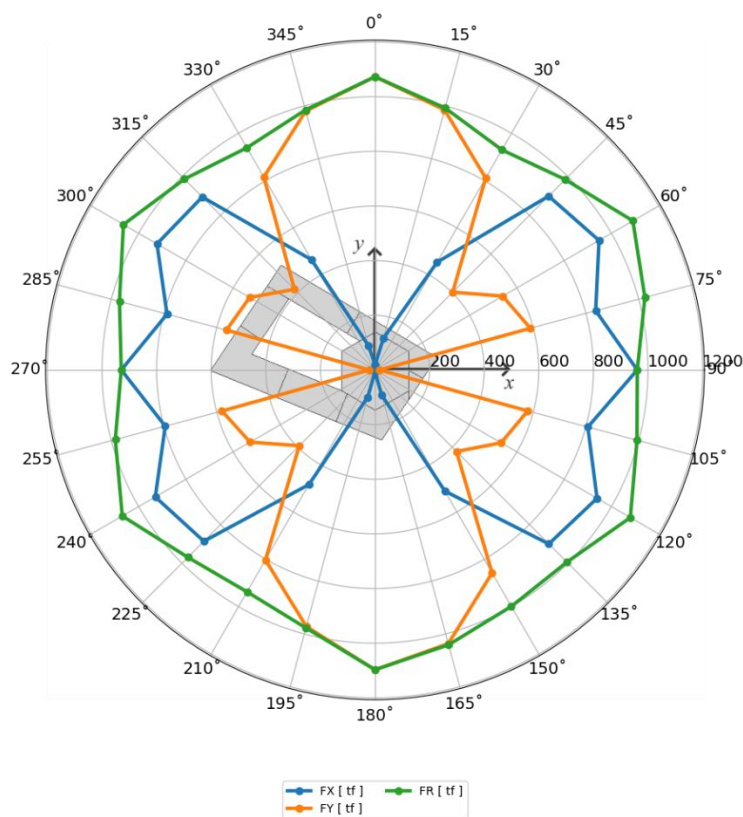


Рис. 2.12. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических сил на высотную часть Объекта для Варианта 2, тс.

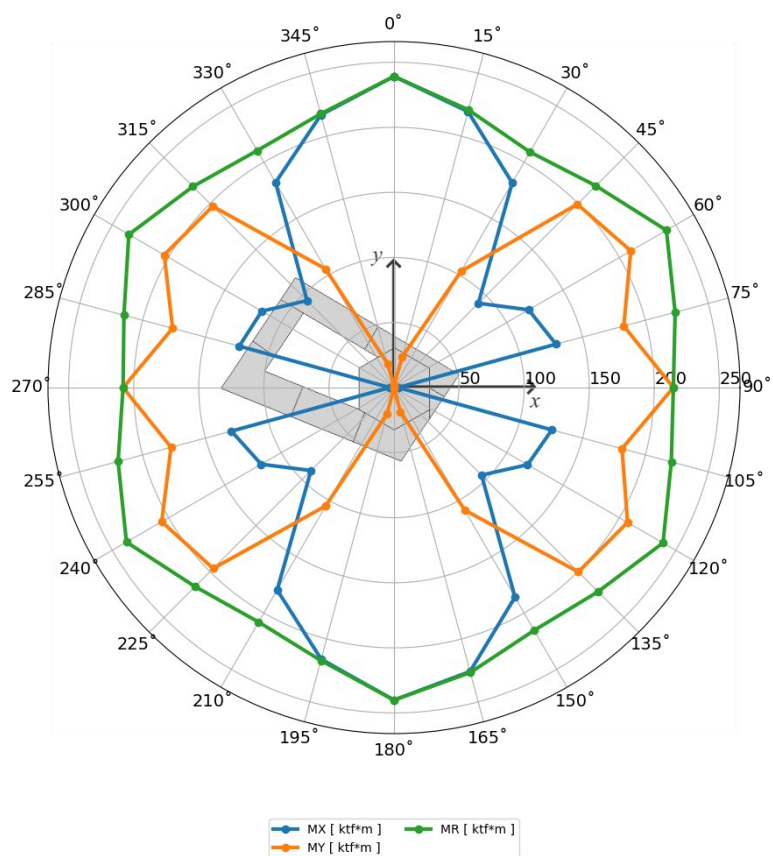


Рис. 2.13.. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических опрокидывающих моментов на высотную часть Объекта для Варианта 2, ктс·м.

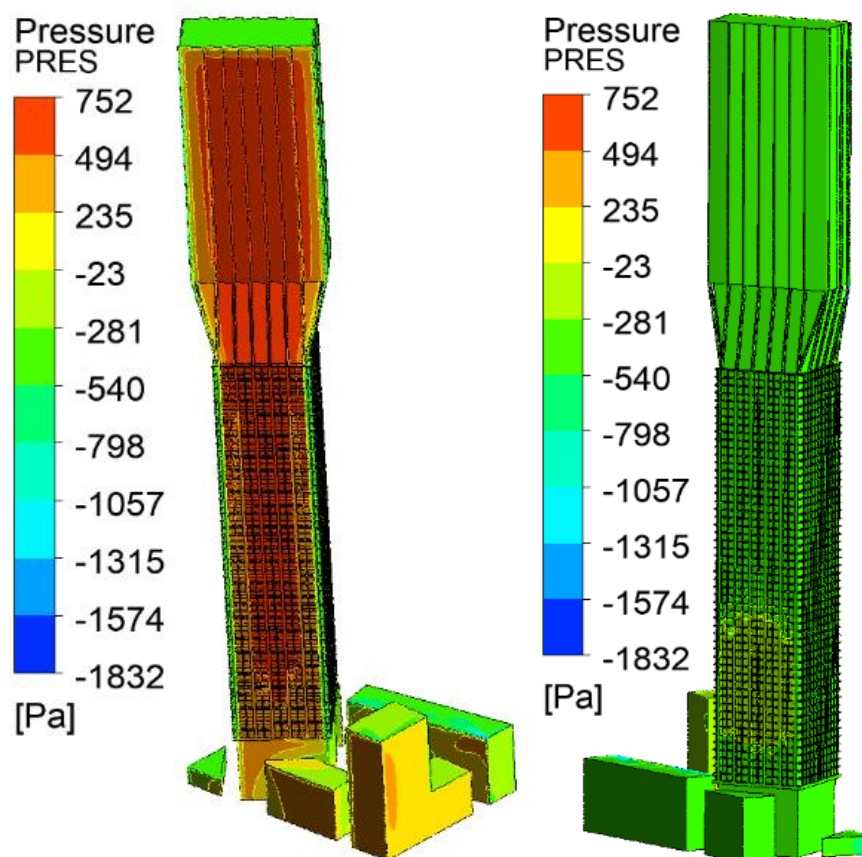


Рис. 2.14. Средние давления на фасадах для Варианта 3 (без учета застройки), Па.  
Угол атаки 0°

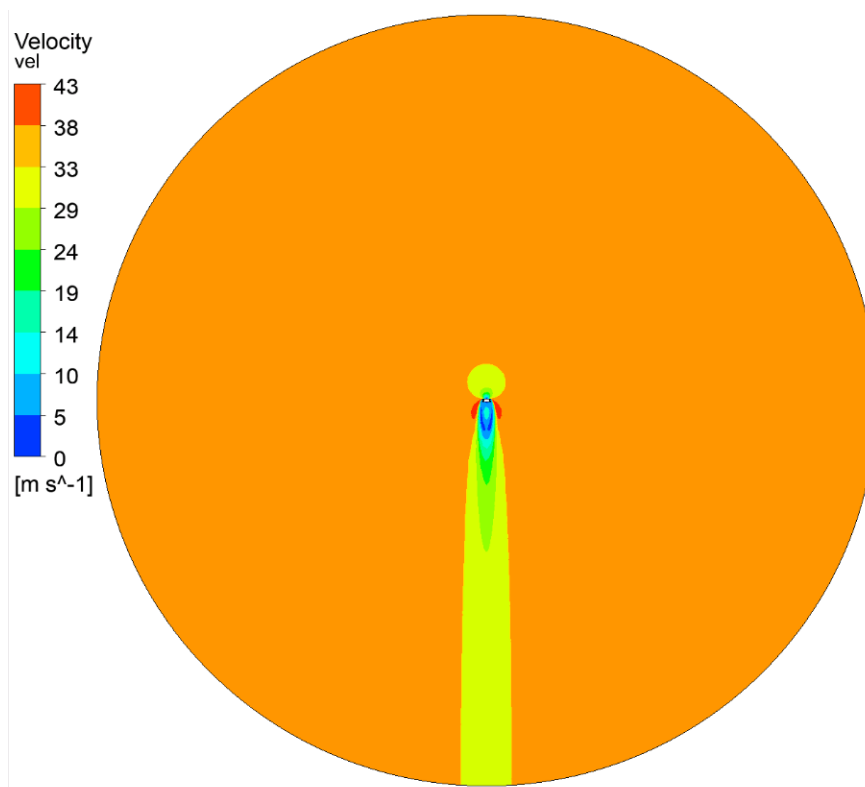


Рис. 2.15. Средняя скорость потока в сечении XY на высоте 300 м, м/с для  
Варианта 3 (без учета застройки). Угол атаки 0°



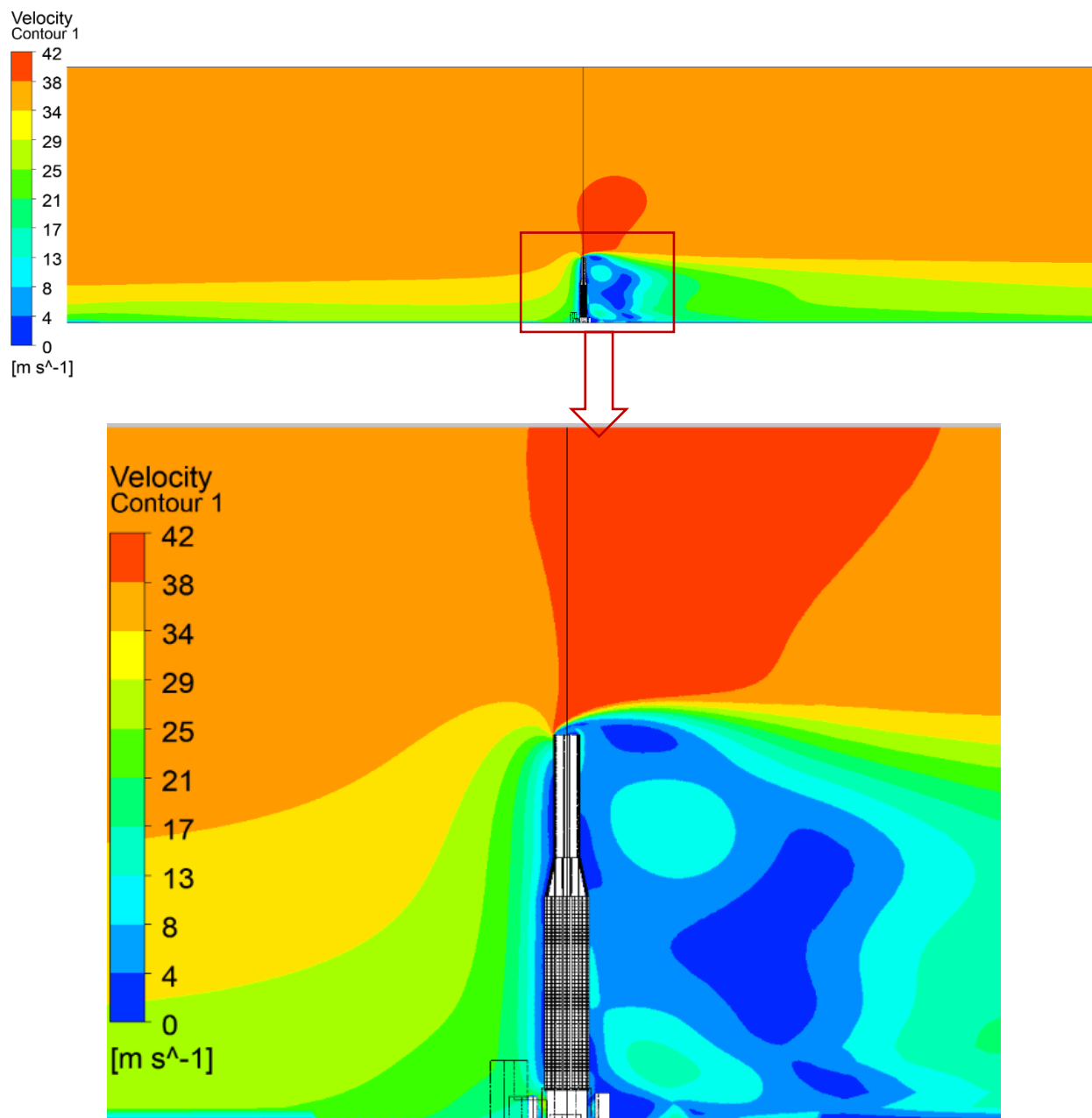


Рис. 2.16. Средняя скорость потока в сечении ZY на по середине высотной части  
Объекта для *Варианта 3* (без учета застройки), м/с. Угол атаки  $0^\circ$

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here..3** Суммарные аэродинамические силы и моменты на высотную часть Объекта при различных углах атаки для Варианта 3 (без застройки).

| Угол атаки | $F_X$ [тс] | $F_Y$ [тс] | $F_R$ [тс] | $M_X$ [тс·м] | $M_Y$ [тс·м] | $M_R$ [тс·м] |
|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 0          | 5          | -1401      | 1401       | 336472       | 926          | 336473       |
| 15         | 61         | -1405      | 1407       | 331649       | 16792        | 332074       |
| 30         | -312       | -1350      | 1386       | 320233       | -63282       | 326426       |
| 45         | -706       | -1165      | 1362       | 275291       | -149195      | 313120       |
| 60         | -910       | -750       | 1179       | 179891       | -190559      | 262056       |
| 75         | -945       | -125       | 953        | 47512        | -196831      | 202484       |
| 90         | -943       | 0          | 943        | 1831         | -186071      | 186080       |
| 105        | -952       | 46         | 953        | -30670       | -194717      | 197117       |
| 120        | -930       | 732        | 1183       | -177325      | -195730      | 264111       |
| 135        | -749       | 1160       | 1381       | -272314      | -154963      | 313318       |
| 150        | -346       | 1363       | 1406       | -321546      | -66665       | 328384       |
| 165        | 50         | 1397       | 1398       | -328510      | 11668        | 328717       |
| 180        | -1         | 1419       | 1419       | -333830      | 435          | 333830       |
| 195        | -22        | 1388       | 1388       | -327022      | -7951        | 327119       |
| 210        | 338        | 1313       | 1356       | -309635      | 65913        | 316573       |
| 225        | 713        | 1113       | 1322       | -263573      | 150875       | 303701       |
| 240        | 902        | 692        | 1137       | -168955      | 191520       | 255393       |
| 255        | 925        | -16        | 925        | -18664       | 192407       | 193310       |
| 270        | 916        | 6          | 916        | -330         | 184000       | 184000       |
| 285        | 938        | 10         | 938        | 20129        | 193854       | 194897       |
| 300        | 931        | -661       | 1142       | 165641       | 192720       | 254122       |
| 315        | 742        | -1113      | 1337       | 259958       | 152161       | 301216       |
| 330        | 292        | -1324      | 1356       | 311530       | 60525        | 317355       |
| 345        | -90        | -1363      | 1366       | 326191       | -15679       | 326567       |

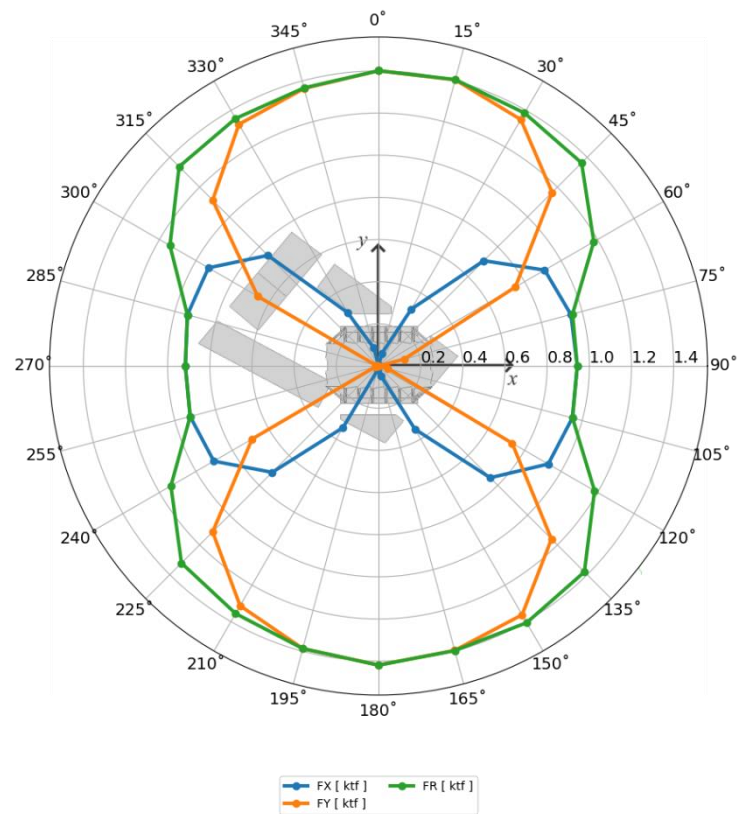


Рис. 2.17. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических сил на высотную часть Объекта для Варианта 3 (без застройки), ктс.

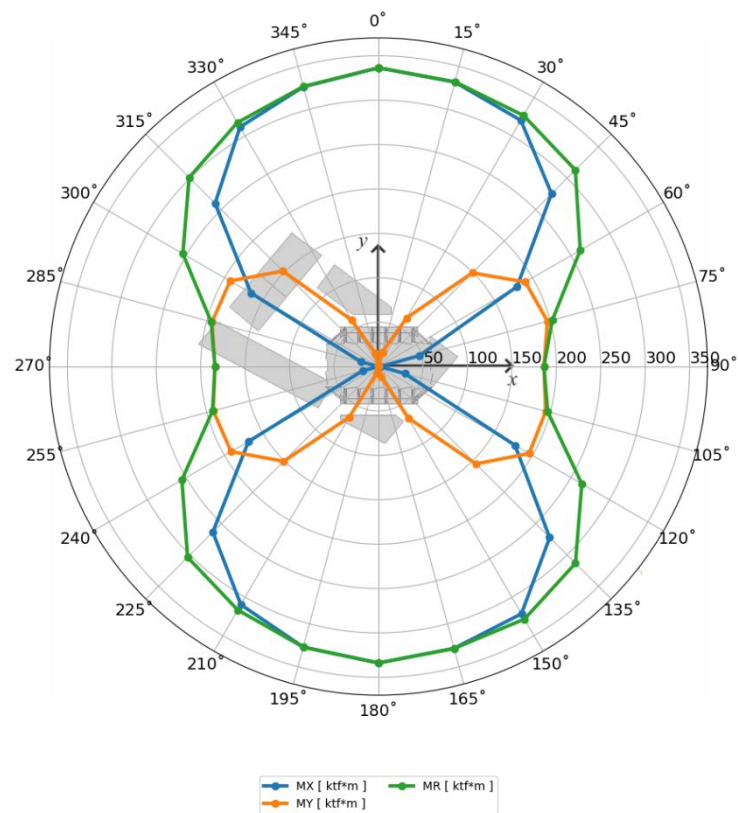


Рис. 2.18. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических опрокидывающих моментов на высотную часть Объекта для Варианта 3 (без застройки), ктс·м.

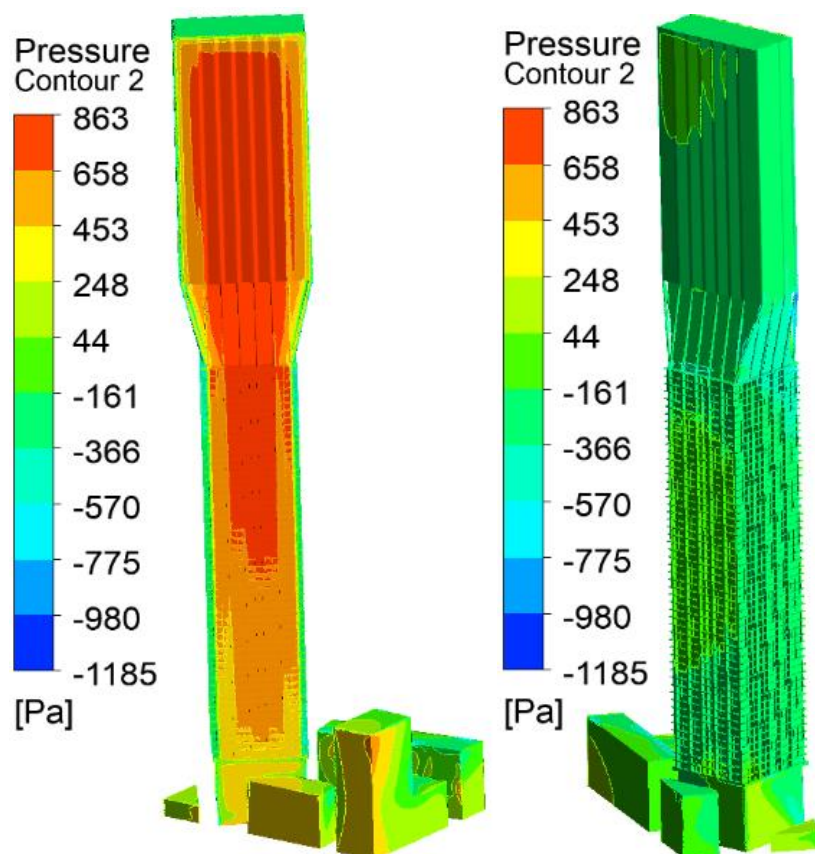


Рис. 2.19. Средние давления на фасадах для Варианта 3 (с учетом застройки), Па. Угол атаки  $0^\circ$

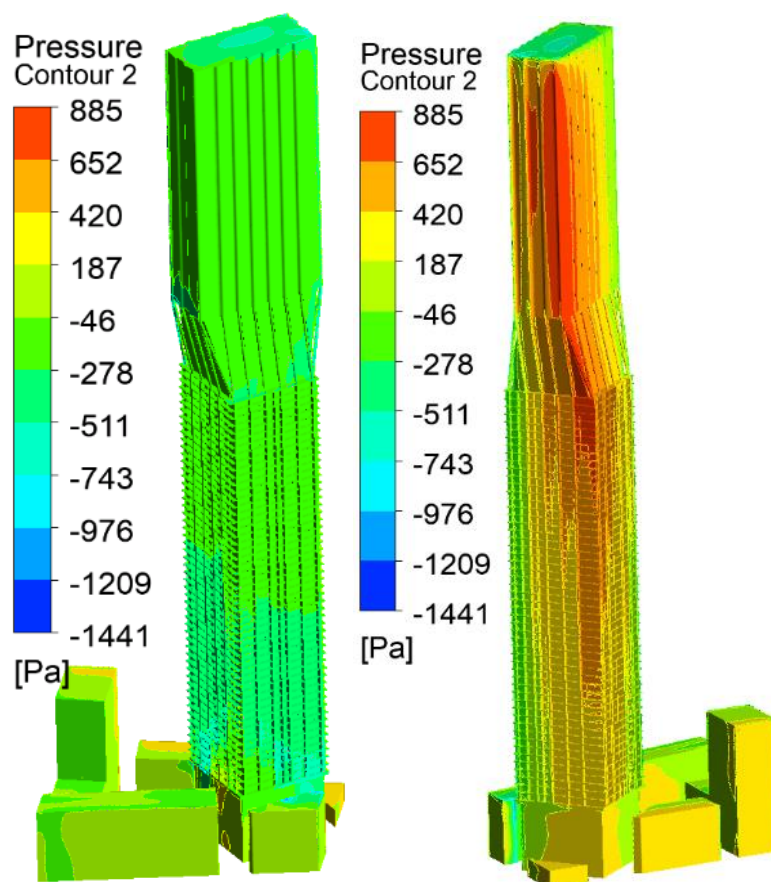


Рис. 2.20. Средние давления на фасадах для Варианта 3 (с учетом застройки), Па. Угол атаки  $45^\circ$ .



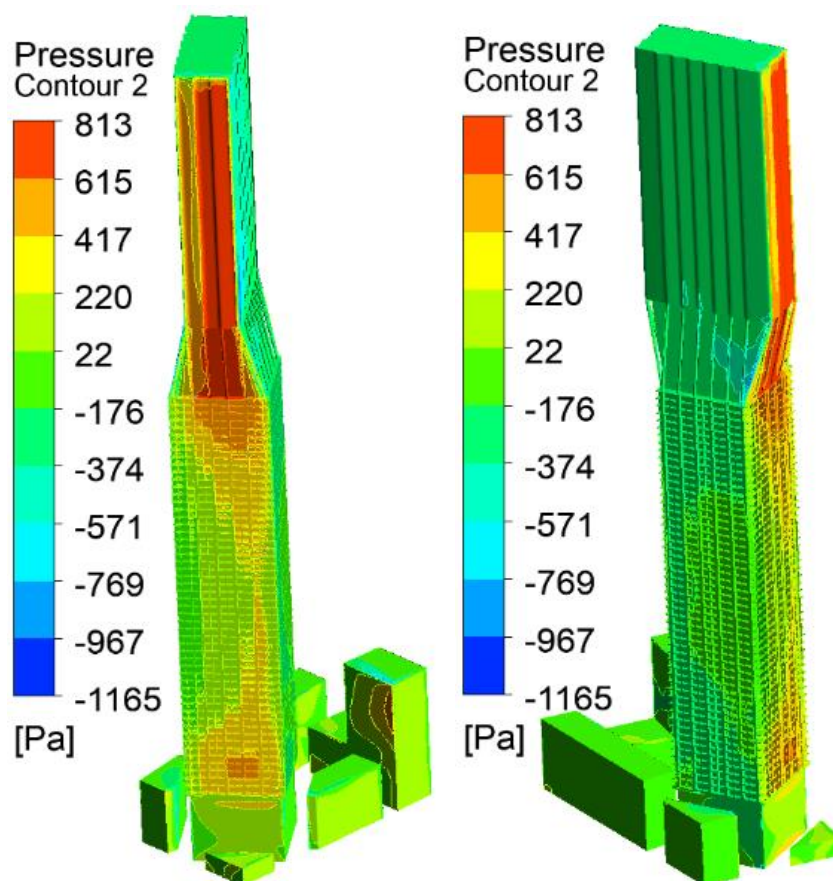


Рис. 2.21. Средние давления на фасадах для Варианта 3 (с учетом застройки), Па. Угол атаки 90°.

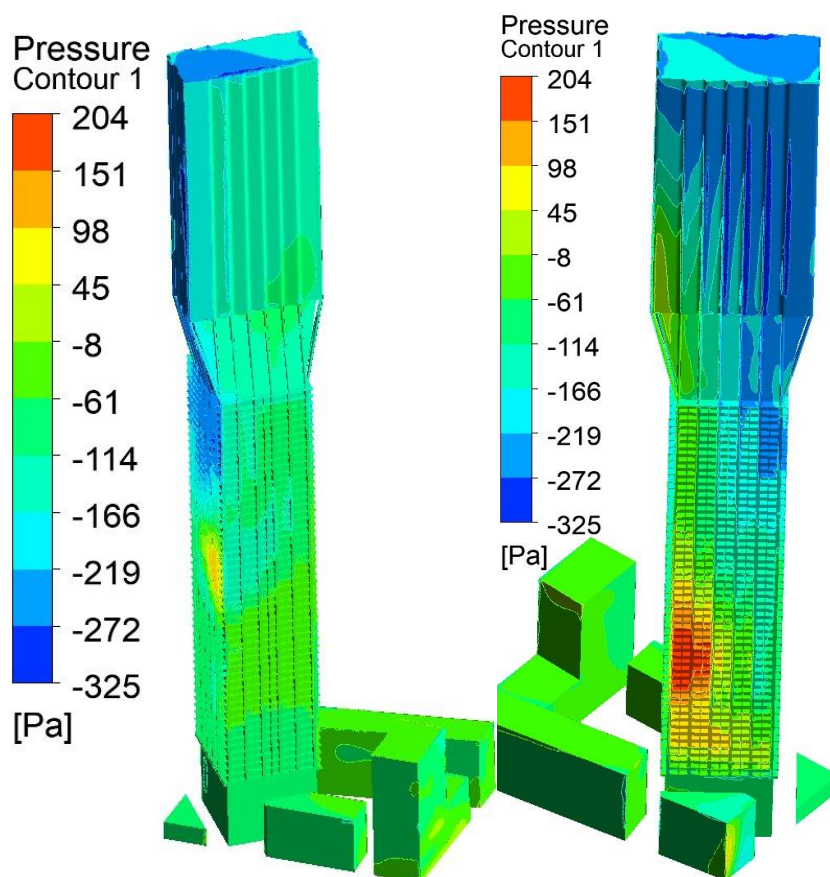


Рис. 2.22. Средние давления на фасадах для Варианта 3 (с учетом застройки), Па. Угол атаки 120°.

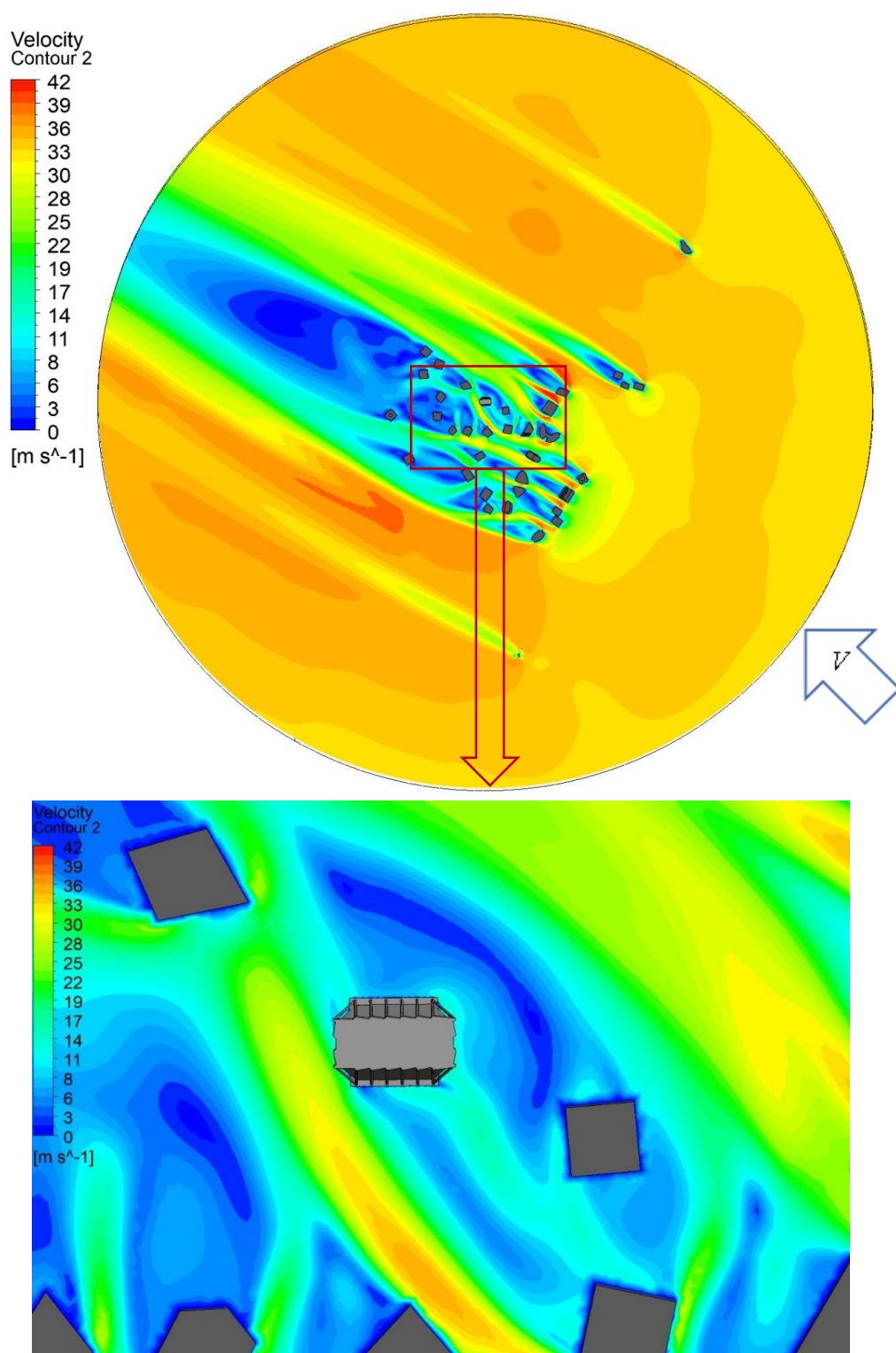


Рис. 2.23. Средняя скорость потока в сечении XY на высоте 200 м, м/с для  
Варианта 3 (с учетом застройки). Угол атаки 120°



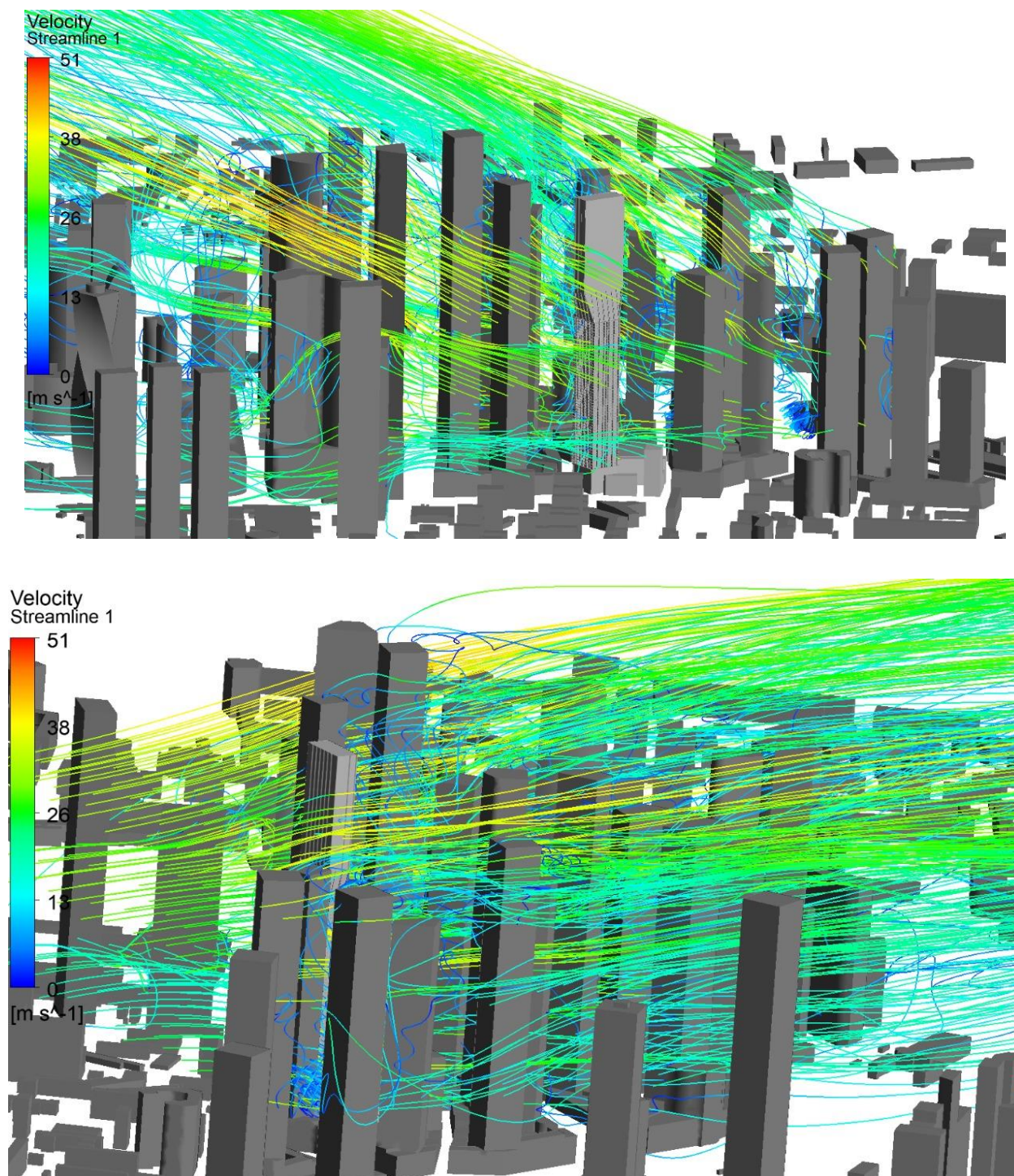


Рис. 2.24. Линии тока средних скоростей на высотах 100, 200 и 300 м при угле атаки  $120^\circ$  для Варианта 3 (с учетом застройки), м/с.

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here..4** Суммарные аэродинамические силы и моменты на высотную часть Объекта при различных углах атаки для Варианта 3 (с учетом застройки).

| Угол атаки | $F_X$ [тс] | $F_Y$ [тс] | $F_R$ [тс] | $M_X$ [тс·м] | $M_Y$ [тс·м] | $M_R$ [тс·м] |
|------------|------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 0          | 18         | -1320      | 1320       | 318534       | 4763         | 318570       |
| 15         | -180       | -1392      | 1404       | 333524       | -19724       | 334107       |
| 30         | -709       | -1353      | 1527       | 322073       | -140819      | 351513       |
| 45         | -795       | -1075      | 1337       | 251700       | -163332      | 300050       |
| 60         | -953       | -623       | 1139       | 139807       | -191780      | 237330       |
| 75         | -593       | -4         | 593        | 6932         | -117683      | 117887       |
| 90         | -566       | 77         | 571        | -27191       | -130702      | 133500       |
| 105        | -11        | 2          | 11         | 222          | 2604         | 2614         |
| 120        | 67         | -36        | 76         | 17108        | 15855        | 23325        |
| 135        | 44         | 107        | 116        | -15460       | 11391        | 19203        |
| 150        | 19         | 333        | 334        | -75117       | 2712         | 75166        |
| 165        | -19        | 188        | 189        | -43509       | -2430        | 43577        |
| 180        | 67         | 314        | 321        | -90820       | 13169        | 91770        |
| 195        | 76         | 598        | 602        | -181627      | 12967        | 182089       |
| 210        | 381        | 227        | 444        | -41740       | 60418        | 73434        |
| 225        | 603        | 477        | 769        | -120583      | 133154       | 179639       |
| 240        | 536        | 455        | 703        | -111424      | 114511       | 159775       |
| 255        | 616        | 372        | 720        | -89130       | 131901       | 159192       |
| 270        | 516        | 126        | 531        | -20280       | 123092       | 124751       |
| 285        | 236        | -4         | 236        | 434          | 70083        | 70084        |
| 300        | 97         | -65        | 117        | 25210        | 36878        | 44671        |
| 315        | 73         | -371       | 378        | 115512       | 24708        | 118125       |
| 330        | -25        | -1082      | 1082       | 263537       | -2655        | 263551       |
| 345        | -71        | -1252      | 1254       | 302858       | -12644       | 303121       |



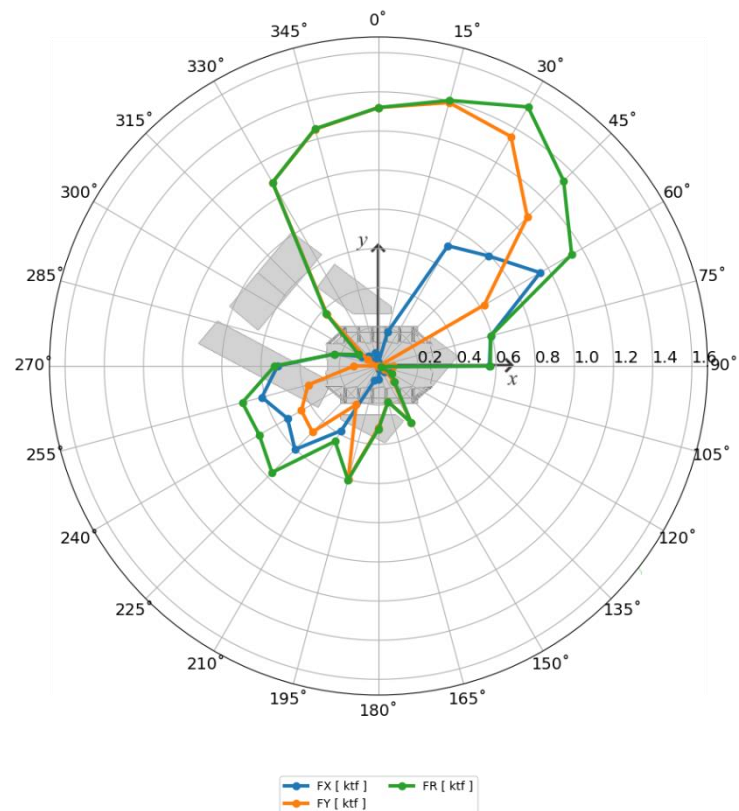


Рис. 2.25. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических сил на высотную часть Объекта для *Варианта 3* (с учетом застройки), ктс

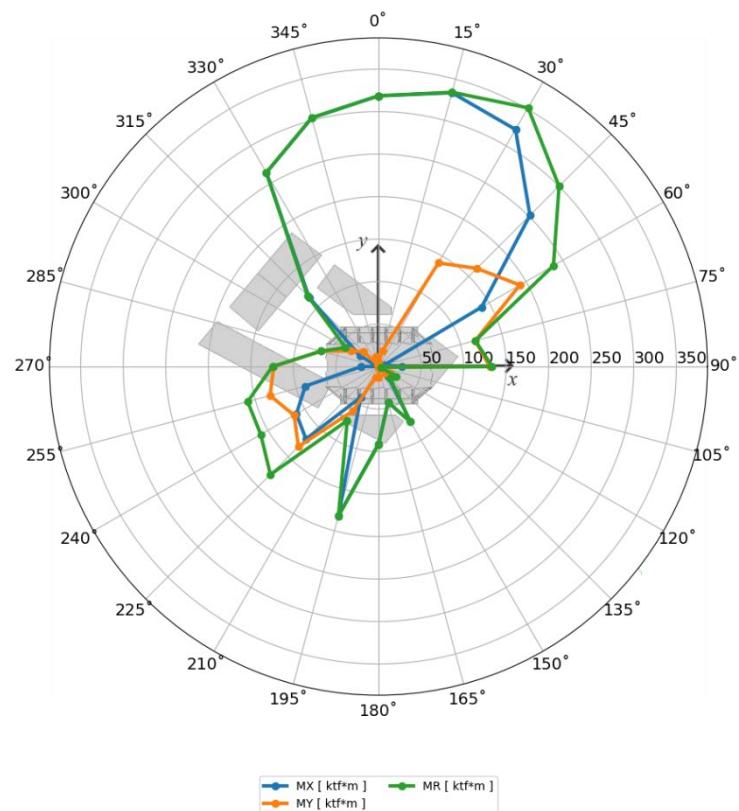


Рис. 2.26. Круговая диаграмма суммарных аэродинамических опрокидывающих моментов на высотную часть Объекта для *Варианта 3* (с учетом застройки), ктс·с

Таблица **Error! Use the Home tab to apply Заголовок 1 to the text that you want to appear here..5** Сводная таблица по максимальным интегральным нагрузкам для трех концептуальных вариантов Объекта без учета застройки

| Концептуальный вариант<br>Объекта      | $\max(F_R)$ ,<br>тс | $\max(M_R)$ ,<br>тс·м | Реализующие<br>углы атаки, ° |
|----------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|
| Вариант 1<br>(квадратное сечение)      | 1295                | 285 524               | 45, 135, 225, 315            |
| Вариант 2<br>(шестиугольное сечение)   | 1097                | 241 709               | 0, 60, 120,<br>180, 240, 300 |
| Вариант 3<br>(комбинированное сечение) | 1419                | 336 473               | 0, 180                       |

### 3. Выводы и рекомендации

По результатам выполненной НИР **«Численные аэродинамические исследования интегральных характеристик различных концептуальных форм высотного здания и параметров пешеходной комфортности в зоне комплекса зданий по Объекту: "Многофункциональный высотный жилой комплекс с подземной автостоянкой, встроенно-пристроенными нежилыми помещениями "Сити 2. Лот 1", по адресу: г. Москва, ул. территория, прилегающая к ММДЦ Москва-Сити и ограниченной: Третьим Транспортным кольцом, 1-м и 2-м Красногвардейским проездом, Шмитовским проездом, ул. Антонова-Овсеенко»** можно сформулировать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения исходных данных разработаны и верифицированы расчетные трехмерные численные аэродинамические модели различных концептуальных вариантов Объекта с учетом и без учета окружающей застройки.

2. С использованием разработанной численной методики определения ветровой комфортности пешеходных зон и интегральных ветровых нагрузок и воздействий на несущие конструкции, реализованной в программном комплексе ANSYS CFD (CFX), проведены многовариантные расчетные исследования ветровой аэродинамики различных концептуальных вариантов Объекта при 24-и направлениях ветра с учетом и без учета окружающей застройки.

3. В результате проведенных многовариантных расчетных исследований (при 24-х направлениях ветра для трех концептуальных реализации Объекта: Вариант 1 – квадратное сечение, Вариант 2 – шестиугольное сечение, Вариант 3 – комбинированное, переменное по высоте сечение (без учета застройки), Вариант 3+ – комбинированное сечение (с учетом застройки) - были выявлено следующее:

- второй вариант (шестиугольное сечение башни) минимизирует, а третий – самый нагруженный по суммарным ветровым нагрузкам на несущие конструкции (горизонтальным силам и опрокидывающим моментам). Разброс по силам и моментам составляет ~20% и ~30% соответственно (табл. 6.5);

- влияние застройки кардинально изменяет интегральные ветровые нагрузки на несущие конструкции. Возникающее затенение (экранирование) может как уменьшать суммарную среднюю ветровую нагрузку (для углов атаки 0°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°, 180°, 195°, 210°, 225°, 240°, 255°, 270°, 285°, 300°, 315°, 330°), так и увеличивать (для углов атаки 30°) по сравнению с вариантом без застройки.

4. Предпочтительность концептов с точки зрения минимизации ветровых нагрузок может быть оценена на основе средних ветровых нагрузок. Однако на стадии проектирования рекомендуется определять ветровые нагрузки с учетом пульсационной составляющей, динамических характеристик исследуемого здания и окружающей. В силу близкого расположения ряда других высотных зданий (уже существующих, возводимых и планируемых) рекомендуется на стадии проектирования провести оценку возможности возникновения бафтинга.

5. По результатам проведенных расчетных исследований можно сделать вывод, что в целом ветровая комфортность пешеходных зон исследуемого комплекса обеспечена. Локальные зоны ветрового дискомфорта наблюдаются в угловых зонах зданий Объекта.