



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский**

**Московский государственный строительный университет»**

*129337, Россия, Москва, Ярославское ш., д. 26, тел. +7 (495) 781-80-07, факс +7 (499) 183-44-38*

# **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ**

по теме:

**Численное моделирование ветровых нагрузок, разработка методики  
нелинейного расчета для трехслойных самонесущих навесных панелей  
серии НП1.1 и оценках их несущей способности**

**Этап 1.**

**Численное моделирование и разработка схем зонирования пиковых ветровых  
давлений для Объекта: «Жилой дом с подземной автостоянкой с инженерными  
сетями и благоустройством территории по адресу:  
г. Москва, Алтуфьевское шоссе, влд. 51-53 (корпус 2)»**

**МОСКВА 2023**

---

*Подготовка к заключению договоров на разработку проектной документации и выполнение  
инженерных изысканий от имени НИУ МГСУ осуществляется только*

*Дирекцией научно-технических проектов  
тел.: +7 (495) 739-03-14; e-mail: ntp@mgsu.ru*

## 1. 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.

### 1.1 Площадка строительства, рельеф и застройка объекта

Объект возводится по адресу: г. Москва, Алтуфьевское шоссе, влд. 51-53. С севера и востока от Объекта преобладает невысокая жилая застройка. С юга и запада расположены низкоэтажные складские постройки.

Локальный рельеф местности в радиусе 1 км вокруг Объекта в основном ровный, перепад высот по сравнению с высотой Объекта незначительный.

Строящийся Объект включает 3 корпуса, но в настоящем исследовании учитывается только 2-ой корпус, т.к. ставится цель получить обобщенную картину распределения ветровых давлений, не подверженную частному влиянию близкорасположенных зданий.

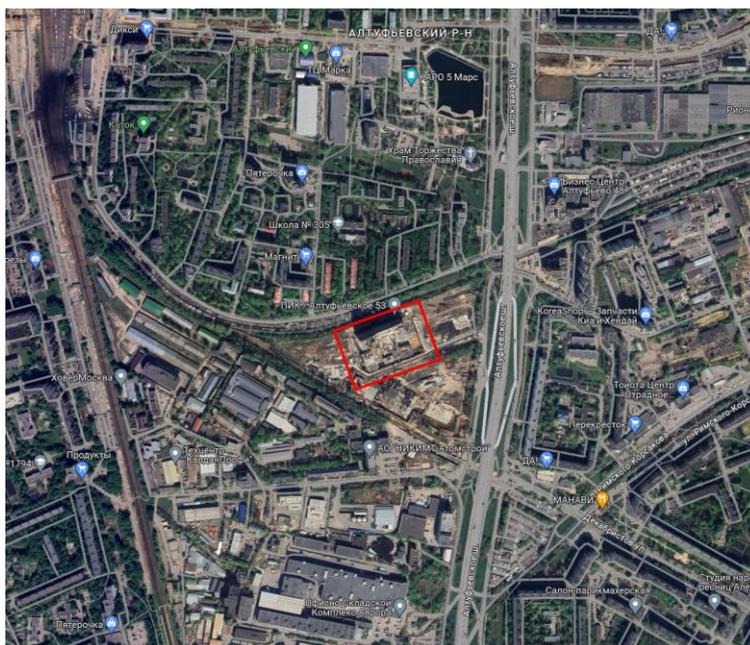


Рис. Существующий объект на карте г. Москвы, (источник: [google.com/maps](http://google.com/maps))

Согласно СП 20.13330.2016 площадка строительства находится в **I ветровом районе** (нормативное значение ветрового давления  $w_0 = 230 \text{ Па}$ ). При определении ветровых нагрузок следует принять тип местности **B**, т.к. Объект окружен со всех сторон низкоэтажной окружающей застройкой.

### 1.2 Краткая характеристика исследуемого Объекта

Объект представляет из себя типовой жилой комплекс, множество которых строится в г. Москва и других регионах России. Корпус 2 состоит из 5 секций и низкой пристройки. Две секции имеют 24 этажа, а три – по 16 этажей.

Фасады объекта выполнены из трехслойных навесных панелей с отделкой кирпичем и плиткой.



Рис. Рендер объекта (с сайта застройщика, форма отличается от проекта)

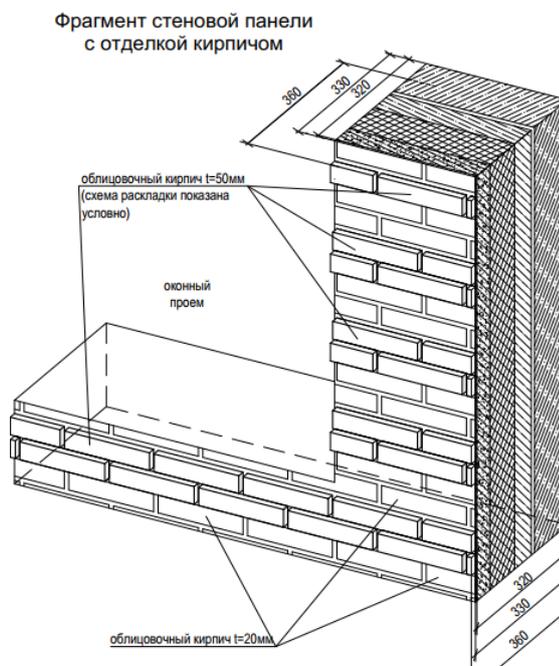


Рис. Фрагмент стеновой панели с отделкой кирпичом

### 1.3 Постановка задач аэродинамических исследований

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

1. Разработка трехмерных математических (численных) моделей аэродинамики Объекта с учетом окружающей застройки и различных направлений ветра.
2. Определение распределения огибающих пиковых ветровых давлений на навесные панели Объекта для исследуемых направлений ветра.
3. Определение направлений ветра и зоны, для которых реализуются экстремальные значения пиковых ветровых давлений на навесные панели Объекта
4. Разработка схем пиковых ветровых давлений для выявленных наиболее опасных направлений ветра и зон с точки зрения расчета навесных панелей.

## 2. Разработка численной модели

В программном комплексе ANSYS Fluent была разработана и верифицирована CFD-модель Объекта (корпус 2) с учётом окружающей застройки в радиусе 600 м. С целью определения обобщенных картин распределения аэродинамических коэффициентов, не зависящих от близкорасположенных зданий, корпуса 1 и 3 в модели не учитывались.

Численное моделирование аэродинамики Объекта проводилось в стационарной постановке с использованием RANS-модели турбулентности SST k- $\omega$ , как лучшей в данном классе задач при отсутствии экспериментальных данных.

Исследования проводились для 72 направлений ветра (от 0° до 355° с шагом 5°).

### 2.1 Расчетная область для численных исследований

Подготовка численных моделей начинается с создания геометрии расчетной области вокруг Объекта и существующей окружающей застройки в радиусе 600 м. Геометрия Объекта выполнена согласно предоставленной заказчиком модели, а существующая окружающая застройка – на основе открытых GIS-данных. Расчетная область разделена на 2 части: внутреннюю цилиндрическую радиусом 700 м и внешнюю прямоугольную 4350×3500 м. Высота обеих частей – 500 м. При смене направлений ветра внутренняя область остается неподвижной, а внешняя – поворачивается на соответствующий угол.

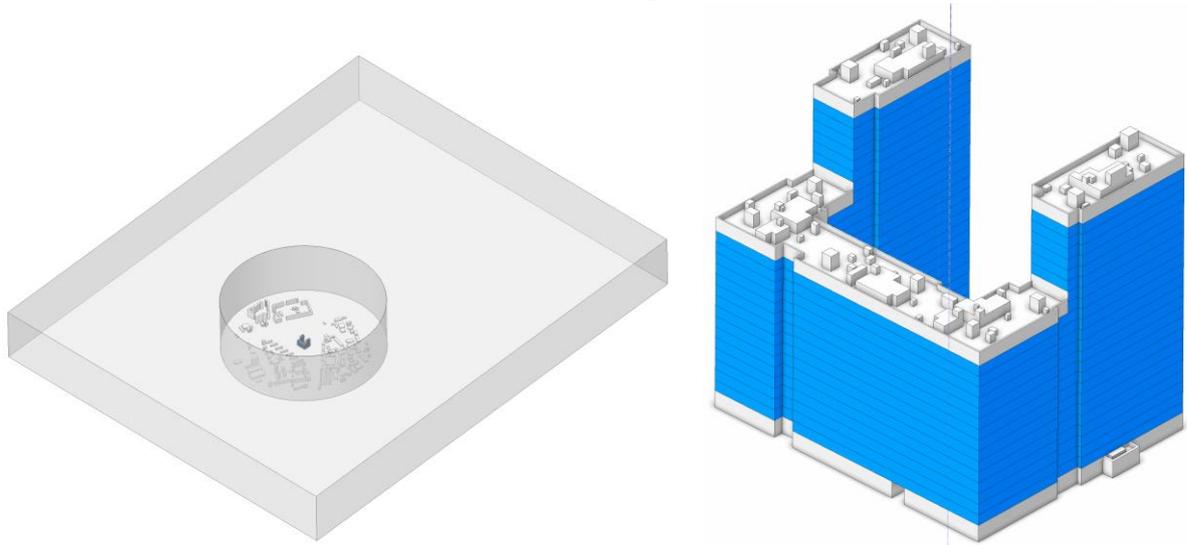


Рис. Расчетная область численной модели и геометрическая модель Объекта.  
Синим цветом выделены исследуемые области

### 2.2 Конечнообъемная сетка

Дискретизация расчетной области конечнообъемной сеткой проводится в ANSYS Fluent Meshing. Во внутренней части расчетной области используется эффективная в вычислительном смысле конечнообъемная сетка из полигексогональных конечных объемов (КО). Во внешней части расчетной области используются призматические конечные объемы. Связь между внутренней и внешней частью расчетной области осуществляется через специальный интерфейсный алгоритм передачи искомых функций.

Параметры используемых для расчетов конечнообъемных сеток представлены в табличном виде. Визуализация конечнообъемных сеток представлена на рисунках.

Общее количество КО в численной модели ~10 млн.

Пограничный слой возле поверхностей Объекта, застройки и земли дискретизировался рядом тонких (в нормальном к поверхности направлении) конечных объемов.

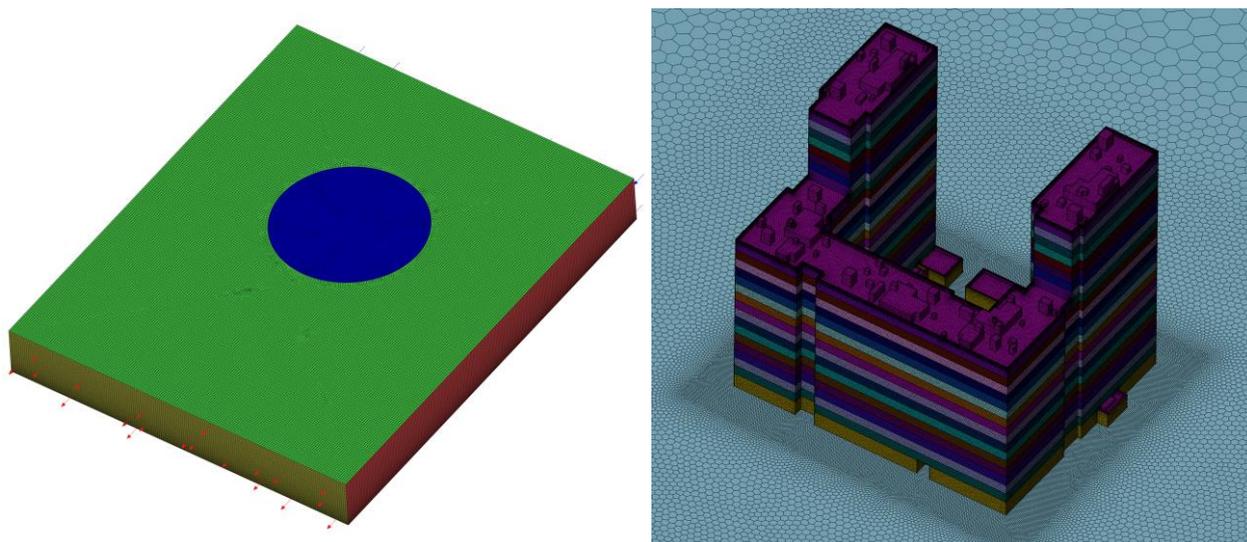


Рис. Конечнообъемная сетка расчетной области (общий вид сверху) и поверхностная сетка на поверхностях исследуемого Объекта

### 2.3 Граничные условия

Граничные условия на "входе" (*INLET*) для расчетной области соответствуют 1-му ветровому району, типу местности В.

На "выходе" (*OUTLET*) назначаются "мягкие" граничные условия с нулевыми дополнительными давлениями.

Верхней и боковым границам расчетной области назначается граничное условие *SYMMETRY* (нулевые производные по нормали для всех искомых величин), в данном случае моделирующее невозмущенность потока.

На "земле" и зданиях задано условие "стенки с прилипанием" (No-Slip Wall,  $U=V=W=0$  м/с), исключающее проникновение вещества через поверхность. На стенах Объекта задана эквивалентная шероховатость 0.03 м, соответствующая выступам на навесных панелях.

Тип среды – несжимаемый воздух при температуре (25°C) и давлении 1 атм.

### 2.4 Параметры численных схем

Численное решение проводилось на основе псевдо-нестационарного метода (множитель псевдвремени – 0.5). Общее количество итераций для каждого направления ветра – 150. Сбор статистики для получения осреднённых изополей проводился на последних 50 итерациях.

Для уравнений моментов, давлений и переноса турбулентных характеристик использовались численные схемы 2-го порядка.

Схема связи скорость-давление – Coupled.

### 3. Пиковые ветровые давления на навесные панели

В главе представлены результаты численного моделирования пиковых ветровых давлений на ограждающие конструкции, включая навесные панели, Объекта для 72-х направлений ветра (с шагом  $5^\circ$ ).

Положительные значения ветровых давлений соответствуют направлению на поверхности, а отрицательные – от поверхностей.

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

Все представленные в главе результаты относятся к внешним ветровым давлениям. Внутренние ветровые давления следует принимать согласно п. В.1.9 СП 20.13330 ( $c_i = + 0.2$  для положительных внешних давлений и  $c_i = - 0.2$  – для отрицательных).

#### 3.1 Огибающие значения пиковых давлений

На рисунках представлены картины огибающих среди всех исследуемых направлений ветра положительных и отрицательных пиковых ветровых давлений. Также в соответствующей главе представлены картины направлений ветра, при которых реализуются экстремальные значения положительных и отрицательных пиковых ветровых давлений.

В *Приложении* к отчету о настоящем исследовании представлены поэтажные графики огибающих пиковых аэродинамических коэффициентов. Указанные графики получены осреднением значений коэффициентов по вертикальным полосами шириной 0.5м.

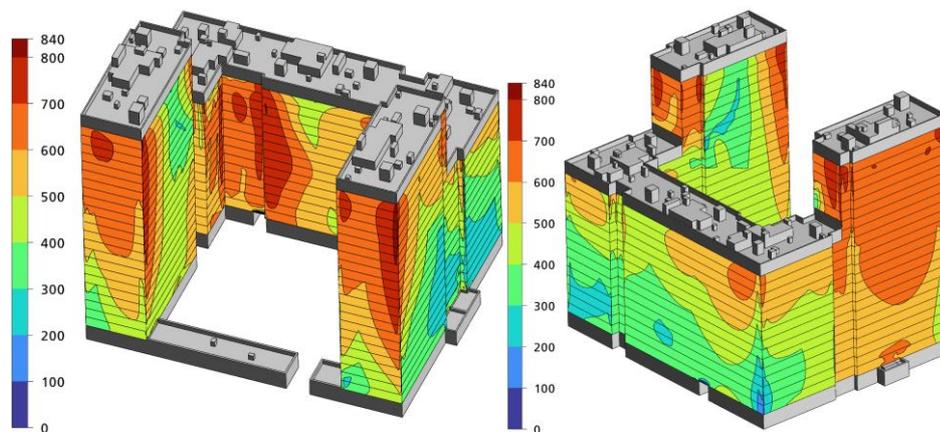


Рис. Положительные пиковые ветровые давления на поверхностях Объекта, Па

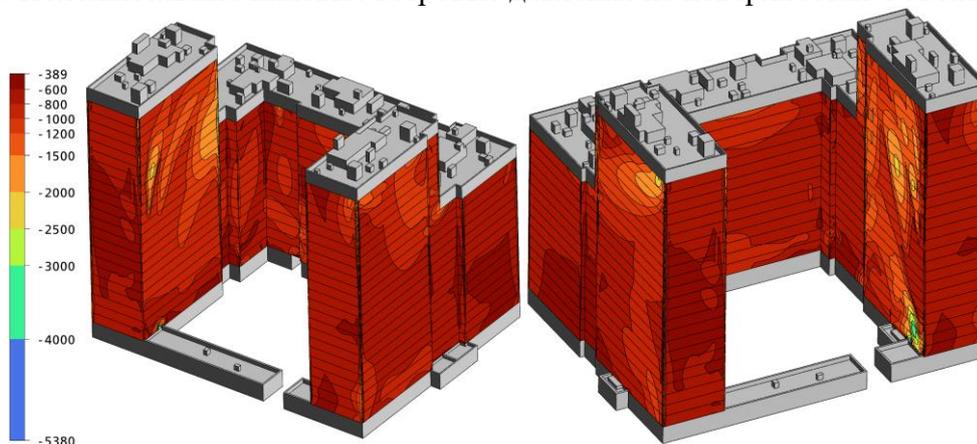


Рис. Отрицательные пиковые ветровые давления на поверхностях Объекта, Па

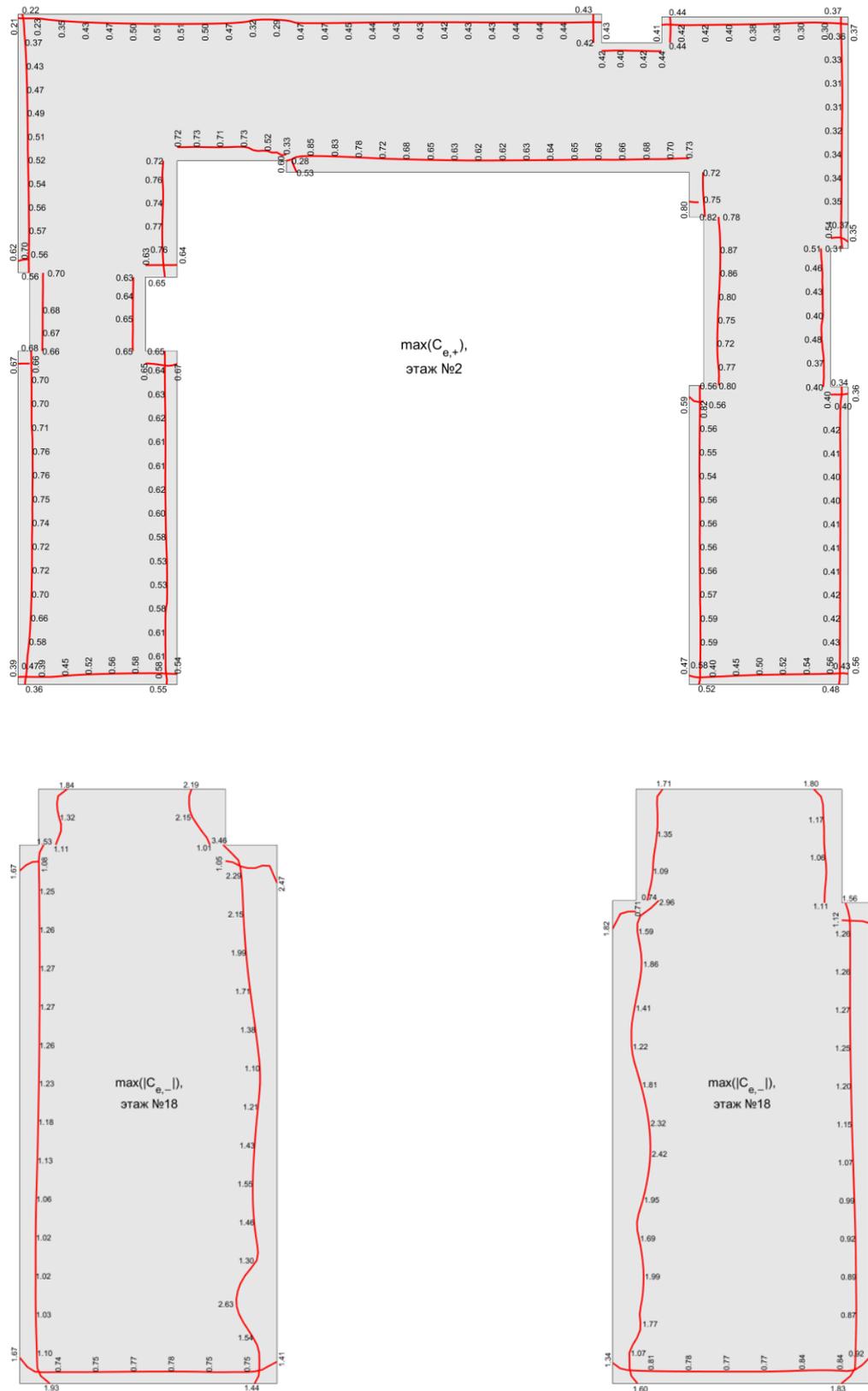


Рис. Пример представления результатов - поэтажные огибающие положительных/отрицательных пиковых аэродинамических коэффициентов

### 3.2 Схемы пиковых давлений на навесные панели для опасных случаев

В ходе анализа результатов выявлено, что экстремальные значения пиковых ветровых давлений проявляются в ограниченном числе зон для нескольких направлений ветра. Для экстремальных случаев было разработано 9 схем расчетных пиковых ветровых давлений, представленных далее. Также была разработана 10-я схема для характерных значений отрицательных пиковых давлений, которые охватывают около 80% всех площадей фасадов (см. рисунок ниже). Каждая схема имеет постоянные значения в вертикальной плоскости.

При использовании приведенных схем в прочностных расчетах следует умножить значения на внешнем слое на коэффициент корреляции ветровых давлений  $v_{+(-)}$  согласно п. 11.2 СП 20.1330.2016. Для исследуемых на Этапах 2-3 навесных панелей серии НП1.1 площадью  $14.7\text{м}^2$  коэффициент корреляции положительных давлений  $v_+ = 0.78$ , отрицательных  $-v_- = 0.70$ .

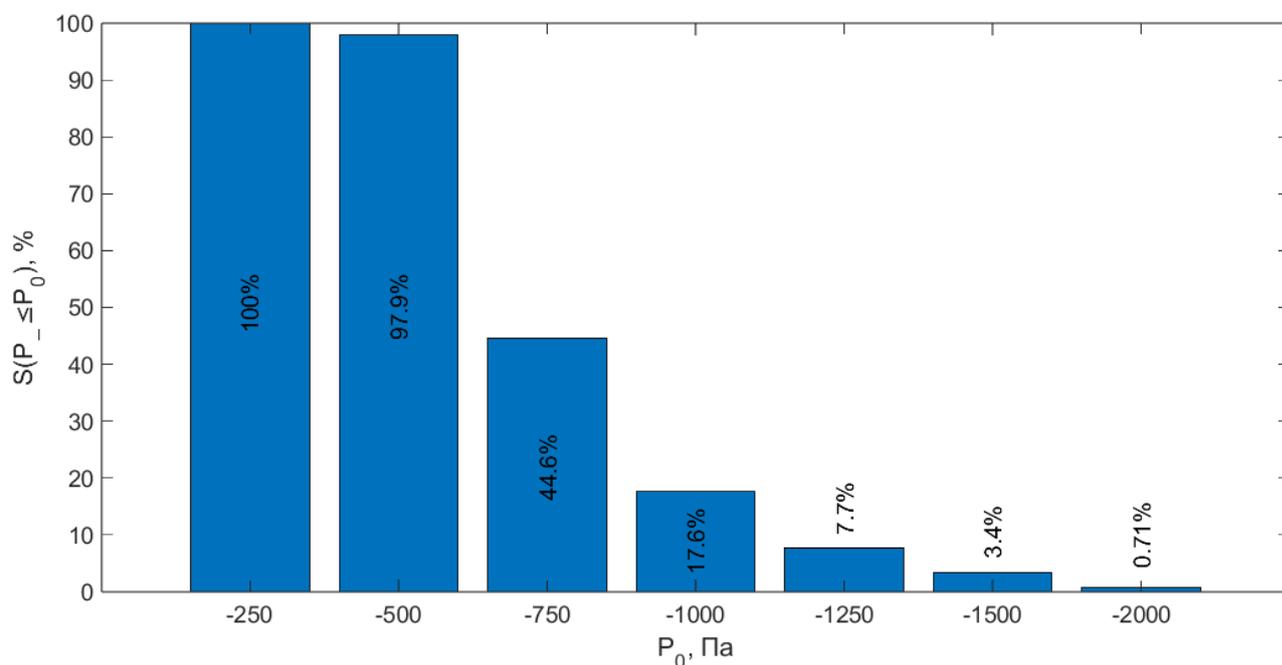
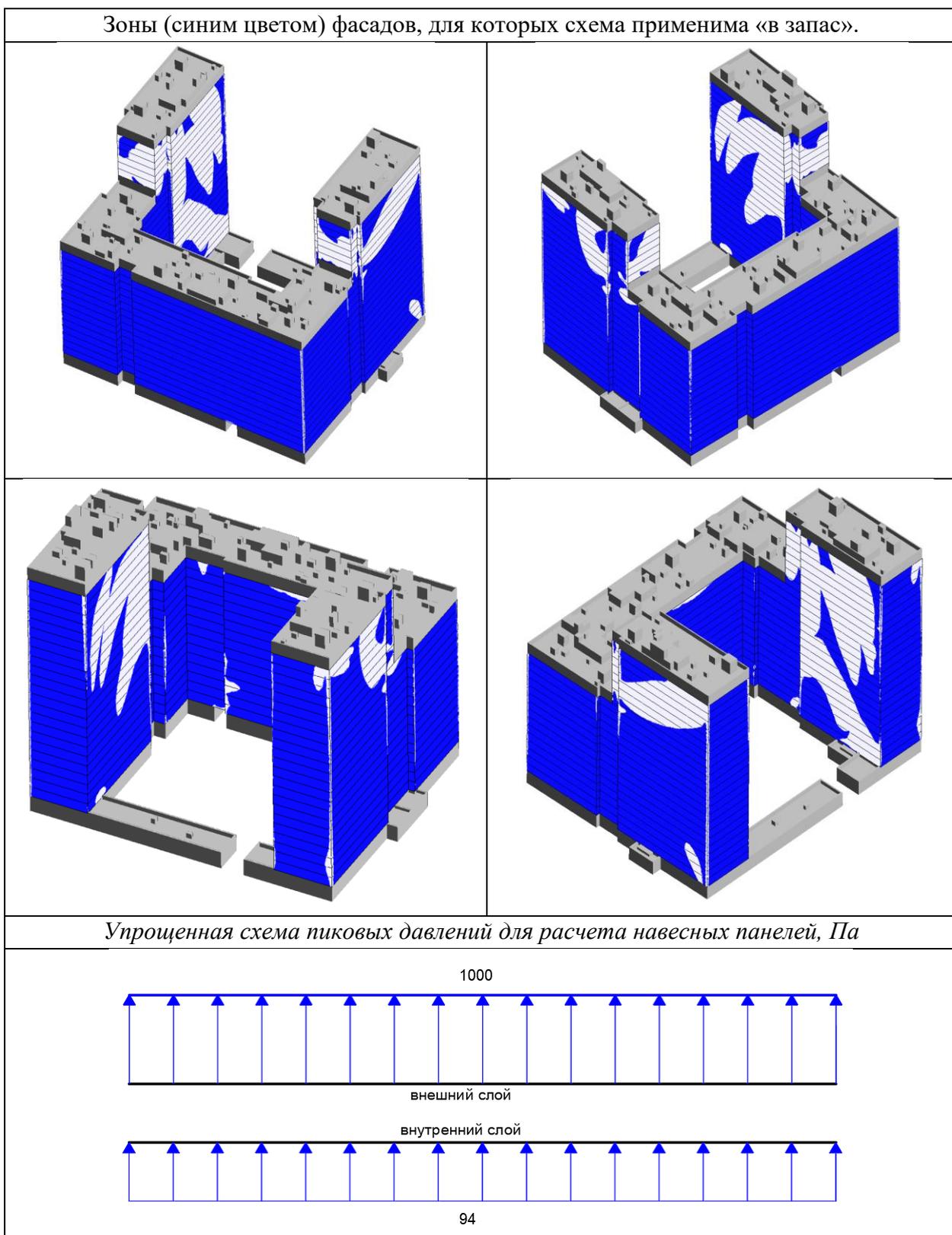


Рис. Относительная площадь фасадов Объекта, для которой значение отрицательных пиковых ветровых давлений  $\Delta P_-$  ниже фиксированных значений  $P_0$ , %

### Схемы пиковых ветровых давлений для расчета навесных панелей №4-5

Описание		Фрагмент со схемы огибающих давлений	Фрагмент со схемы направлений реализации
знак:	—		
этаж:	2 / 3		
направление ветра, °:	135 / 130		
Положение в плане			
<b>Упрощенные схемы пиковых давлений для расчета навесных панелей, Па</b>			
этаж 2, направление 135°			
	<p style="text-align: center;">94</p>		
этаж 3, направление 130°			
	<p style="text-align: center;">94</p>		

### Схема пиковых ветровых давлений для расчета навесных панелей №10



Для прочностных расчетов навесных панелей на этапах 2-3 настоящей работы рекомендуется использовать схемы №1, 4-6 и 10 соответствующие наиболее опасным и характерным расчетным случаям.

## Выводы и рекомендации

По результатам выполненной НИУ МГСУ работы по теме «Численное моделирование ветровых нагрузок, разработка методики нелинейного расчета для трехслойных самонесущих навесных панелей серии НП1.1 и оценках их несущей способности» по **Этапу 1**: «Численное моделирование и разработка схем зонирования пиковых ветровых давлений для Объекта можно сделать следующие выводы и рекомендации:

1. На основе анализа и обобщения исходных данных разработана математическая (численная) модель аэродинамики Объекта (корпуса №2) с учетом окружающей застройки в радиусе 600 м.

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 для 72-х направлений ветра.

3. В результате проведенных исследований определены пиковые ветровые давления на ограждающие конструкции Объекта и соответствующие аэродинамические коэффициенты для 72-х направлений ветра. Выявлено, что экстремальные значения пиковых ветровых давлений проявляются в ограниченном числе зон для нескольких направлений ветра.

4. Для экстремальных случаев были разработаны 9 схем расчётных пиковых ветровых давлений на навесные панели. Также была разработана 10-я схема для характерных значений отрицательных пиковых давлений, которые охватывают около 80% всех площадей фасадов. Для прочностных расчетов навесных панелей на этапе 3 настоящей работы рекомендуется использовать схемы №1, 4-6 и 10, соответствующие наиболее опасным и характерным расчетным случаям.

Отметим, что схемы 4-5 обусловлены специфической аэродинамикой исследуемого объекта и отсутствием вблизи застройки. Для других объектов (даже сходных) подобные схемы, вероятно, не реализуются.

При использовании приведенных схем в прочностных расчетах следует умножать значения на внешнем слое на коэффициент корреляции ветровых давлений  $v_{+(-)}$  согласно п. 11.2 СП 20.1330.2016. Для исследуемых на Этапах 2-3 навесных панелей серии НП1.1 площадью  $14.7\text{м}^2$  коэффициент корреляции положительных давлений  $v_+ = 0.78$ , отрицательных –  $v_- = 0.70$ .

При расчете по 2-ой группе предельных состояний значения пиковых ветровых давлений следует разделить на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_f = 1.4$ .