



(23)-0399-1

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВЕТРОВЫМ ПОТОКОМ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В ЗАСТРОЙКАХ РАЗЛИЧНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

А. П. Бутова<sup>1</sup>, Э. А. Лозинский<sup>2</sup>

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,  
286128, г. о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

E-mail: <sup>1</sup>a.p.butova@donnasa.ru, <sup>2</sup>e.a.lozinskiy@donnasa.ru

Получена 01 ноября 2023; принята 24 ноября 2023.

**Аннотация.** В статье выполнен анализ классификации гражданских зданий по форме их группирования в городской застройке, определены основные формы застройки. Приведена систематизация отношения расстояний между исследуемой моделью и моделями-преградами, конфигурацией застройки составлена программа проведения масштабных экспериментов в аэродинамической трубе. Так же приведены результаты экспериментальных исследований в аэродинамической трубе, определено распределение аэродинамических коэффициентов давления на модели здания массового строительства. Выявлены закономерности между распределением ветрового давления от геометрических параметров здания и конфигурации застройки. Разработана математическая модель обтекания призматических цилиндров, имитирующих застройку, на основе метода наименьших квадратов и точечного исчисления. На основании разработанной математической модели построены зависимости распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) на поверхности здания в застройках различной конфигурации. Определено, что распределение коэффициентов давления ветра ( $C_p$ ) на наветренную и заветренную стороны здания  $C_n$  и  $C_n$ , расположенного в застройке, отличается от давления на наветренную  $C_n = +0,8$  и заветренную  $C_n = -0,6$  стороны отдельностоящего здания, принятые за нормативные.

**Ключевые слова:** здания массового строительства, застройки различной конфигурации, аэродинамический коэффициент, ветровая нагрузка, аэродинамическая труба.

## EXPERIMENTAL STUDIES AND NUMERICAL MODELING OF WIND FLOW AROUND CIVIL BUILDINGS LOCATED IN BUILDINGS OF VARIOUS CONFIGURATIONS

Alla Butova<sup>1</sup>, Eduard Lozinskiy<sup>2</sup>

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2.

E-mail: <sup>1</sup>a.p.butova@donnasa.ru, <sup>2</sup>e.a.lozinskiy@donnasa.ru

Received 01 November 2023; accepted 24 November 2023.

**Abstract.** The article analyzes the classification of civil buildings by the form of their grouping in urban development, identifies the main forms of development. The systematization of the ratio of distances between the studied model and the obstacle models, the building configuration, and a program for conducting large-scale experiments in a wind tunnel are presented. The results of experimental studies in a wind tunnel are also



presented, and the distribution of aerodynamic pressure coefficients on models of a mass-construction building is determined. The patterns between the distribution of wind pressure from the geometric parameters of the building and the building configuration are revealed. A mathematical model of the flow around prismatic cylinders simulating buildings based on the method of least squares and point calculus has been developed. On the basis of the developed mathematical model, the dependences of the distribution of pressure coefficients ( $C_p$ ) on the building surface in buildings of various configurations are constructed. It has been determined that the distribution of wind pressure coefficients ( $C_p$ ) on the windward and windward sides of a building  $C_u$  and  $C_n$ , located in a building, differs from the pressure on the windward  $C_u = +0,8$  and windward  $C_n = -0,6$  sides of a detached building, taken as standard.

**Keywords:** buildings of mass construction, buildings of various configurations, aerodynamic coefficient, wind load, wind tunnel.

## Введение

Обтекание тел ветровыми потоками является сложным физическим процессом. Исследование этого явления ведутся в основном экспериментальным методом, т. к. организовать натурные исследования достаточно сложно и громоздко. Кроме того, натурные исследования не предусматривают возможность варьирования типами застройки расстояниями между зданиями, их высотой, а также направлениями движения ветра и его скоростью.

## Описание объекта исследований

Объектом исследования является гражданское здание массового строительства, расположенное в застройках различной конфигурации.

## Цель работы

Цель данной работы – выявить закономерности между распределением ветрового давления от геометрических параметров здания и конфигурации застройки, на основании разработанной математической модели построены зависимости распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) на поверхности здания в застройках различной конфигурации.

## Основной материал

Основополагающие сведения по теории архитектурно-строительной аэродинамики и методикам по определению ветровых нагрузок на здания и сооружения представлены в работах

Е. Simiu [19], В. Lishman, А. W. Woods [5], Н. Н. Сереберенникова и Ф. Л. Серебровского [18]. Методы экспериментального моделирования ветрового потока на здания и сооружения в аэродинамической трубе приведены в работах Е. В. Горохова, В. Н. Васылева, С. Г. Кузнецова [13, 14, 16, 17]. Вопросами численного моделирования с использованием метода наименьших квадратов и точечного исчисления занимались И. Г. Балюба [8, 9, 10, 11], Е. В. Конопацкий [3, 9, 11].

Для жилых кварталов и микрорайонов характерны разные приемы застройки [18]. Они отличаются неодинаковым расположением домов по отношению к красной линии улиц и линии застройки. Красные линии улиц и магистралей намечают для соблюдения градостроительного регламента при строительстве и реконструкции городов. Красная линия улицы или магистрали обозначает условные границы, которые отделяют территорию магистралей улиц, проездов и площадей от территорий, предназначенных под застройку. Для жилых образований характерны общие планировочные приемы застройки: периметральная, групповая, строчная, свободная и комбинированная.

Н. Н. Сереберенников и Ф. Л. Серебровский [18] рассмотрели произвольный проект застройки жилого микрорайона. Генеральный план данного микрорайона ими был мысленно разделен на группы зданий, формирующих фрагменты застройки. Ими были проанализированы значительное число проектов застройки и сделан вывод, что существуют 7 видов основных форм

фрагментов: 1 – прямоугольная, 2 – ромбовидная, 3 – трапециевидная, 4 – пятиугольная, 5 – шестиугольная, 6 – семиугольная и 7 – восьмиугольная (рис. 1).

Каждый из этих фрагментов может иметь вариации: разрывов, в том числе полное отсутствие таковых (сплошная периметральная застройка),

и, напротив, незамкнутых контур фрагмента (отсутствие застройки с какой-либо стороны); а также вытянутости или сжатости фрагмента в плане (рис. 2) [18].

Размеры фрагментов варьируются в широких пределах: от  $2H$  до  $10H$  по длине или ширине фрагмента, где  $H$  – высота здания (рис. 3) [18].

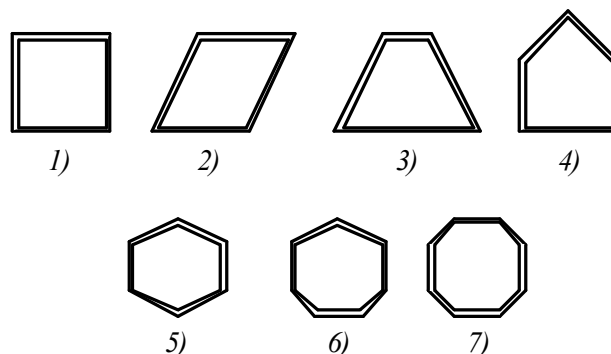


Рисунок 1. Основные формы фрагментов застройки.

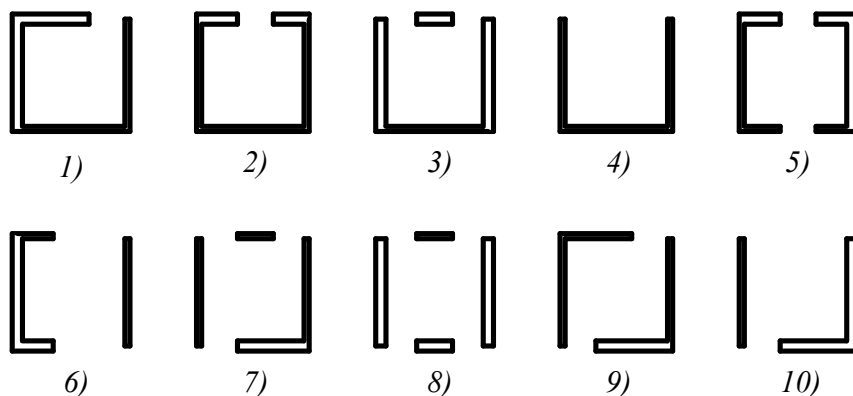


Рисунок 2. Комбинации разрывов: 1, 2 – фрагмент с одним разрывом с наветренной стороны; 3 – с двумя разрывами с наветренной стороны; 4 – открытый с наветренной стороны; 5, 6 – с одним разрывом с наветренной и одним разрывом с заветренной стороны, расположенными в створе друг с другом; 7 – с двумя разрывами с наветренной и одним с заветренной стороны; 8 – с двумя разрывами с наветренной и заветренной сторон; 9 – с одним разрывом с наветренной и одним разрывом с заветренной, расположенных не в створе друг с другом; 10 – фрагмент, открытый в наветренной стороны и с раствором на заветренной стороне.

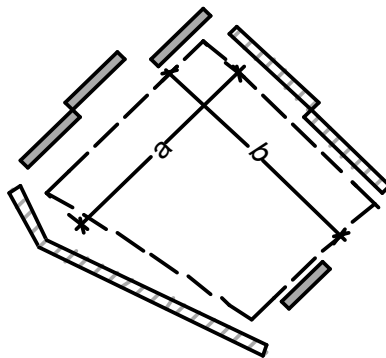


Рисунок 3. Размеры фрагментов застройки:  $a$  – ширина,  $b$  – длина фрагмента.

В нормативах по нагрузкам и воздействиям за нормативные, приняты следующие коэффициенты давления ветра ( $C_p$ ) – на наветренную сторону отдельностоящего здания  $C_n = +0,8$  и заветренную сторону отдельностоящего здания  $C_n = -0,6$  [1]. Однако отдельностоящие здания на практике встречаются редко, поэтому для выявления зависимости параметров периметральной застройки от параметров ветровой нагрузки на здания массового строительства, с учетом планировки застройки была разработана программа масштабных исследований в лаборатории строительной аэродинамики в аэродинамической трубе [2, 4, 6, 12].

Для проведения эксперимента были созданы: исследуемая модель гражданского здания и модели-преграды. Исследуемая модель представляет собой параллелепипед, выполненный из органического стекла, с размерами  $360 \times 60 \times 75$  мм, что эквивалентно размерам пятиэтажного жилого здания. Модели-преграды были выполнены из пенопласта и окрашены в черный цвет. Размеры моделей-преград в плане соответствуют размерам исследуемой модели, а высота 1Н, 2Н, 3Н, где Н – высота исследуемой модели (рис. 4).

На сторонах исследуемой модели были расположены дренажные отверстия на расстоянии  $30 \times 30$  мм друг от друга (рис. 5).

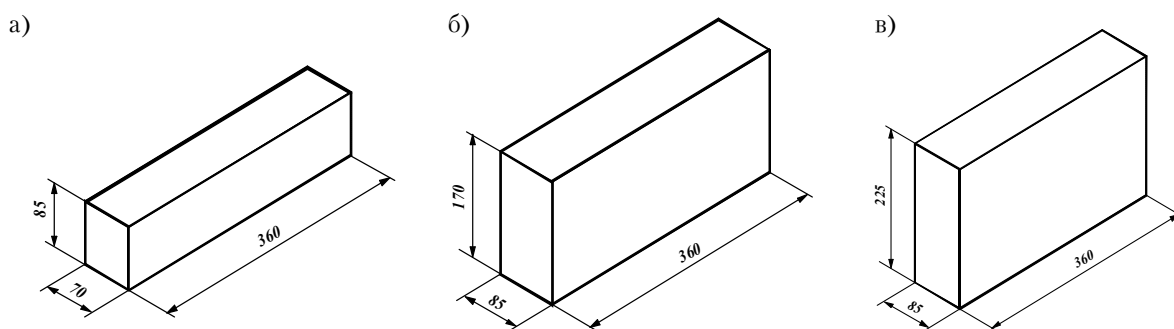


Рисунок 4. Внешний вид и размеры моделей для проведения эксперимента: а) исследуемая модель и модель-преграда высотой Н; б) модель-преграда высотой 2Н; в) модель-преграда высотой 3Н.

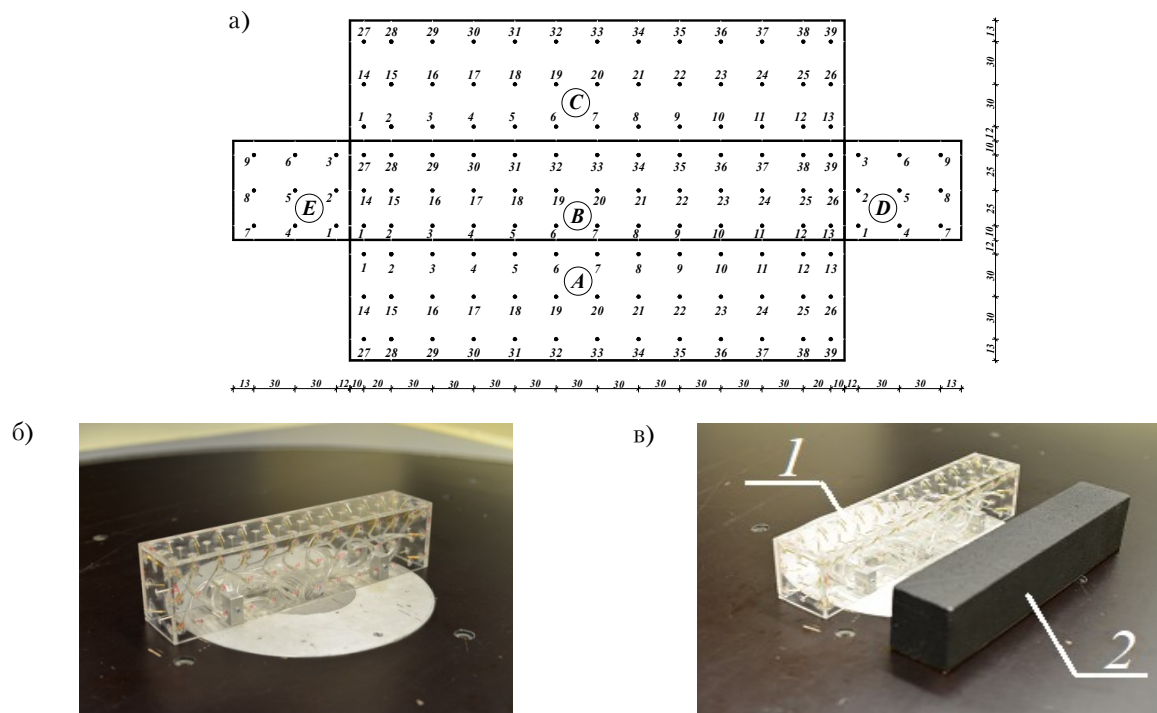


Рисунок 5. Форма, размеры исследуемой модели и ее взаимодействие с моделями-преградами, установленными на рабочем столе: а) – схема дренирования; б) – исследуемая модель с подключением дренажных отверстий к 16-портовому сканеру давления (Scanivalve, DSA 3 217; в) – исследуемая модель (1) и модель-преграда (2).

Исходя из вышесказанного программой эксперимента предусмотрено исследование нескольких различных видов конфигураций застройки, наиболее часто встречающихся при проектировании микрорайонов (рис. 6). Систематизировав отношения расстояний между исследуемой моделью и моделями-преградами, выполнена классификация схем конфигурации застройки для проведения экспериментального исследования.

Одним из наиболее распространенных типов экспериментов в аэродинамических трубах является определение распределения давления и определение поля скоростей, которые определяют местное распределения сил и характер течения у поверхности тела и для выяснения картины обтекания тела ветровым потоком. В эксперименте измеряется разность между данным давлением в точке и статическим давлением набегающего потока [2, 12].

Эксперименты проводились при соблюдении следующих параметров микроклимата в аэродинамической части аэрационной трубы:

- температура воздуха  $t = 25,0–29,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- влажность воздуха  $\varphi = 36–31 \%$ ;
- плотность воздуха  $\rho = 1,108–1,114 \text{ кг/м}^3$ ;
- скорость воздуха  $v = 15,5 \text{ м/сек}$ .

Дренажные отверстия исследуемой модели были соединены трубками к 16-портовому сканеру давления Scanivalve® DSA 3 217. Оцифрованный сигнал передается в компьютер, анализ данных выполняется с помощью программного обеспечения Dewetron и фиксируется в текстовый файл с расширением txt.

Для обработки экспериментальных данных применены программные пакеты Maple, с помощью которых были построены диаграммы распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) (рис. 7, 8) с учетом угла атаки в соответствии с классификацией, определяющейся высотой преграды и расстояниями между зданиями. Графики построены по точкам, и по всей поверхности сторон исследуемой модели [12].

Так же методом Particle Image Velocimetry (PIV) получена картина обтекания ветровым потоком моделей застройки (рис. 9) [12].

В ходе экспериментов были обнаружены восходящие, нисходящие и закрученные вихри, зоны ускоренных скоростей ветра и зоны пониженной циркуляции воздуха (ветер тени). Определено что высоты зданий, и их размещение относительно друг друга оказывают существенное влияние на формирование потока. Вихрь циркуляционной зоны высокого давления имеет

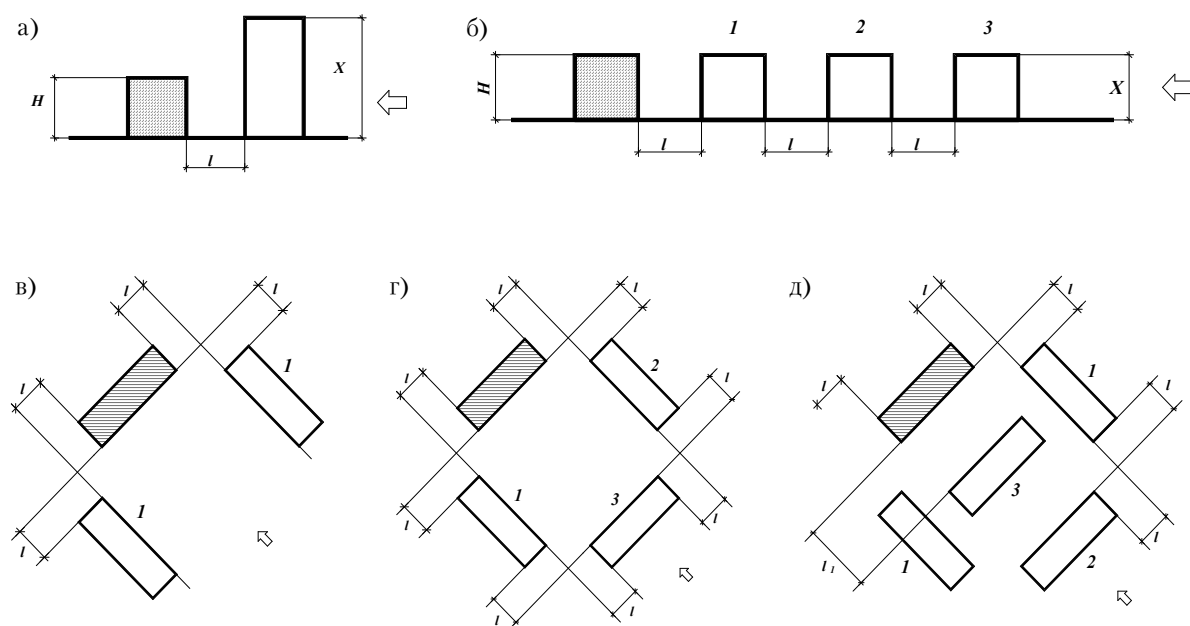
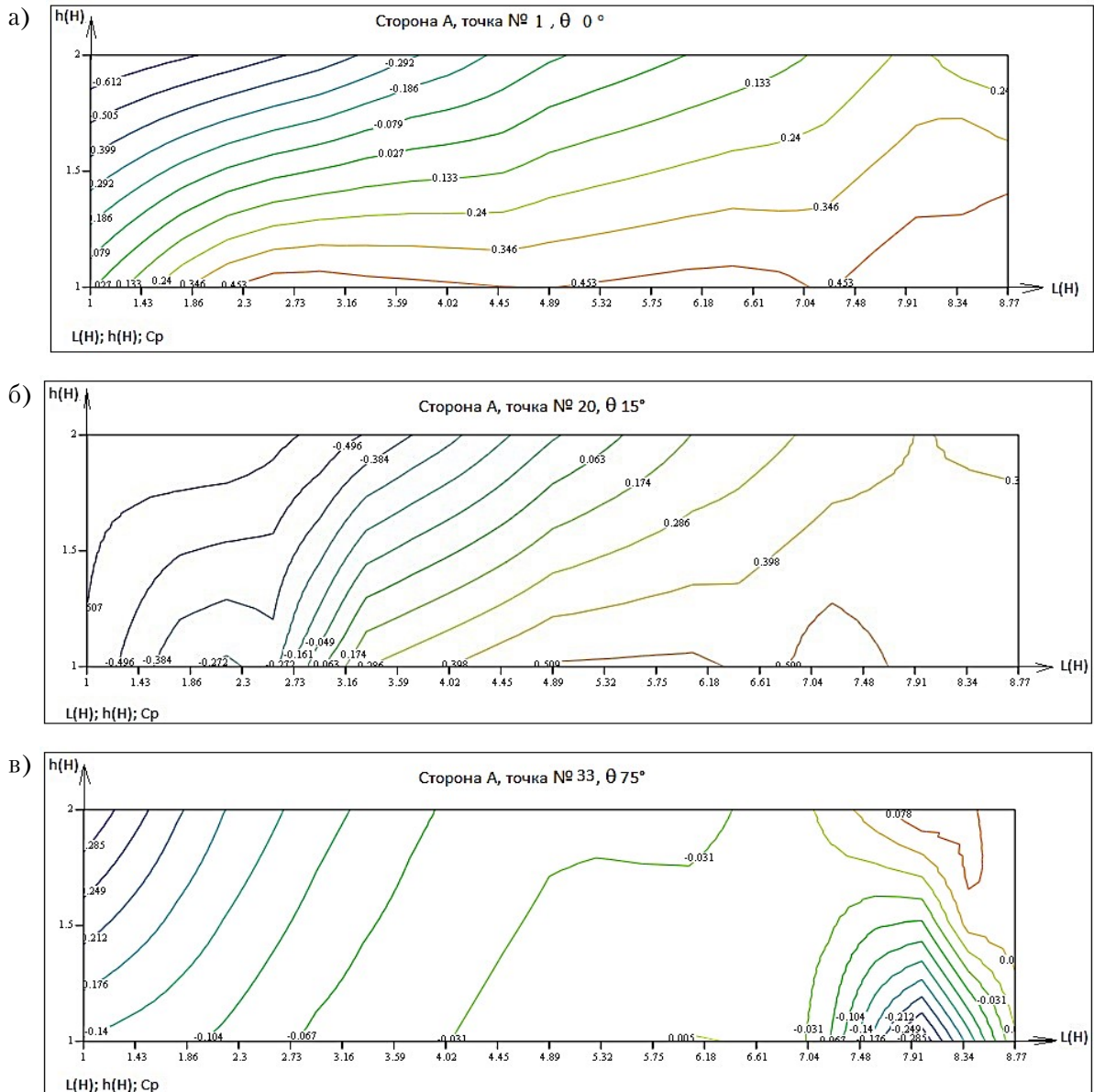


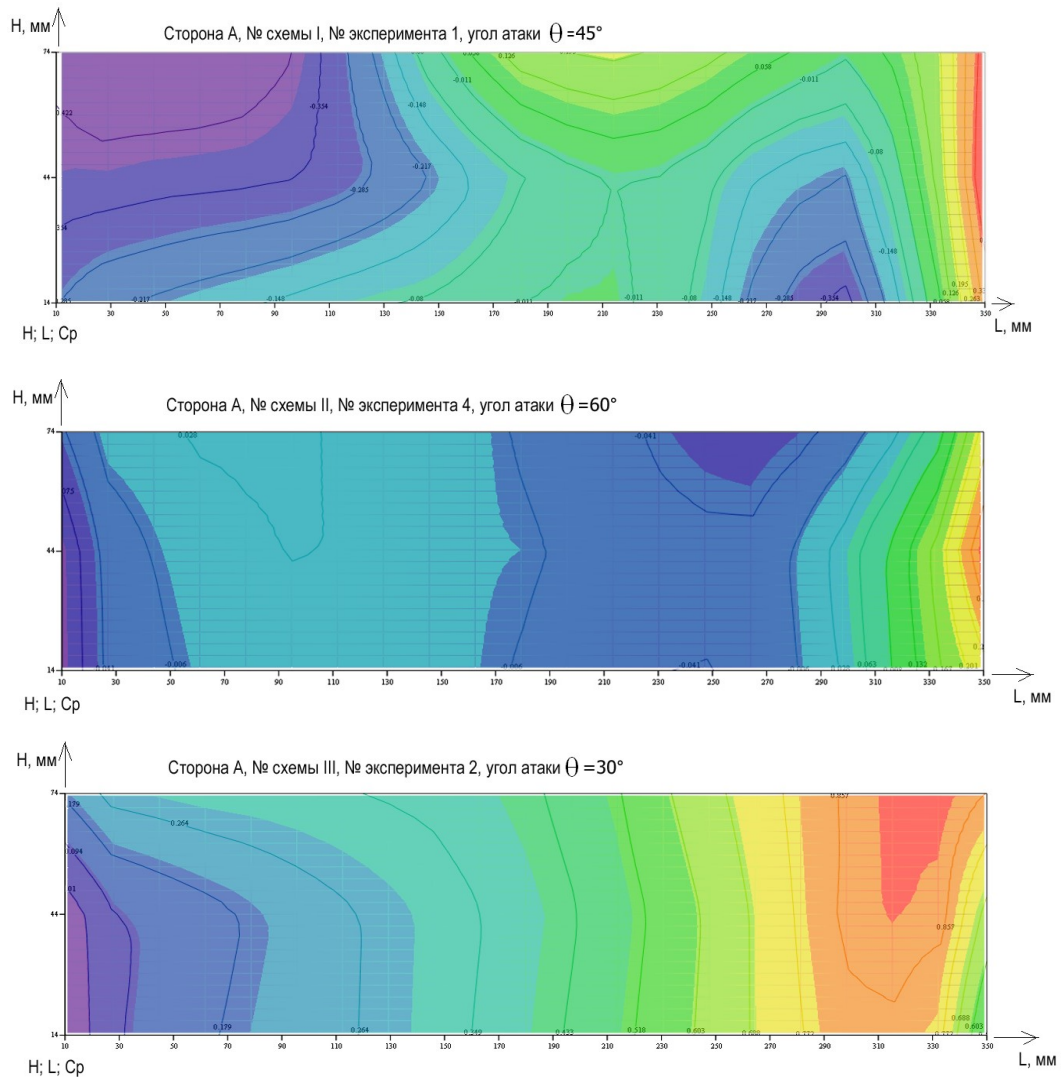
Рисунок 6. Расположение гражданских зданий на планах городов: а, б) строчное, в) П-образное, г, д) блочное.



**Рисунок 7.** Диаграммы распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) по точкам стороны А, и с учетом угла атаки  $\theta$ : а) в точке № 1, угол атаки 0°; б) в точке № 20, угол атаки 15°; в) в точке № 33, угол атаки 75°.

длину, равную одной высоте здания-преграды в наветренной стороне. Эта зона имеет длину равную  $2/3$  высоты многоэтажного здания, и имеется средняя разделительная линия потока вокруг здания. Зона низкого давления имеет длину, равную пяти высотам здания в подветренной части. Центр вихревой системы находится неподалеку от средней полости линии, где ветровой поток ускоряется и противоположная часть имеет поток рециркуляции [12].

В результате исследований влияния ветровой нагрузки на строительные конструкции в аэродинамической трубе был получен большой массив экспериментальных данных, включающий информацию о влиянии ветровой нагрузки на конструкции в зависимости от высоты конструкции, расстояния между конструкциями и угла атаки. Для анализа полученного массива данных воспользуемся двумерной аппроксимацией, на основе метода наименьших квадратов.



**Рисунок 8.** Диаграммы распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) по поверхности стороны А, с учетом схемы классификации застройки и угла атаки  $\theta$ : а) № схемы I, № эксперимента 1, угол атаки  $45^\circ$ ; б) № схемы II, № эксперимента 4, угол атаки  $60^\circ$ ; в) № схемы III, № эксперимента 2, угол атаки  $30^\circ$ .

Аппроксимационные методы в данном случае имеют преимущество над интерполяционными, поскольку позволяют ограничить, а в некоторых случаях, и полностью исключить влияние ошибочной информации, полученной в результате эксперимента [3,10,11].

Аппроксимирующая функция представляется в виде зависимости от 2-х переменных  $z = f(x, y)$ . При этом для каждого угла атаки  $\theta$  необходимо получить своё уравнение. В качестве инструмента аппроксимации используется метод наименьших квадратов, идея которого заключается в

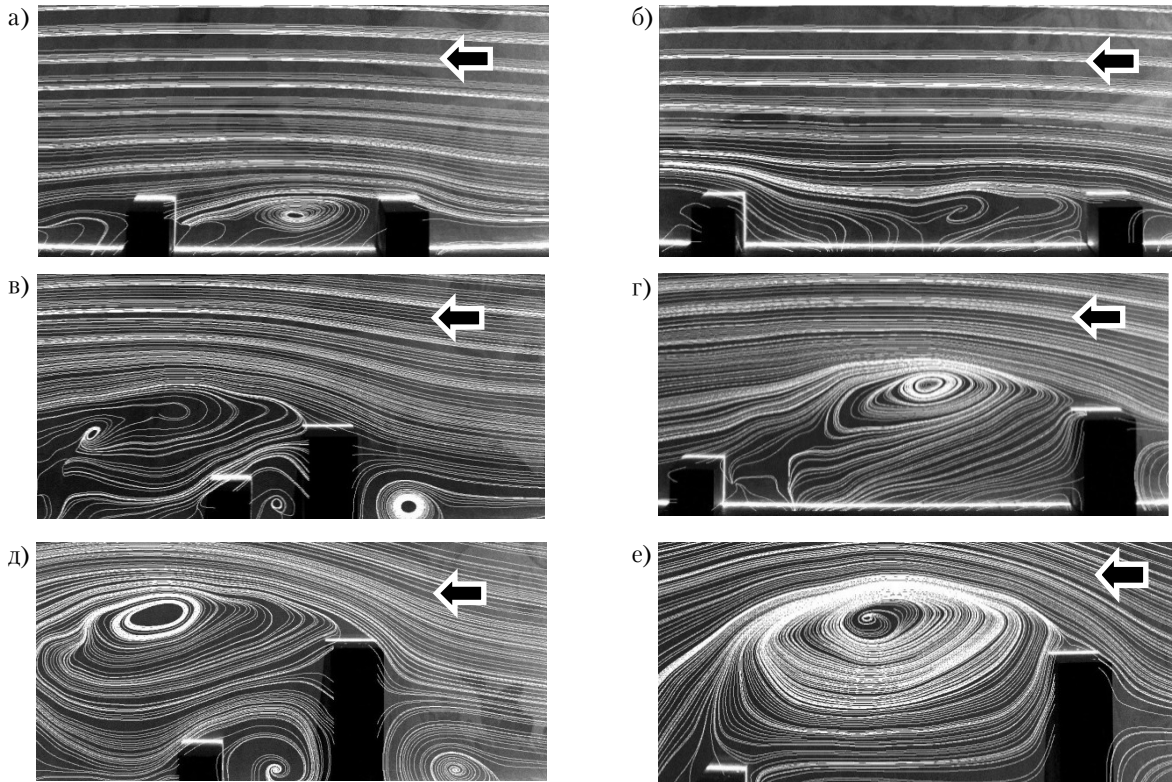
минимизации суммы квадратов отклонений расчётных значений от исходных, соответствующих экспериментально-статистической информации:

$$\sum_{i=1}^m (\hat{z}_i - z_i)^2 \rightarrow \min,$$

где  $\sum_{i=1}^m (\hat{z}_i - z_i)^2$  – сумма квадратов регрессионных остатков, которая включает фактические  $z_i$  и расчётные  $\hat{z}_i$  значения исследуемой переменной;

$m$  – количество экспериментов.

Для определения оценки точности математической модели, полученной с помощью многомерной



**Рисунок 9.** Пример визуализация потока в аэродинамической трубе методом PIV: а) высота исследуемой модели  $H$ , высота модели-преграды  $H$ , расстояние между ними  $3H$ ; б) высота исследуемой модели  $H$ , высота модели-преграды  $H$ , расстояние между ними  $5H$ ; в) высота исследуемой модели  $H$ , высота модели-преграды  $2H$ , расстояние между ними  $H$ ; г) высота исследуемой модели  $H$ , высота модели-преграды  $2H$ , расстояние между ними  $5H$ ; д) высота исследуемой модели  $H$ , высота модели-преграды  $3H$ , расстояние между ними  $2H$ ; е) высота исследуемой модели  $H$ , высота модели-преграды  $3H$ , расстояние между ними  $5H$ .

аппроксимации, используется коэффициент детерминации  $R^2$ , который представляет собой отношение суммы квадратов регрессионных остатков к общей дисперсии:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (\hat{z}_i - z_i)^2}{\sum_{i=1}^m (\bar{z} - z_i)^2}, \quad (2)$$

где  $\sum_{i=1}^m (\bar{z} - z_i)^2$  – общая дисперсия;  
 $\bar{z}$  – выборочное среднее.

Для автоматизации процесса аппроксимации воспользуемся одной из систем компьютерной алгебры. В результате получены следующие таблицы, содержащие уравнения аппроксимации в виде достаточно простых полиномиальных зависимостей и коэффициент детерминации для каждого угла атаки.

Таким образом, получены уравнения аппроксимации для узловых точек на поверхности стены в

зависимости от угла атаки. Чтобы определить значения в промежуточных точках на поверхности стены воспользуемся параболической двумерной интерполяцией, аналитическое описание которой выполнено в точечном исчислении.

В соответствии с геометрической теорией многомерной интерполяции составим геометрическую схему координации точек на поверхности стены. В левом нижнем углу примем условное начало координат (рис. 10). Для построения параболической поверхности отклика необходимо скоординировать точки в плане в соответствии с геометрическими размерами стены.

Параболическая поверхность отклика определяется последовательностью точечных уравнений:

$$\begin{cases} M_1 = A_{27}\bar{u}(1-2u) + 4A_{33}\bar{u}u + A_{39}u(2u-1) \\ M_2 = A_{44}\bar{u}(1-2u) + 4A_{20}\bar{u}u + A_{26}u(2u-1) \\ M_3 = A_4\bar{u}(1-2u) + 4A_7\bar{u}u + A_3u(2u-1) \\ M = M_1\bar{v}(1-2v) + 4M_2\bar{v}v + M_3v(2v-1) \end{cases}, \quad (3)$$



**Таблица.** Уравнения аппроксимации в некоторых точках исследуемой модели при различных углах атаки  $\theta^\circ$ .

Угол атаки	Уравнение аппроксимации	Коэффициент детерминации
<b>Точка 1</b>		
0	$z = 0,065xy - 0,898y + 1.$	0,94
15	$z = -0,198y + 0,093x - 0,353.$	0,96
30	$z = 0,002x^4y - 0,043x^3y + 0,299x^2y - 0,05x^2 +$ $+0,43y - 0,829xy + 0,497x - 0,75.$	0,94
45	$z = 0,004x^4y - 2,068 - 0,006x^4 - 0,087x^3y + 0,12x^3 +$ $+0,576x^2y - 0,86x^2 + 0,878y - 1,442xy + 2,447.$	0,94
60	$z = 0,002x^3y - 0,035x^2y + 0,004x^2 - 0,432y +$ $+0,207xy - 0,072x + 0,218.$	0,93
75	$z = -0,0008x^2y - 0,099y + 0,018xy - 0,008x - 0,038.$	0,98
90	$z = 0,0001x^4y - 0,002x^3y + 0,013x^2y -$ $-0,036y - 0,019xy - 0,101.$	0,93
<b>Точка 7</b>		
0	$z = -0,0008xy - 0,241y + 0,101x - 0,402.$	0,94
15	$z = -0,024x^2 - 0,612y + 0,037xy + 0,326x - 0,11.$	
30	$z = 0,003x^3y - 0,045x^2y - 0,024x^2 -$ $-1,071y + 0,288xy + 0,169x + 0,629.$	0,94
45	$z = -0,013x^2y - 0,862y + 0,209xy - 0,051x + 0,722.$	0,96
60	$z = -0,012x^2y - 0,583y + 0,157xy + 0,231.$	0,94
75	$z = -0,0077x^2y - 0,365y + 0,099xy + 0,051.$	0,95
90	$z = -0,012x^2y + 0,01x^2 - 0,434y +$ $+0,144xy - 0,117x + 0,31.$	0,95
<b>Точка 13</b>		
0	$z = -0,334y + 0,122x - 0,224.$	0,96
15	$z = 0,004x^3y - 0,107x^2y + 0,045x^2 - 1,752y +$ $+0,796xy - 0,578x + 2,405.$	0,97
30	$z = -0,107y + 0,008xy + 0,826.$	0,93
45	$z = -0,003x^2y - 0,246y + 0,054xy + 0,694.$	0,96
60	$z = -0,004x^2y - 0,224y + 0,056xy + 0,373.$	0,97
75	$z = 0,0006x^4y - 0,015x^3y + 0,003x^3 + 0,136x^2y -$ $-0,066x^2 + 0,668y - 0,534xy + 0,4x - 1,423.$	0,96
90	$z = 0,002x^3y - 0,029x^2y - 0,328y + 0,165xy - 0,673.$	0,95
Условные обозначения: $z$ – аэродинамический коэффициент $C_p$ ; $x$ – расстояние между исследуемой моделью и моделью-преградой $l(H)$ ; $y$ – высота модели-преграды $h(H)$ .		

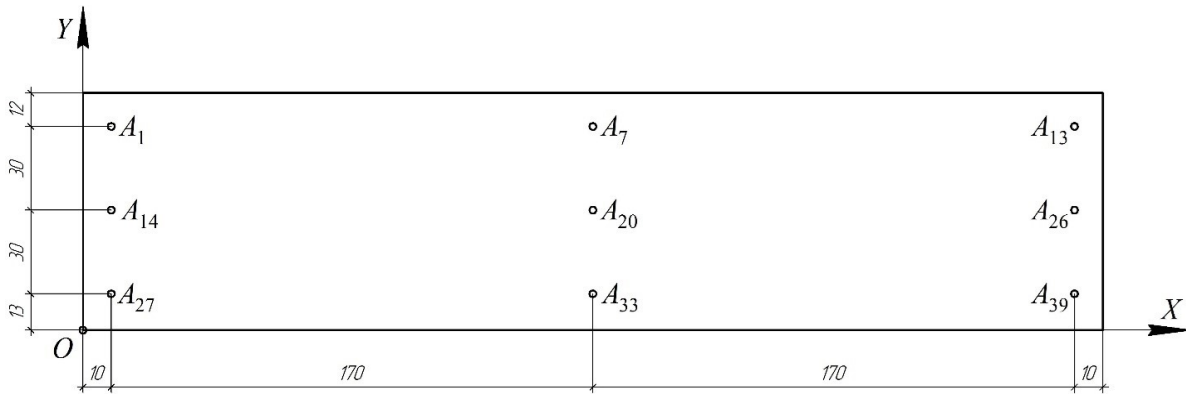


Рисунок 10. Геометрическая план-схема построения поверхности отклика.

где  $M$  – текущая точка отсека параболической поверхности отклика;

$M_1, M_2, M_3$  – текущие точки направляющих параболических линий;

$A_i$  – исходные точки, координаты которых соответствуют исходной экспериментально-статистической информации;

$u$  и  $v$  – текущие параметры отсека параболической поверхности;

$\bar{u} = 1 - u$  и  $\bar{v} = 1 - v$  – дополнение текущих параметров до 1.

Выполним по координатный расчёт последовательности точечных уравнений. Как видно из рис. 1, экспериментальные точки расположены на одинаковом расстоянии друг от друга по горизонтали и вертикали. Учитывая особые свойства параболических кривых, проходящих через наперёд заданные точки [9], получим следующую систему параметрических уравнений:

$$\begin{cases} X = 340u + 10 \\ Y = 60v + 13 \\ C_p = [z_{27}\bar{u}(1-2u) + 4z_{33}\bar{u}u + z_{39}u(2u-1)]\bar{v}(1-2v) + \\ + 4[z_{14}\bar{u}(1-2u) + 4z_{20}\bar{u}u + z_{26}u(2u-1)]\bar{v}v + \\ + [z_7\bar{u}(1-2u) + 4z_7\bar{u}u + z_{13}u(2u-1)]v(2v-1) \end{cases} \quad (4)$$

где  $C_p$  – функция отклика, характеризующая ветровые нагрузки на поверхности стены в зависимости от угла атаки;

$X$  – ширина стены, мм;

$Y$  – высота стены, мм;

$z_i$  – аппроксимирующие уравнения из таблицы, которые выбираются в зависимости от угла атаки.

Учитывая линейную зависимость между факторами и параметрами, перейдём от системы

параметрических уравнений к уравнению поверхности отклика и явном виде:

$$\begin{aligned} C_p = & \frac{(73-Y)(43-Y)}{104040000}(az_{27} + bz_{33} + cz_{39}) \\ & + \frac{(Y-13)(73-Y)}{52020000}(az_{14} + bz_{20} + cz_{26}) + \\ & + \frac{(Y-13)(Y-43)}{104040000}(az_1 + bz_7 + cz_{13}), \end{aligned} \quad (5)$$

где  $a = (350 - X)(180 - X)$ ;

$b = 2(X - 10)(350 - X)$ ;

$c = (X - 10)(X - 180)$ .

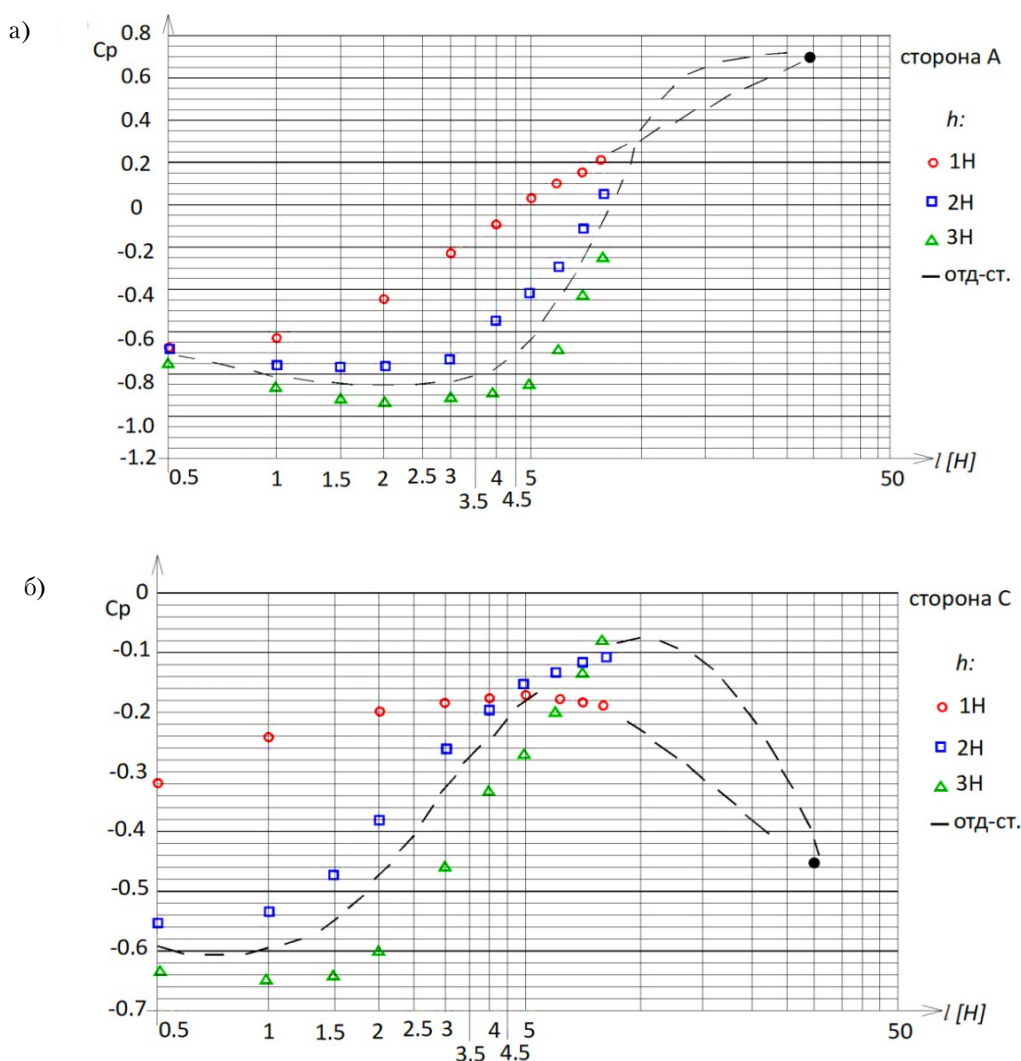
На основании разработанной математической модели получены зависимости распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) на поверхности зданий в застройках различной конфигурации (рис. 11).

## Выводы

1. Систематизировав отношения расстояний между исследуемой моделью и моделями-преградами, конфигурацией застройки составлена программа проведения масштабных экспериментов в аэродинамической трубе.
2. В результате проведения экспериментальных исследований измерены аэродинамические коэффициенты давления на поверхности масштабной модели зданий массового строительства, и построены профили распределения коэффициентов среднего давления на поверхностях исследуемой модели для различных значений расстояния  $l$  от высоты исследуемой модели.
3. Методом Particle Image Velocimetry (PIV) получена картина обтекания ветровым потоком моделей застройки.

4. Разработана математическая модель обтекания ветровым потоком призматических цилиндров, имитирующих застройку, на основе метода наименьших квадратов и точечного исчисления. Так же на основании разработанной математической модели определены и построены зависимости распределения коэффициентов давления ( $C_p$ ) на поверхности здания в застройках различной конфигурации.

5. Проведя анализ графиков распределения коэффициентов определено, что распределение коэффициентов давления ветра ( $C_p$ ) на наветренную и заветренную стороны здания  $C_n$  и  $C_n$ , расположенного в застройке, отличается от давления на наветренную  $C_n = +0,8$  и заветренную  $C_n = -0,6$  стороны отдельностоящего здания, заложенные в «СП 131.13330.2018. Свод правил. Строительная климатология СНиП 23-01-99\*» в качестве нормативных.



**Рисунок 11.** Пример распределения коэффициентов среднего давления на поверхностях исследуемой модели для различных значений расстояния  $l$  от высоты исследуемой модели: а) по поверхности А; б) по поверхности С.

## Литература

1. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : издание официальное : утверждено и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 3 декабря 2016 г. № 891/пр : введен взамен СНиП 2.01.07-85\* : дата введения 2017-06-04 / подготовлен Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 95 с. – Текст : непосредственный.
2. Butova, A. The effect of wind pressure changes on natural ventilation of thermally massive building in urban square blocks / A. Butova, S. Kuznetsov. – Текст : непосредственный // *The advanced science open access journal*. – 2013. – Issue 11. – P. 13–20. – ISSN 2219-746X.
3. Konopatskiy, E. V. Geometric modeling of multifactor processes and phenomena by the multidimensional parabolic interpolation method / E. V. Konopatskiy, A. A. Bezditnyi. – Текст : непосредственный // *Journal of Physics : Conference series*. – 2020. – Volume 1441. – P. 1–9. – DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012063.
4. Kuznetsov, S. Influence of Placement and Height of High-Rise Buildings on Wind Pressure Distribution and Natural Ventilation of Low- and Medium-Rise Buildings / S. Kuznetsov, A. Butova, S. Pospisil. – Текст : электронный // *International Journal of Ventilation*. – 2016. – Volume 15, № 3–4. – P. 253–266. – URL: <https://doi.org/10.1080/14733315.2016.1214396>. (дата обращения: 25.10.2023).
5. Lishman, B. The effect of gradual changes in wind speed or heat load on natural ventilation in a thermally massive building / B. Lishman, A. W. Woods. – Текст : непосредственный // *Building and Environment*. – 2009. – Volume 44. – P. 762–772.
6. Samoylenko, M. Aerodynamic external pressure coefficients for rectangular buildings / M. Samoylenko, A. Butova // *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2022. – Issue 4(102). – P. 1–10. – URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2022.103.1>. – DOI: 10.4123/CUBS.102.1.
7. Бутова, А. П. Влияние ветрового давления на здания массового строительства, расположенные в застройках различной конфигурации : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бутова Алла Павловна ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2021. – 257 с. – Текст : непосредственный.
8. Балуба, И. Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении : специальность 05.01.01 «Инженерная геометрия и компьютерная графика» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Балуба Иван Григорьевич ; Донбасская государственная академия

## References

1. SP 20.13330.2016. Loads and actions : official publication : approved and put into effect by Order of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation (Minstroy of Russia) dated December 3, 2016. № 891/pr : introduced to replace SNiP 2.01.07-85\* : date of introduction 2017-06-04 / prepared by the Department of Urban Planning and Architecture of the Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. – Moscow : Standardinform, 2018. – 95 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Butova, A.; Kuznetsov, S. The effect of wind pressure changes on natural ventilation of thermally massive building in urban square blocks. – Text : direct. – In: *The advanced science open access journal*. – 2013. – Issue 11. – P. 13–20. – ISSN 2219-746X.
3. Konopatskiy, E. V.; Bezditnyi, A. A. Geometric modeling of multifactor processes and phenomena by the multidimensional parabolic interpolation method. – Text : direct. – In: *Journal of Physics: Conference series*. – 2020. – Volume 1441. – P. 1–9. – DOI: 10.1088/1742-6596/1441/1/012063.
4. Kuznetsov, S.; Butova, A.; Pospisil, S. Influence of Placement and Height of High-Rise Buildings on Wind Pressure Distribution and Natural Ventilation of Low- and Medium-Rise Buildings. – Text : electronic. – In: *International Journal of Ventilation*. – 2016. – Volume 15, № 3–4. – P. 253–266. – URL: <https://doi.org/10.1080/14733315.2016.1214396>. (date of access: 25.10.2023).
5. Lishman, B.; Woods, A. W. The effect of gradual changes in wind speed or heat load on natural ventilation in a thermally massive building / B. Lishman, A. W. Woods. – Text : direct. – In: *Building and Environment*. – 2009. – Volume 44. – P. 762–772.
6. Samoylenko, M.; Butova, A. Aerodynamic external pressure coefficients for rectangular buildings. – Text : electronic. – In: *Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2022. – Issue 4(102). – P. 1–10. – URL: <https://unistroy.spbstu.ru/article/2022.103.1/>. – DOI: 10.4123/CUBS.102.1
7. Butova, A. P. The influence of wind pressure on mass construction buildings located in buildings of various configurations : specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures» : dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Butova Alla Pavlovna ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2021. – 257 p. – Text : direct. (in Russian)
8. Balyuba, I. G. Constructive geometry of manifolds in point calculus : specialty 05.01.01 «Engineering geometry and computer graphics» : dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Balyuba Ivan Grigorievich ; Donbass State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Kyiv, 1995. – 227 p. – Text : direct. (in Russian)
9. Balyuba, I. G.; Konopatsky, E. V. Point calculus. Historical background and fundamental definitions. – Text : direct. – In: *Physico-technical informatics : proceedings of the 8th International Conference*,

- строительства и архитектуры. – Киев, 1995. – 227 с. – Текст : непосредственный.
9. Балюба, И. Г. Точечное исчисление. Историческая справка и основополагающие определения / И. Г. Балюба, Е. В. Конопацкий. – Текст : непосредственный // Физико-техническая информатика : труды 8-й Международной конференции, 09–13 ноября 2020 г., Пущино, Московская обл. – Нижний Новгород : Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий «Научно-исследовательский центр физико-технической информатики», 2020. – С. 321–327. – DOI: 10.30987/conferencearticle\_5fd755c0adb1d9.27038265.
  10. Балюба, И. Г. Точечное исчисление : учебное пособие / И. Г. Балюба, В. М. Найдыш ; Мелитопольский государственный педагогический университет имени Богдана Хмельницкого. – Мелитополь : МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. – 236 с. – Текст : непосредственный.
  11. Балюба, И. Г. Точечное исчисление : учебно-методическое пособие : [по специальности 05.01.01 «Инженерная геометрия и компьютерная графика»] / И. Г. Балюба, Е. В. Конопацкий, А. И. Бумага ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка : ДОННАСА, ЭБС АСВ, 2020. – 245 с. – Текст : непосредственный.
  12. Бутова, А. П. Рациональные параметры зданий, повышающие энергосбережение существующей жилой застройки при ее уплотнении / А. П. Бутова, Э. А. Лозинский, В. А. Лозинская. – Текст : электронный // Металлические конструкции. – 2021. – Том 27, № 1. – С. 5–16. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2021-1/01\\_butova\\_lozinskiy\\_lozinskaya.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2021-1/01_butova_lozinskiy_lozinskaya.pdf) (дата обращения: 21.10.2023).
  13. Уплотнение существующей жилой застройки высотным зданием с учетом ветрового подпора на вентиляционные системы низких зданий / Е. В. Горохов, В. Н. Васылев, С. Г. Кузнецов [и др.]. – Текст : непосредственный // Металеві конструкції. – 2012. – Том 18, № 1. – С. 49–60.
  14. Горохов, Е. В. Экспериментальные методы определения ветровых нагрузок на здания и сооружения / Е. В. Горохов, С. Г. Кузнецов. – Донецк : Норд-Пресс, 2009. – 168 с. – Текст : непосредственный.
  15. Математическое моделирование аэродинамики городской застройки / В. А. Гутников, В. Ю. Кирякин, И. К. Лифанов, А. В. Сетуха. – Москва : Издательство «ПАСЬВА», 2002. – 243 с. – Текст : непосредственный.
  16. Кузнецов С. Г. Вітряний тиск під час розрахунку вентиляційних тепловтрат будівлі та його вплив на формування території забудови / С. Г. Кузнецов, А. П. Бутова. – Текст : непосредственный // Вісник Донецького державного університету економіки торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2006. – № 1(29). – С. 31–35.
  17. Кузнецов С. Г. Експериментальне дослідження обтікання вітром лінійної забудови / С. Г. Кузнецов, November 09–13, 2020, Pushchino, Moscow region. – Nizhny Novgorod : Autonomous nonprofit organization in the field of information technology «Research Center for Physical and Technical Informatics», 2020. – P. 321–327. – DOI: 10.30987.conferencearticle\_5fd755c0adb1d9.-27038265. (in Russian)
  10. Balyuba, I. G.; Naydysh, V. M. Point calculus : textbook ; Melitopol State Pedagogical University named after Bogdan Khmelnytsky. – Melitopol : Moscow State Pedagogical University named after. B. Khmelnytsky, 2015. – 236 p. – Text : direct. (in Russian)
  11. Balyuba, I. G.; Konopatsky, E. V; Paper, A. I. Point calculus : educational and methodological manual : [in the specialty 05.01.01 «Engineering geometry and computer graphics»] ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeyevka : DONNASE, EBS DIA, 2020. – 245 p. – Text : direct. (in Russian)
  12. Butova, A. P.; Lozinsky, E. A.; Lozinskaya, V. A. Rational parameters of buildings that increase the energy saving of existing residential buildings during its compaction. – Text : electronic. – In: *Metal structures*. – 2021. – Volume 27, № 1. – P. 5–16. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/mk/2021-1/01\\_butova\\_lozinskiy\\_lozinskaya.pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/mk/2021-1/01_butova_lozinskiy_lozinskaya.pdf) (date of access: 21.10.2023). (in Russian)
  13. Gorokhov, E. V.; Vasylev, V. N.; Kuznetsov, S. G. [et al.]. Tightening up the existing built-up area by a tall building with regard for wind brace on ventilation systems of low. – Text : direct. – In: *Metal structures*. – 2012. – Volume 18, № 1. – P. 49–60. (in Russian)
  14. Gorokhov, E. V.; Kuznetsov, S. G. Experimental methods for determining wind loads on buildings and structures. – Donetsk : Nord-Press, 2009. – 168 p. – Text : direct. (in Russian)
  15. Gutnikov, V. A.; Kiryakin, V. Yu.; Lifanov, I. K. [et al.]. Mathematical modeling of aerodynamics of urban. – Moscow : PASVA Publishing House, 2002. – 243 p. – Text : direct. (in Russian)
  16. Kuznetsov S. G.; Butova. A. P. The windy pressure under the hour of expansion of ventilation heat losses will result in its influx into the molding territory of the. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Donetsk State University of Trade Economics M. Tugan-Baranovsky*. – 2006. – № 1(29). – P. 31–35. (in Ukrainian)
  17. Kuznetsov S. G.; Butova, A. P. Experimental investigation of wind wrapping of linear forgetting. – Text : direct. – In: *Communal Gospodarstvo Mist : scientific and technical collection. Series : technical sciences and architecture*. – Kharkiv : publishing house KhNAMG. – 2012. – Issue 103. – P. 182–188. (in Ukrainian)
  18. Serebrovsky, F. L. Aeration of populated areas : monograph. – Moscow : Stroyizdat, 1985. – 169 p. – Text : direct. (in Russian)
  19. Simiu, E.; Scanlan, R. Impact of wind on buildings and structures. – Moscow : Stroyizdat, 1984. – 358 p. – Text : direct. (in Russian)

- А. П. Бутова. – Текст : непосредственный // Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник. Серія : технічні науки та архітектура. – Харків : видавництво ХНАМГ. – 2012. – Випуск 103. – С. 182–188.
18. Серебровский, Ф. Л. Аэрация населенных мест : монография / Ф. Л. Серебровский. – Москва : Стройиздат, 1985. – 169 с. – Текст : непосредственный.
19. Симиу, Э. Воздействие ветра на здания и сооружения / Э. Симиу, Р. Сканлан. – Москва : Стройиздат, 1984. – 358 с. – Текст : непосредственный.

**Бутова Алла Павловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительной физики ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования пограничного слоя атмосферы, натурных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

**Лозинский Эдуард Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительной физики, декан строительного факультета ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: развитие методик оценки ветровых воздействий на здания, сооружения и их комплексы, совершенствование методик моделирования пограничного слоя атмосферы, натурных и модельных испытаний зданий и сооружений на ветровое давление.

**Butova Alla** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department Building Design and Construction Physics, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of methods for assessing wind impact on buildings, structures and their complexes, improvement of methods for modeling the atmospheric boundary layer, full-scale and model tests of buildings and structures for wind load.

**Lozinskiy Eduard** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department Building Design and Construction Physics, Dean of the Faculty of Civil Engineering, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: development of methods for assessing wind impact on buildings, structures and their complexes, improvement of methods for modeling the atmospheric boundary layer, full-scale and model tests of buildings and structures for wind load.