



Research Article Received: August 03, 2022

Accepted: August 08, 2022

ISSN 2304-6295 Published: August 09, 2022

Aerodynamic external pressure coefficients for rectangular buildings

Samoylenko, Mikhail Evgenyevich^{1*} D Butova, Alla Pavlovna²

¹ Donetsk Promstroyniiproekt, Donetsk, Ukraine; m-samoylenko@mail.ru

² Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeyevka, Ukraine; allabutova@rambler.ru

Correspondence:* email m-samoylenko@mail.ru; contact phone +79381660496; +79494048081

Keywords:

Wind load; Aerodynamic coefficient; Wind flow; Wind tunnel; Building type; Building model; Urban construction of building; Urban areas

Abstract:

The object of the research is rectangular civil buildings located in dense urban areas of various configurations. The purpose of the work is to clarify the aerodynamic coefficients of external pressure on the surface of the facades of the building, depending on the type of urban areas and the direction of the wind flow. Method is an experimental research of wind flow around building models in a wind tunnel of recirculation type with imitation of the atmospheric boundary layer. The experiment provides for the study of various types of urban construction of building that are most often encountered in the design of microdistricts. Results. The distribution of wind pressure along the plane of the facades is very heterogeneous and depends on the type of urban construction of building, the direction of the wind flow, the height of the obstruction and the distance to them. It is impossible to offer a simple universal model for determining aerodynamic coefficients that takes into account all possible options for the interaction of a building with a wind flow. The simple schemes of aerodynamic coefficients proposed today in building codes are the only acceptable way to determine wind loads. Regulatory aerodynamic coefficients for the windward ($c_e=0.8$) and leeward ($c_e=-0.5$) facades of rectangular buildings ensure the collection of the wind load «in reserve» for almost any type of urban areas and obstruction heights. The experimental data for zones A, B and C of the main facades differ significantly from those indicated in Russian building regulations SP 20.13330.2016. The peak values of the aerodynamic coefficients $c_{p,r}$ for zone A are significantly less than those regulated by SP 20.13330.2016. These coefficients require clarification.

1 Introduction / Введение

Обеспечение требуемой надежности и долговечности зданий невозможно без достоверной информации о нагрузках, воспринимаемых несущими конструкциями. С конца 90-х годов XX века нормативная база стран СНГ претерпела существенные изменения в части регламентирования нагрузок на здания и сооружения 1, 2, 3. При этом прослеживается тенденция на формирование все бо́льших запасов прочности конструкций на этапе расчета и проектирования зданий и сооружений. Складывается ощущение, что эти запасы направлены на нивелирование ошибок при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий или (что еще хуже) являются результатом лоббирования интересов производителей стали или строительных материалов. Большие запасы прочности зданий допустимы в развитых государствах, где цена жизни высока. В государствах с относительно невысоким ВВП на душу населения (страны СНГ) нецелесообразно изымать финансовые ресурсы из экономики и «хоронить» их в недвижимости, вместо того, чтобы инвестировать в развитие экономики.

Одним из основных видов воздействий на здания и сооружения является ветер [4–7]. Величина ветровой нагрузки в значительной степени определяется значением аэродинамических коэффициентов внешнего давления [6, 8]. Указанные коэффициенты зависят не только от Samoylenko, М.; Butova, A.

Aerodynamic external pressure coefficients for rectangular buildings;

2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 102 Article No 10201. doi: 10.4123/CUBS.102.1



параметров здания [9–11], но и от характера окружающей застройки [12–14]. В современных нормах [1, 2, 15, 16] отсутствуют рекомендации по учету параметров окружающей застройки при аэродинамических коэффициентов. Работы по исследованию назначении характера взаимодействия здания с ветровым потоком в большинстве случаев не ставят целью уточнение аэродинамических коэффициентов внешнего давления, которые можно использованы для сбора нагрузок [17-23]. Ряд работ посвящены изучению характера взаимодействия конкретного здания определенной застройке [24-29]. Это определяет цель исследования: уточнить аэродинамические коэффициенты внешнего давления на поверхность фасадов гражданских зданий прямоугольной в плане формы (здания массового строительства) в зависимости от типа застройки; установить адекватность предложенных в нормах значений окружающей аэродинамических коэффициентов для зданий, расположенных в условиях плотной городской застройки.

2 Materials and Methods / Материалы и методы

С целью уточнения аэродинамических коэффициентов на гражданские здания массового строительства были проведены экспериментальные исследования обтекания ветровым потоком моделей зданий, расположенных в застройке различной конфигурации. Исследования проведены в Аэродинамической трубе рециркуляционного типа с имитацией пограничного слоя атмосферы, созданной в Центре повышения квалификации Института теоретической и прикладной механики Академии наук Чешской Республики. Результаты были верифицированы с экспериментами, выполненными в аэродинамической трубе МАТ-1 Донбасской национальной академии строительства и архитектуры [30].

Для моделирования атмосферного пограничного слоя и скоростных характеристик ветра использованы элементы шероховатости пола, три генератора вихревых спиралей и зубчатый барьер. Распределения скорости, распределения турбулентности и спектральная плотность ветрового потока в трубе соответствуют рекомендациям EN 1991-1-4:2005 16 для типа местности характерного для городской застройки. Профили средней скорости, интенсивности продольной турбулентности и спектральная плотность ветрового потока в аэродинамической трубе показаны на рис. 1.



a) the mean velocity profile; b) the turbulence intensity profile; c) longitudinal turbulence spectra Рис. 1 - Характеристики ветрового потока: а) профиль средней скорости; b) профиль турбулентности; c) спектральная плотность ветрового потока

Эксперимент предусматривал изучение нескольких различных видов конфигураций (схем) застройки, наиболее часто встречающихся при проектировании микрорайонов (рис. 2), и рассмотренных Н.Н. Сереберенниковым и Ф.Л. Серебровским в монографии [31]. Исследуемая модель здания представляет собой параллелепипед, выполненный из органического стекла, с размерами 360×60×75(*H*) мм, что эквивалентно пропорциям четырехсекционного пяти- или

Samoylenko, M.; Butova, A.



девятиэтажного жилого здания. На ее сторонах были выполнены отверстия с шагом 30×30 мм друг от друга для установки датчиков давления (рис. 3). Вокруг исследуемой модели были установлены модели-преграды выстой от H до 3H на расстоянии от H до 8,8H. Для всех исследуемых вариантов застройки модели обдувались потоком под углом от θ =0° до θ =90° с шагом 15°. Результаты эксперимента представлены ниже.



Fig. 2 - Investigated building schemes For configuration I, the height of the obstruction: H and 2H. For configuration II, the number of obstruction is 1–3. For configuration V, the height of the obstruction: H and 2H. Рис.2 - Исследуемые схемы застройки Для конфигурации I высота преграды: H и 2H. Для конфигурации II число преград 1–3. Для конфигурации V высота преграды: H и 2H.

3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

1. Общие принципы назначения аэродинамических коэффициентов

В соответствии с данными эксперимента для отдельностоящего здания и для всех рассмотренных конфигураций застройки распределение давлений (аэродинамических коэффициентов *c*_p) по плоскости фасадов неоднородно, зависит от типа застройки, высоты преград, направления ветрового потока. Анализ результатов эксперимента показал, что невозможно предложить простую и универсальную регрессионную модель для определения аэродинамических коэффициентов, позволяющую легко собирать ветровые нагрузки на здание и учитывающую все возможные варианты взаимодействия здания с ветровым потоком. Очевидно, что в реальной практике проектирования выполнять расчёты на десятки или сотни возможных вариантов направления ветра и распределения аэродинамических коэффициентов в зависимости от появления или удаления возможных преград в процессе жизненного цикла здания нецелесообразно [3, 4, 6].

При сборе нагрузок и расчете конструкций здания интерес представляет не среднее значение коэффициента *c*_p по поверхности фасада и не максимальное значение *c*_p в локальной зоне. Для расчета зданий целесообразно иметь следующую информацию.

1) Эквивалентное значение *c*_e, при котором расчетные усилия в элементах от ветровой нагрузки будут не менее усилий, полученных при расчете здания на все возможные варианты воздействия ветра. Такие коэффициенты и предлагают нормативные документы. В соответствии с табл. В.1.2 строительных норм Российской Федерации СП 20.13330.2016 2 для наветренной стороны *c*_e=0,8; подветренной стороны *c*_e=-0,5; по боковым фасадам для зон A, B, C соответственно: -1,0; -0,8; -0,5. Похожие значения для наветренного и подветренного фасадов предлагает EN 1991-1-4:2005 и строительные нормы Украины ДБН В.1.2-2:2006 1, повторяющий в части нормирования аэродинамических коэффициентов строительные нормы СССР СНиП 2.01.07-85* [32]. Такой подход позволяет предельно просто собрать ветровые нагрузки на здание независимо от его пропорций и конфигурации застройки.

2) Пиковые значения коэффициентов c_p для расчета фасадной системы и других навешиваемых на здание конструкций. В соответствии с п. В.1.17 СП 20.13330.2016 для фасадов здания положительное значение коэффициента $c_{p,+}=1,2$. Отрицательные пиковые значения аэродинамического коэффициента $c_{p,-}$ в центральной зоне равны $c_{p,-}=-1,2$, в угловых зонах –

Samoylenko, M.; Butova, A.

2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 102 Article No 10201. doi: 10.4123/CUBS.102.1



*с*_{*p*,-}=-2,2.

3) Усредненное значение аэродинамического коэффициента *c*_e, которое можно принять при расчете одной блок-секции жилого здания. Обычно длина секции находится в пределах 15–18м, а здание состоит не менее, чем из четырех секций. В эксперименте одной блок-секции здания соответствует приблизительно три полосы датчиков давления.

4) Для зданий, конструктивно состоящих из плоских рам не связанным общим диском жёсткости, важна информация о максимальном значении *c*_e в пределах одной рамы. Обычно шаг рам – 6,0м, реже – 12,0м.

2. Отдельностоящее здание

Для отдельностоящего здания аэродинамические коэффициенты наветренной стороны отличаются от нормируемых документами 1, 2, 15, 16. В соответствии с результатами эксперимента распределение давлений по плоскости фасада неоднородно (рис. 4). При угле атаки близкой к нулю на краях фасада расположены зоны с минимальными значениями аэродинамических коэффициентов (c_{pmin} близки к 0). Максимальное зарегистрированное значение c_{pmax} =0,63. Среднее значение аэродинамического коэффициента для всей наветренной плоскости фасада c_p =0,51. Указанные величины не имеют практического значения для расчета несущих конструкций здания в целом.



a)			27	28	29	30 •	31 •	32	33 •	34	35	36	37	38	39 •			
			14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26			
			1.	2.	3	4.	5	<u>و</u>	9,	8	9	10 •	11 •	12	13			
9 °	6•	3*	27	28	29	• 30	• 31	32	33	• 34	35	36	37	38	39	•3	•6	•9
8.	5 [•] (E) ²	i4	<i>is</i>	16	i 7	18	io	20	21	22	23	24	25	26	·2	•5	•8
7*	4.	<u>ı</u> .	i	ż	3	4	5	<u>;</u> (₽;_	8	ģ	10	i	12	13	\cdot_1	•4	•7
			;	• 2	• 3	• 4	• 5	• •	• •	• 8	• 9	• 10	• 11	12	• 13			
			• 14	15	• 16	17	• 18	19	20	• 21	• 22	• 23	• 24	25	• 26			
			27	• 28	29	• 30	•	32		•	35	•	• 37	38	• 39			



Рис. 3 - Исследуемая модель и схема дренирования

0	0,5	0,563	0,571	0,572	0,582	0,609	0,618	0,624	0,636	0,616	0,635	0,614	0,5
	0,3	0,412	0,468	0,482	0,493	0,510	0,518	0,526	0,528	0,523	0,515	0,456	0,3
	0,1	0,311	0,423	0,454	0,469	0,470	0,481	0,488	0,497	0,496	0,467	0,351	0,1
15	0,3	0,414	0,444	0,463	0,487	0,527	0,557	0,586	0,634	0,650	0,694	0,716	0,6
	0,1	0,266	0,336	0,369	0,396	0,420	0,456	0,506	0,556	0,606	0,654	0,649	0,5
	-0	0,180	0,295	0,343	0,375	0,404	0,443	0,481	0,527	0,569	0,594	0,513	0,2
30	0,2	0,276	0,327	0,356	0,381	0,423	0,452	0,483	0,533	0,551	0,612	0,688	0,8
	0	0,131	0,222	0,278	0,328	0,377	0,433	0,491	0,549	0,609	0,678	0,736	0,7
	-0,1	0,074	0,192	0,256	0,308	0,354	0,404	0,454	0,511	0,568	0,627	0,620	0,4
45	0	0,133	0,189	0,218	0,242	0,275	0,295	0,313	0,351	0,354	0,411	0,506	0,7
	-0,1	0,066	0,161	0,220	0,261	0,301	0,341	0,384	0,428	0,477	0,555	0,654	0,8
	-0,1	0,010	0,119	0,180	0,230	0,272	0,312	0,350	0,396	0,446	0,519	0,577	0,6
60	-0,1	0,012	0,060	0,079	0,086	0,103	0,103	0,106	0,125	0,120	0,165	0,237	0,4
	-0,1	-0,003	0,071	0,111	0,134	0,155	0,174	0,195	0,216	0,239	0,298	0,377	0,5
	-0,1	-0,040	0,040	0,083	0,115	0,139	0,158	0,178	0,203	0,235	0,290	0,360	0,4
										-			
75	-0,1	-0.071	-0.044	-0.031	-0.024	-0.010	-0.012	-0.013	-0,007	-0.014	0,016	-0.031	-0,7
	-0,1	-0.073	-0.033	-0.012	-0.002	0.008	0.016	0.025	0.029	0.028	0.073	-0.079	-0.6
	-0.1	-0.090	-0.046	-0.026	-0.010	0.004	0.011	0.020	0.026	0.034	0.061	0.025	-0.5
													14
90	-0,1	-0.090	-0.068	-0.057	-0.046	-0.027	-0.027	-0.019	-0.038	-0.176	-0.530	-0.758	-0.7
	-0.1	-0.090	-0.066	-0.049	-0.048	-0.033	-0.033	-0.028	-0.069	-0 223	-0.530	-0.718	-0.6
	-0.1	-0.090	-0.065	-0.056	-0.039	-0.032	-0.028	-0.028	-0.052	-0 168	-0.451	-0.663	-0.7
	-0,1	-0,000	-0,000	-0,000	-0,000	-0,002	-0,020	-0,020	-0,002	-0,100	0,401	-0,000	-0,1
. 4	£ -	Ae	roc	lvn	am	ic d	coe	ffic	cier	nts	of	the	



При изменении угла атаки аэродинамический фокус смещается вправо (вслед за изменением направления потока). Максимальное значение коэффициентов c_p регистрируется при угле атаки θ =30°. В этом случае максимальное полученное значение c_{pmax} =0,76; эквивалентное (усредненное) значение аэродинамического коэффициента для одной блок-секции здания, расположенной в зоне с максимальными значениями c_{ecekl} =0,65; эквивалентное (усредненное) значение для одной рамы здания в зоне с максимальными значениями изначениями c_{epakl} =0,68. То есть для отдельностоящего здания аэродинамические коэффициенты несколько меньше регламентируемых нормами для наветренной стороны (c_e =0,8).

На подветренном фасаде максимальное значение *с*_{ртах}=0,59. Эквивалентное (усредненное) значение коэффициента для одной блок-секции здания, расположенной в зоне с максимальными

Samoylenko, M.; Butova, A.



значениями, *с*_{есекц}=0,46. Полученное значение аэродинамического коэффициента не превышают нормативные значения СП 20.13330.2016 для подветренной стороны (*c*_e=0,5).

При действии ветра вдоль главных фасадов здания (при угле атаки θ =90°) на поверхностях главных фасадов максимальные отрицательные значения c_e составляют около -0,71. Ширина этих зон близка к 0,6*H*. То есть ширина зон несколько больше регламентируемых СП 20.13330.2016 для зоны А (*e*/5=min[*b*; 2*H*]/5=0,4*H*), а аэродинамический коэффициент существенно меньше (по абсолютному значению) – в среднем не ниже c_{eA} =-0,7. Расстояние от угла здания до края зоны В составляет не более 1,2*H*, что менее нормативного значения *e*=min[*b*; 2*H*]=2*H*. При этом значения c_{eB} около -0,35, что меньше нормативного более чем в два раза. В зоне С аэродинамические коэффициенты c_{eC} колеблются в пределах от 0,0 до -0,15, что кратно меньше значений, регламентируемых СП 20.13330.2016.

Для отдельностоящего здания четко прослеживается увеличение значения аэродинамических коэффициентов с высотой здания. Вверху здания *c*_p в среднем на 25% выше, чем внизу. Однако эта зависимость не прослеживается для зданий, находящихся в зоне влияния других сооружений (независимо от конфигурации застройки). Напротив, в зоне плотной застройки аэродинамические коэффициенты на фасаде наветренной стороны часто уменьшаются с высотой.

3. Здание в плотной застройке

Для зданий, находящихся в зоне плотной застройки, распределение аэродинамических коэффициентов *c*_p по плоскости фасада наветренной стороны крайне неоднородно. Картина изменения *c*_e для разных типов застройки следующая.

Для застройки в которой преграда расположена непосредственно перед исследуемым зданием (схемы I, II, IV, V), при расположении преграды близко к зданию (расстояние до преграды 1*H*÷4*H*) на наветренной поверхности фасада формируется область отрицательного давления. Чем ближе преграда к зданию и чем она выше, тем больше (по абсолютной величине) величина аэродинамических коэффициентов. По мере удаления преграды от здания отрицательное давление сменяется на положительное. Влияние преграды на исследуемое здание ощущается при расстоянии до 8*H*÷10*H* (рис. 5).

Зоны с экстремальными отрицательными значениями *c*_{*p*} формируются в центральной части здания при углах атаки θ=15°–45°. На углах здания зоны с минимальными *c*_{*p*} возникают при больших углах атаки (близких к 90°).

Зоны с максимальными положительными значениями *c*_p в зависимости от угла атаки могут образовываться как на угловых секциях здания, так и на центральных. На наветренной плоскости фасада указанные зоны обычно формируются при угле атаки θ=15°-30°. Максимальные значения аэродинамических коэффициентов наблюдается при расстоянии до преграды 3*H*-7*H*.

В эксперименте получены следующие экстремальные значения аэродинамических коэффициентов для наветренной стороны: *с*_{*p*,max+}=0,98 (угловая зона, схема V, расстояние до преграды 2*H*, высота преграды 2*H*, θ=45°), *с*_{*p*,min-}=-1,25 (центральная зона, схема V, расстояние до преграды 4*H*, высота преграды 2*H*, θ=45°). Указанные величины не имеют практического значения для расчета несущих конструкций здания в целом.

Усредненные значения аэродинамических коэффициентов для наветренной стороны блоксекции здания в случае ее попадания в зону с максимальными значениями *c*_p как правило не превышают регламентируемое СП 20.13330.2016 значение (*c*_e=0,8). При этом максимальные значения аэродинамических коэффициентов зарегистрированы при угле атаки θ=15–30°. Лишь для отдельных схем застройки усредненные для одной секции значения *c*_e превышают 0,8 (рис. 6):

- схема II, расстояние до преграды – 2,8*H*, преград – две, θ =15°, третья секция – c_e =0,85;

- схема III, расстояние до преграды 1*H*, θ =30°, угловая секция c_e =0,83;
- схема IV, расстояние до преграды 1*H*, θ =30°, угловая секция c_e =0,82;
- схема V, расстояние до преграды 3*H*, высота преграды 1*H*, θ=30°, угловая секция *c*_e=0,87.

Следует отметить, что для плотной застройки максимальные коэффициенты *c*_e получены при θ=15–30°. Учитывая это для зданий с повышенным уровнем ответственности целесообразно выполнять вариант расчёта конструкций для направления ветра под углом 15–30°.



0 -0.283 -0.466 -0.538 -0.554 -0.555 -0.542 -0.525 -0.518 -0.520 -0.495 -0.443 -0.3	0 0.5 0.352 0.155 -0.011 -0.141 -0.237 -0.302 -0.323 -0.331 -0.331 -0.314 -0.274 -0.2	0 0.5 0.446 0.329 0.224 0.138 0.089 0.057 0.039 0.046 0.059 0.130 0.219 0.3
-0.2 -0.413 -0.473 -0.530 -0.556 -0.571 -0.578 -0.557 -0.540 -0.542 -0.531 -0.495 -0.5 -0.3 -0.301 -0.317 -0.401 -0.480 -0.564 -0.585 -0.557 -0.522 -0.523 -0.508 -0.491 -0.5	0.3 0.221 0.061 -0.067 -0.154 -0.221 -0.271 -0.298 -0.317 -0.343 -0.346 -0.342 -0.3 0.2 0.255 0.158 0.051 -0.012 0.014 -0.051 -0.109 -0.157 -0.199 -0.237 -0.279 -0.3	0.3 0.364 0.298 0.222 0.169 0.103 0.100 0.102 0.143 0.182 0.2 0.2 0.343 0.332 0.286 0.225 0.193 0.177 0.166 0.170 0.197 0.199 0.1
15 -0,4 -0,392 -0,444 -0,509 -0,557 -0,593 -0,618 -0,614 -0,534 -0,294 0,188 0,639 0.9	15 -0.4 -0.335 -0.270 -0.198 -0.060 0.121 0.325 0.502 0.669 0.765 0.806 0.823 0.8	15 0 0.173 0.273 0.363 0.457 0.557 0.643 0.684 0.708 0.701 0.711 0.727 0.7
-0,4 -0,452 -0,475 -0,519 -0,554 -0,574 -0,593 -0,541 -0,447 -0,397 -0,197 0,200 08 -0,4 -0,413 -0,441 -0,471 -0,500 -0,519 -0,463 -0,326 -0,219 -0,193 -0,182 0,044 0,4	-0,4 -0,333 -0,259 -0,183 -0,088 0,054 0,231 0,421 0,599 0,701 0,718 0,859 0,5 -0,3 -0,216 -0,149 -0,082 -0,012 0,154 0,325 0,515 0,673 0,742 0,723 0,587 0,3	-0,1 0,081 0,205 0,299 0,374 0,441 0,493 0,536 0,567 0,582 0,593 0,576 0,5 -0,1 0,116 0,253 0,345 0,416 0,472 0,520 0,549 0,568 0,582 0,578 0,499 0,3
30 -0,4 -0,452 -0,507 -0,560 -0,597 -0,615 -0,545 -0,365 0,037 0,356 0,387 0,459 0,7	30 0.1 0.270 0.381 0.435 0.469 0.484 0.490 0.493 0.507 0.505 0.549 0.629 0.8	30 0.2 0.261 0.301 0.324 0.349 0.383 0.424 0.459 0.510 0.535 0.597 0.579 0.8
-0,4 -0,447 -0,443 -0,427 -0.360 -0,283 -0.206 -0,126 -0,033 -0.004 -0,121 -0,026 0,4	-0 0,110 0,221 0,244 0,413 0,482 0,480 0,491 0,502 0,521 0,561 0,583 0,5	-0,1,0,000 0,199 0,200 0,300 0,305 0,402 0,401 0,320 0,375 0,500 0,30 0,30 0,30 0,30 0,30 0,30 0,
15 -0.4 -0.476 -0.461 -0.461 -0.270 -0.008 0.168 0.216 0.174 0.081 -0.002 0.138 0.4	45 0.1 0.149 0.193 0.209 0.219 0.232 0.242 0.250 0.269 0.266 0.316 0.416 0.8	45 0 0.128 0.182 0.208 0.225 0.247 0.272 0.289 0.322 0.324 0.377 0.475 0.8
-0.3 -0.243 -0.185 -0.143 -0.092 -0.067 -0.011 0.013 -0.050 -0.270 -0.386 -0.010 0.4	-0.1 0.056 0.142 0.184 0.214 0.241 0.261 0.260 0.307 0.345 0.414 0.495 0.5	-0,1 0,019 0,119 0,176 0,220 0,258 0,297 0,333 0,376 0,425 0,495 0,563 0,6
0 -0,1 -0,057 -0,008 0,008 0,021 0,014 0,008 -0,028 -0,092 -0,181 -0,189 -0,073 0,2	60 -0.1 0.009 0.044 0.055 0.054 0.052 0.049 0.045 0.053 0.046 0.087 0.160 0.3	60 -0.1 0.009 0.054 0.071 0.077 0.083 0.091 0.092 0.112 0.108 0.151 0.221 0.3
-0.2 -0.202 -0.139 -0.109 -0.089 -0.073 -0.076 -0.098 -0.159 -0.241 -0.202 0.004 0.2 -0.2 -0.162 -0.131 -0.117 -0.104 -0.105 -0.118 -0.149 -0.208 -0.269 -0.215 -0.002 0.2	-0,1-0,009 0,044 0,088 0,077 0,088 0,089 0,088 0,088 0,108 0,125 0,188 0,278 0,4 -0,1-0,029 0,028 0,052 0,067 0,078 0,084 0,091 0,104 0,127 0,183 0,281 0,3	-0,1 -0,040 0,034 0,072 0,117 0,138 0,151 0,174 0,195 0,214 0,276 0,356 0,5 -0,1 -0,040 0,034 0,072 0,101 0,120 0,142 0,161 0,185 0,214 0,266 0,338 0,4
5 -0.1 -0.113 -0.096 -0.095 -0.095 -0.110 -0.119 -0.151 -0.189 -0.243 -0.234 -0.154 -0.8	75 -0.1 -0.085 -0.086 -0.083 -0.082 -0.084 -0.088 -0.071 -0.089 -0.075 -0.044 -0.054 -0.8	75 -0.1 -0.074 -0.048 -0.038 -0.032 -0.029 -0.022 -0.023 -0.018 -0.024 0.005 -0.034 -0.7
-0,2 -0,159 -0,124 -0,123 -0,121 -0,119 -0,128 -0,145 -0,183 -0,237 -0,207 -0,111 <mark>-0,7</mark> -0,2 -0,160 -0,141 -0,134 -0,126 -0,127 -0,136 -0,157 -0,195 -0,240 -0,230 -0,145 -0,5	-0.1 -0.093 -0.084 -0.055 -0.053 -0.048 -0.050 -0.048 -0.043 -0.043 -0.043 -0.012 -0.112 -0.8 -0.1 -0.104 -0.075 -0.087 -0.081 -0.058 -0.058 -0.058 -0.053 -0.043 -0.008 -0.042 -0.5	-0,1 -0,079 -0,045 -0,022 -0,014 -0,002 -0,001 0,010 0,015 0,014 0,080 -0,090 -0,8 -0,1 -0,092 -0,053 -0,035 -0,021 -0,010 -0,001 0,007 0,012 0,021 0,044 -0,003 -0,5
D -0,1 -0,133 -0,119 -0,113 -0,107 -0,114 -0,108 -0,116 -0,125 -0,165 <mark>-0,381 -0,880 -0</mark> .9	90 -0.1 -0.105 -0.086 -0.079 -0.069 -0.062 -0.054 -0.044 -0.051 -0.141 -0.491 -0.789 -0.7	90 -0,1 -0,092 -0,070 -0,060 -0,051 -0,042 -0,031 -0,026 -0,035 -0,162 -0,507 -0,761 -0,7
-0.2 -0.154 -0.127 -0.131 -0.131 -0.130 -0.131 -0.135 -0.144 -0.186 -0.379 -0.886 -0.9 -0.2 -0.149 -0.138 -0.137 -0.135 -0.139 -0.145 -0.156 -0.171 -0.200 -0.293 -0.680	-0,1 -0,110 -0,091 -0,082 -0,076 -0,067 -0,062 -0,055 -0,071 -0,191 -0,495 -0,755 -0,7 -0,1 -0,106 -0,090 -0,084 -0,075 -0,071 -0,066 -0,065 -0,077 -0,157 -0,422 -0,894 -0,8	-0,1 -0,095 -0,078 -0,061 -0,055 -0,043 -0,043 -0,036 -0,067 -0,214 -0,515 -0,722 -0,6 -0,1 -0,091 -0,071 -0,062 -0,051 -0,043 -0,035 -0,034 -0,058 -0,165 -0,462 -0,678 -0,7
0.4 0.203 0.043 -0.107 -0.177 -0.208 -0.228 -0.243 -0.264 -0.245 -0.163 -0.016 0.1	0 0.5 0.487 0.396 0.309 0.225 0.145 0.095 0.052 0.026 0.004 0.004 0.040 0.1	0 0.5 0.488 0.349 0.244 0.158 0.109 0.077 0.059 0.086 0.079 0.150 0.239 0.3
0.3 0.050 0.081 -0.169 -0.220 -0.248 -0.248 -0.227 -0.225 -0.242 -0.213 -0.103 0 0.2 0.028 -0.038 -0.041 -0.117 -0.168 -0.147 -0.102 -0.120 -0.155 -0.142 -0.052 0.1	0.4 0.418 0.330 0.247 0.180 0.128 0.085 0.052 0.022 -0.007 -0.023 -0.036 -0.1 0.3 0.395 0.363 0.285 0.237 0.211 0.162 0.118 0.085 0.050 0.018 -0.034 -0.1	0.4 0.384 0.318 0.242 0.189 0.158 0.123 0.120 0.122 0.163 0.202 0.2 0.2 0.363 0.362 0.288 0.245 0.213 0.169 0.186 0.190 0.217 0.219 0.1
-0.3 -0.322 -0.355 -0.397 -0.409 -0.401 -0.323 -0.167 0.078 0.507 0.859 0.885 0.8	15 0.1 0.208 0.348 0.460 0.564 0.662 0.765 0.838 0.882 0.829 0.749 0.830 0.5	15 0.1 0.193 0.293 0.383 0.477 0.577 0.663 0.704 0.728 0.721 0.731 0.747 0.7
-0,4 -0,401 -0,431 -0,450 -0,476 -0,492 -0,470 -0,368 -0,220 -0,026 0,166 0,332 0,7 -0,3 -0,348 -0,366 -0,354 -0,347 -0,273 -0,146 0,046 0,197 0,260 0,240 0,191 0,4	-0,1 0,111 0,276 0,411 0,536 0,667 0,799 0,889 0,899 0,793 0,610 0,332 0 -0 0,125 0,260 0,407 0,533 0,665 0,792 0,880 0,893 0,811 0,662 0,394 0,1	-0.1 0,101 0,225 0,319 0,394 0,481 0,513 0,556 0,587 0,602 0,613 0,596 0,5 -0 0,136 0,273 0,365 0,436 0,492 0,540 0,569 0,588 0,602 0,598 0,519 0,3
0.1 0.700 0.701 0.712 0.705 0.105 0.010 0.770 0.770 0.471 0.710 0.403 0.7	30 03 0355 0457 0455 0550 0453 0451 0457 0455 0455 0455	30 03 0341 0321 0344 0360 0473 0444 0470 0550 0466 0617 0600 03
-0.3 -0.387 -0.429 -0.447 -0.439 -0.361 0.254 -0.146 0.012 0.041 -0.014 0.156 0.5 -0.3 -0.284 -0.281 -0.217 -0.134 0.039 0.128 0.185 0.185 0.130 -0.078 -0.038 0.3	0.1 0.248 0.373 0.438 0.469 0.485 0.462 0.494 0.504 0.523 0.580 0.666 0.7 0.1 0.237 0.361 0.426 0.463 0.476 0.489 0.495 0.501 0.520 0.565 0.596 0.5	-0 0,130 0,219 0,280 0,326 0,375 0,422 0,481 0,540 0,598 0,876 0,750 0,8 -0 0,110 0,213 0,273 0,326 0,365 0,414 0,462 0,517 0,576 0,838 0,851 0,5
-0.2 -0.195 -0.136 -0.060 0.059 0.130 0.163 0.164 0.088 -0.022 -0.098 0.096 0.4	45 0.1 0.163 0.204 0.221 0.227 0.234 0.242 0.244 0.259 0.252 0.303 0.404 0.6	45 0 0.148 0.202 0.228 0.245 0.267 0.282 0.309 0.342 0.344 0.397 0.495 0.7
-0.4 -0.361 -0.308 -0.235 -0.181 -0.121 -0.051 -0.030 -0.093 -0.222 -0.223 0.094 0.5 -0.2 -0.073 -0.033 -0.004 -0.003 0.025 0.026 -0.014 -0.129 -0.293 -0.279 0.036 0.3	-0 0,110 0,183 0,220 0,236 0,254 0,265 0,281 0,302 0,332 0,408 0,526 0,7 -0 0,086 0,166 0,206 0,231 0,247 0,262 0,273 0,290 0,320 0,383 0,463 0,5	-0 0.087 0,172 0.229 0,285 0,392 0.331 0,372 0,412 0,456 0,535 0,640 0.8 -0,1 0,039 0,139 0,196 0,240 0,278 0,317 0,353 0,396 0,445 0,515 0,583 0,0
-0.1 -0.080 -0.042 -0.035 -0.028 -0.039 -0.062 -0.096 -0.189 -0.262 -0.273 -0.128 0.1	60 -0 0.012 0.043 0.052 0.047 0.042 0.038 0.031 0.036 0.026 0.068 0.140 0.3	60 -0 0.029 0.074 0.091 0.097 0.103 0.111 0.112 0.132 0.126 0.171 0.241 0.4
-0,2 -0,175 -0,148 -0,122 -0,110 -0,107 -0,122 -0,160 -0,232 -0,310 -0,256 -0,032 0,2 -0,2 -0,145 -0,133 -0,118 -0,123 -0,112 -0,131 -0,173 -0,239 -0,305 -0,245 -0,028 0,2	-0.1 -0.007 0.038 0.062 0.067 0.070 0.067 0.073 0.084 0.097 0.183 0.254 0.4 -0.1 -0.024 0.028 0.050 0.058 0.062 0.084 0.086 0.074 0.097 0.152 0.234 0.3	-0,1 0,012 0,076 0,117 0,137 0,158 0,171 0,194 0,215 0,234 0,296 0,376 0,5 -0,1 -0,020 0,054 0,092 0,121 0,140 0,162 0,181 0,205 0,234 0,286 0,356 0,4
-0,2 -0,138 -0.125 -0.127 -0.132 -0.144 -0.186 -0.197 -0.244 -0.303 -0.310 -0.202 -0.6	75 -0.1 -0.086 -0.072 -0.069 -0.074 -0.083 -0.083 -0.089 -0.088 -0.086 -0.082 -0.077 -0.8	75 -0.1 -0.054 -0.028 -0.018 -0.012 -0.009 -0.002 -0.003 0.002 -0.004 0.025 -0.014 -0.7
-0,2 -0,162 -0,150 -0,145 -0,147 -0,151 -0,166 -0,194 -0,238 -0,297 -0,272 -0,134 -0,7	-0,1 -0,096 -0,077 -0,085 -0,070 -0,088 -0,079 -0,073 -0,068 -0,070 -0,010 -0,129 -0,6	-0,1 -0,059 -0,025 -0,002 0,006 0,018 0,019 0,030 0,035 0,034 0,080 -0,070 -0,5
-0.2 -0.162 -0.157 -0.146 -0.155 -0.142 -0.153 -0.186 -0.232 -0.285 -0.272 -0.161 -0.4	-0,1 -0,106 -0,079 -0,077 -0,074 -0,073 -0,073 -0,074 -0,072 -0,080 -0,028 -0,082 -0,68	-0.1 -0.072 -0.033 -0.015 -0.001 0.010 0.019 0.027 0.032 0.041 0.064 0.017 -0.8
-0.2 -0.160 -0.147 -0.142 -0.138 -0.138 -0.141 -0.144 -0.157 -0.187 -0.371 -0.863 -0.9 -0.2 -0.167 -0.158 -0.153 -0.154 -0.153 -0.159 -0.168 -0.178 -0.209 -0.354 -0.872 -0.9	90 -0.1 -0.109 -0.093 -0.085 -0.078 -0.079 -0.064 -0.057 -0.057 -0.137 -0.463 -0.797 -0.7 -0.1 -0.115 -0.104 -0.093 -0.093 -0.082 -0.082 -0.073 -0.082 -0.186 -0.462 -0.767 -0.7	90 -0.1 -0.072 -0.050 -0.040 -0.031 -0.022 -0.011 -0.006 -0.015 -0.142 -0.487 -0.741 -0.7 -0.1 -0.075 -0.058 -0.041 -0.035 -0.023 -0.023 -0.016 -0.047 -0.184 -0.495 -0.702 -0.8
-0.2 -0.163 -0.165 -0.155 -0.167 -0.152 -0.160 -0.177 -0.193 -0.222 -0.293 -0.648 -1.1	-0,1 -0,115 -0,096 -0,096 -0,086 -0,079 -0,073 -0,070 -0,080 -0,148 -0,410 -0,701 -0.8	-0,1 -0,071 -0,051 -0,042 -0,031 -0,023 -0,015 -0,014 -0,038 -0,145 -0,442 -0,656 -0,7
-0,7 -0,707 -0,699 -0,700 -0,703 -0,708 -0,707 -0,708 -0,704 -0,704 -0,700 -0,704 -0,7 -0,7 -0,688 -0,695 -0,700 -0,685 -0,678 -0,679 -0,678 -0,681 -0,686 -0,691 -0,691 -0,7	0 -0.5 -0.531 -0.519 -0.663 -0.673 -0.646 -0.606 -0.571 -0.565 -0.588 -0.610 -0.609 -0.6	0 0 -0.073 -0.164 -0.231 -0.280 -0.313 -0.325 -0.320 -0.312 -0.301 -0.266 -0.215 -0.2 0 -0.059 -0.159 -0.208 -0.237 -0.236 -0.246 -0.243 -0.251 -0.238 -0.226 -0.168 -0.2
-0.5 -0.845 -0.864 -0.851 -0.828 -0.831 -0.632 -0.821 -0.828 -0.844 -0.849 -0.853 -0.8	-0,2 -0,417 -0.582 -0.684 -0.650 -0.624 -0.566 -0.528 -0.525 -0.555 -0.582 -0.557 -0.5	0 -0,046 -0,112 -0,167 -0,177 -0,206 -0,208 -0,203 -0,202 -0,196 -0,182 -0,181 -0,1
-0.6 -0.808 -0.812 -0.620 -0.629 -0.643 -0.656 -0.669 -0.676 -0.892 -0.676 -0.563 -0.3	15 -0.5 -0.820 -0.845 -0.825 -0.586 -0.559 -0.531 -0.481 -0.390 -0.217 0.098 0.489 0.8	15 -0.2 -0.124 -0.080 -0.006 0.084 0.140 0.230 0.325 0.427 0.514 0.602 0.886 0.7
-0.6 -0.592 -0.802 -0.819 -0.820 -0.832 -0.853 -0.863 -0.864 -0.876 -0.830 -0.454 -0.1 -0.6 -0.590 -0.599 -0.602 -0.805 -0.636 -0.662 -0.858 -0.659 -0.659 -0.601 -0.344 0.2	-0.4 -0.497 -0.556 -0.576 -0.566 -0.591 -0.574 -0.530 -0.431 -0.200 -0.76 -0.496 -0.7 -0.3 -0.430 -0.500 -0.553 -0.572 -0.573 -0.527 -0.421 -0.224 -0.097 -0.405 -0.5	-0.2 -0.121 -0.074 -0.023 0.021 0.099 0.170 0.258 0.344 0.444 0.537 0.608 0.8 -0.1 -0.063 -0.026 0.015 0.069 0.100 0.166 0.245 0.334 0.427 0.516 0.538 0.4
-0.6 -0.625 -0.648 -0.681 -0.719 -0.763 -0.799 -0.614 -0.611 -0.613 -0.729 -0.118 0.8	30 -0.5 -0.511 -0.472 -0.420 -0.338 -0.259 -0.193 -0.115 -0.006 0.117 0.277 0.460 0.7	30 0 0,134 0,172 0,177 0,178 0,187 0,209 0,249 0,312 0,365 0,451 0,566 0,7
-0.5 -0.595 -0.635 -0.674 -0.708 -0.746 -0.774 -0.792 -0.807 -0.817 -0.676 -0.045 0.6 -0.5 -0.584 -0.620 -0.652 -0.679 -0.742 -0.783 -0.785 -0.795 -0.786 -0.815 -0.055 0.5	-0,4-0,406 0,452 -0,424 0,401 -0,367 -0,303 -0,214 -0,088 0,068 0,268 0,448 0,5 -0,3 -0,346 -0,373 -0,394 -0,384 -0,369 -0,316 -0,231 -0,101 0,070 0,256 0,391 0,4	-0,1 0,017 0,083 0,123 0,146 0,189 0,215 0,200 0,309 0,396 0,503 0,033 0,7 -0,1 -0,009 0,072 0,110 0,144 0,166 0,195 0,239 0,293 0,366 0,467 0,548 0,5
-0.5 -0.546 -0.637 -0.746 -0.854 -0.904 -0.821 -0.751 -0.850 -0.898 -0.737 -0.194 0.3	45 -0,1 -0.041 -0.035 -0.048 -0.082 -0.077 -0.088 -0.083 -0.055 -0.021 0.074 0.224 0.4	45 -0 0.064 0.109 0.130 0.147 0.169 0.193 0.212 0.243 0.246 0.311 0.415 0.8
-0.5 -0.513 -0.577 -0.637 -0.671 -0.708 -0.764 -0.842 -0.927 -0.944 -0.691 -0.080 -0.4	-0,1 -0,102 -0,089 -0,084 -0,085 -0,094 -0,089 -0,071 -0,036 0,027 0,154 0,336 0,5	-0,1 0,026 0,063 0,135 0,156 0,208 0,233 0,266 0,296 0,356 0,439 0,560 0,7
5. 5. 5. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6. 6.		
-0,4 -0,453 -0,422 -0,386 -0,370 -0,391 -0,465 -0,595 -0,766 -0,589 -0,738 -0,360 0 -0,3 -0,356 -0,365 -0,361 -0,397 -0,440 -0,521 -0,527 -0,761 -0,530 -0,631 -0,196 0.2	60 -0.1 -0.097 -0.093 -0.117 -0.146 -0.173 -0.191 -0.198 -0.181 -0.166 -0.093 0.015 0.2 -0.1 -0.096 -0.105 -0.120 -0.141 -0.164 -0.171 -0.163 -0.138 -0.098 0.004 0.143 0.3	60 -0.1 -0.018 0.020 0.031 0.034 0.038 0.041 0.045 0.081 0.059 0.104 0.177 0.3 -0.1 -0.038 0.015 0.046 0.059 0.082 0.103 0.119 0.129 0.163 0.219 0.305 0.4
-0.3 -0.335 -0.340 -0.351 -0.368 -0.399 -0.474 -0.565 -0.591 -0.739 -0.544 -0.139 0.2	-0,1-0,126 -0,118 -0,141 -0,180 -0,187 -0,191 -0,181 -0,151 -0,095 0,004 0,132 0,2	-0,2 -0,073 -0.003 0,026 0.053 0,070 0,082 0,102 0,123 0,166 0,216 0,298 0,3
0.2 -0.218 -0.222 -0.238 -0.256 -0.280 -0.343 -0.428 -0.599 -0.828 -0.584 -0.336 -0.6	75 -0,2 -0,153 -0,150 -0,159 -0,170 -0,182 -0,189 -0,193 -0,185 -0,184 -0,139 -0,106 -0,8	75 -0.1 -0.096 -0.073 -0.086 -0.081 -0.057 -0.054 -0.053 -0.048 -0.052 -0.021 -0.055 -0.8
-0.2 -0.220 -0.217 -0.220 -0.227 -0.257 -0.321 -0.392 -0.488 -0.556 -0.476 -0.268 -0.3	-0.2 -0.177 -0.163 -0.174 -0.177 -0.192 -0.190 -0.185 -0.174 -0.147 -0.094 -0.072 -0.5	-0.2 -0.122 -0.082 -0.070 -0.054 -0.047 -0.045 -0.036 -0.030 -0.017 -0.018 -0.037 -0.5
0.2 -0.182 -0.173 -0.173 -0.176 -0.188 -0.211 -0.252 -0.309 -0.370 -0.395 -0.730 -1.1	90 -0.1 -0.130 -0.115 -0.112 -0.109 -0.106 -0.104 -0.094 -0.090 -0.134 -0.429 0.844 -0.0	90 -0,1 -0,103 -0,082 -0,075 -0,063 -0,055 -0,048 -0,036 -0,046 -0,141 -0.489 0,782 -0,7
-0.2 -0.184 -0.177 -0.187 -0.188 -0.198 -0.225 -0.262 -0.318 -0.374 -0.369 -0.767 -1 1	-0.2 -0.135 -0.130 -0.123 -0.119 -0.119 -0.114 -0.102 -0.107 -0.170 -0.458 -0.821 -0.8	-0.1 -0.108 -0.095 -0.079 -0.080 -0.055 -0.050 -0.047 -0.078 -0.195 -0.504 -0.745 -0.7
-0,2 -0,100 -0,100 -0,100 -0,100 -0,200 -0,242 -0,270 -0,327 -0,390 -0,381 -0,450 -1,1	- W, 1 W, 131 W, 123 W, 120 W, 120 W, 128 W, 128 W, 122 W, 121 W, 108 W, 304 W, 732 W,	-0,1 10,110 10,001 10,001 10,001 10,001 10,000 10,001 10,0000 10,000 10,000 10,000 10,000 10,000 10,0000 10,000 10,000 10,000 10,

Fig. 5 - Aerodynamic coefficients on the surface of the main facade of a building in dense building at angles of attack θ =0°-90° (windward side):

a) - building scheme I, obstruction height 1H; b) building scheme II; c) building scheme I, obstruction height 2H. Distance between building and obstruction: 1H; 3H; 6H

Рис.5 - Аэродинамические коэффициенты на поверхности главного фасада здания в плотной застройке при углах атаки θ=0°-90° (наветренная сторона):

а) - схема застройки I, высота преграды 1H; b) схема застройки II; c) схема застройки I, высота преграды 2Н. Расстояния между зданием и преградой: 1Н; 3Н; 6Н

Samoylenko, M.; Butova, A.

Aerodynamic external pressure coefficients for rectangular buildings; 2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 102 Article No 10201. doi: 10.4123/CUBS.102.1

b)

c)





a) - building scheme II, distance to the obstruction 2,8H; δ) building scheme III, distance to the obstruction 1H; B) building scheme V, distance to the obstruction 3H

Рис.6 - Аэродинамические коэффициенты на поверхности главного фасада здания при углах атаки θ=0°–90° (наветренная сторона):

a) - схема застройки II, расстояние до преграды 2,8Н; б) схема застройки III, расстояние до преграды 1Н; в) схема застройки V, расстояние до преграды 3Н

Максимальное эквивалентное значение аэродинамического коэффициента для наветренной стороны здания для одной рамы составило *c*_e=0,9. Полученные коэффициенты *c*_e незначительно превышают регламентированные нормами. Причем, максимальное значение *c*_e с наветренной стороны рамы как правило сопровождается невысоким значением *c*_e с подветренной стороны. Вероятность сочетания указанного типа застройки и невыгодного направления ветра при его расчетной скорости крайне мала. Поэтому можно считать, что предложенный в СП 20.13330.2016 коэффициент *c*_e=0,8 обеспечивает заданную надежность при расчете любых типов зданий на ветровые нагрузки для любой схемы застройки.

Усредненные значения аэродинамических коэффициентов подветренной стороны для одной блок-секции здания находятся в пределах от -0,1 до -0,49 и также не превышают значений, указанных в нормах (*c*_e=-0,5).

В плотной застройке при действии ветра вдоль главных фасадов здания (при угле атаки θ =90°) ширина зоны максимального отрицательного давления А составляет 0,6*H* (как и для отдельностоящего здания). Значения аэродинамических коэффициентов для зоны А не ниже c_{eA} =-0,9. Расстояние от угла здания до края зоны В составляет не более 1,2*H*, что меньше нормативного значения 2*H*. Значения c_{eB} не ниже -0,45. В зоне С аэродинамические коэффициенты c_{eC} колеблются в пределах от 0,0 до -0,3. То есть в эксперименте получены значения аэродинамических коэффициентов, которые существенно меньше (по абсолютному значению) регламентируемых СП 20.13330.2016.

4. Пиковые значения аэродинамических коэффициентов

Зона с максимальными коэффициентами определяется типом застройки и направлением ветрового потока.

Анализ пиковых значений экспериментально полученных аэродинамических коэффициентов показал, что в отдельностоящем здании максимальные значения c_{p+} не превышают 0,98 как в центральной части фасада, так и в угловых зонах. То есть значение c_{p+} несколько меньше, указанных в п. В.1.17 СП 20.13330.2016 ($c_{p,+}$ =1,2). Максимальные значения зарегистрированы в угловых зонах здания для схемы застройки IV и V (θ =30–45°, высота преграды $H_{nperpadbi}$ =[1÷2]× $H_{3daнun}$) и в центральных зонах фасада для схем застройки II и III (θ =15–30°, высота преграды $H_{nperpadbi}$ = H_{3dahun}).

Экстремальные отрицательные значения c_{ρ} зарегистрированы для ряда случаев:



- верхняя часть угловых зон здания при наличии перед зданием высоких преград (*Н*_{преграды}=[2÷3]×*Н*_{здания}) и малых углах атаки *с*_{*p*}=-1,55;
- угловые зоны здания при наличии высоких преград и больших углах атаки (θ=75–90°) c_{p} =-1,15;
- центральная зона здания при наличии высоких преград и углах атаки близких к θ=45° (схемы застройки I/11 и V/3 при которых высокая преграда расположена близко к исследуемому зданию, а боковые преграды отсутствуют либо не препятствуют действию потока ветра на исследуемое здание) *с*_ρ=-1,25.

Для рассматриваемого типа зданий и типов застройки пиковые значения коэффициентов $c_{p,-}$ в зоне А ниже указанных в п. В.1.17 СП 20.13330.2016 ($c_{p,-A}$ =-2,2) и больше соответствуют значениям $c_{pe,1}$, указанным в табл. 7.1 EN 1991-1-4:2005. Коэффициенты $c_{p,-}$ в зоне В близки с значениям, рекомендованным СП 20.13330.2016. Вместе с тем целесообразно выделять зону парапета здания в которой возможно существенное увеличение коэффициентов $c_{p,-}$ (так, как это было рекомендовано в СНиП 2.01.07-85*).

4 Conclusions / Выводы

1. Распределение ветрового давления по плоскости фасадов весьма неоднородно и зависит от типа застройки, направления ветрового потока, высоты преград и расстояния до них. Невозможно предложить простую, точную и универсальную модель для определения аэродинамических коэффициентов, позволяющую легко собирать ветровые нагрузки на здание и учитывающую все возможные варианты взаимодействия здания с ветровым потоком. Для зданий массового строительства простые схемы аэродинамических коэффициентов, предложенные сегодня в строительных нормах и правилах, – единственный приемлемый способ определения ветровых нагрузок. При этом указанные в нормах коэффициенты *с*е близки к максимальным значениям аэродинамических коэффициентов, регистрируемым на поверхности фасадов (за исключением участков с повышенным давлением ветра в углах здания и парапетах). При взаимодействии здания с ветром при любом типе застройки практически невозможна ситуация, при которой на всей поверхности фасадов здания аэродинамические коэффициенты достигнут значений, указанных в табл. В.2 СП 20.13330.2016. То есть расчеты ветровой нагрузки в настоящее время выполняются с запасом.

2. Предложенные в нормах аэродинамические коэффициенты для наветренного и подветренного фасадов прямоугольных в плане зданий (соответственно *c*_e=0,8 и *c*_e=-0,5) обеспечивают сбор ветровой нагрузки «в запас» практически для любого типа застройки и высоты преград.

3. Указанный запас может быть весьма существенным для зданий, не разделенных на секции и имеющих горизонтальные диски жесткости. Для таких зданий целесообразно выполнить изучение работы несущих конструкций при различных вариантах фактического распределения коэффициентов *с*_{*e*} с наветренной и подветренной стороны для различных вариантов взаимодействия ветровым потоком с целью возможного снижения величины аэродинамических коэффициентов.

4. Максимальные значения аэродинамических коэффициентов для зданий в плотной застройке регистрируются при угле атаки θ=15°–30°. Поэтому для зданий повышенного уровня ответственности целесообразно рассматривать вариант расчета при действии ветра под углом 15°–30°.

5. Для главных фасадов, расположенных вдоль ветрового потока, параметры зон А, В и С, полученные в эксперименте, существенно отличаются от указанных в нормах. Значения *c*_e по абсолютному значению меньше нормативных. Данные п. В.1.2 СП 20.13330.2016 требуют уточнения.

6. Для рассматриваемого типа зданий для различных вариантов застройки полученные в эксперименте пиковые значения аэродинамических коэффициентов *с*_{*p*,-} в зоне А существенно ниже указанных в п. В.1.17 СП 20.13330.2016 и соответствуют *с*_{*p*е,1} в табл. 7.1 EN 1991-1-4:2005. Эти коэффициенты также требуют пересмотра. Прослеживается увеличение отрицательного давления в зоне парапетов, поэтому эту зону также целесообразно выделить в табл. В.12 СП 20.13330.2016.



References

- 1. DBN V.1.2-2:2006. Loads and actions. Design standards. Input from 01.01.2007 K.: Ministry of Construction of Ukraine, 2006. 60 p.
- 2. SP 20.13330.2016. Loads and actions. Updated version of SNiP 2.01.07-85*. M.: Ministry of Construction of Russia, 2016. 105 p.
- Loads and impacts on buildings and structures / V. N. Gordeev [et al.]; under total ed. Perelmutera A. V. - Ed. 4th, revised. and additional - Moscow: Publishing House of SCAD SOFT [and others], 2014. - 588 p.
- Samoylenko M.E. Simonovich V.E. On the issue of normalization of climatic loads on the structures of electrical networks // VII Ukrainian Scientific and Technical Conference. "Metal structures: a look into the past and the future": a collection of reports (Kyiv, October 18–22, 2004).
 Kyiv: publishing house "Stal", 2004. - part 2. - P.88-96.
- 5. Retter, E.I. Architectural and construction aerodynamics / E.I. Retter. M.: Stroyizdat, 1984. 294 p.
- Kazakevich M.I. Fundamentals of calculations of structures for wind effects. Monograph. M.: MGSU, 2019. – 180 p.
- 7. Aynsley, R.M.; Melbourne, W.; Vickery, B.J. Architectural Aerodynamics; Applied Science Publishers Ltd.: London. UK. 1977; ISBN 0-85334-698-4. Available online: https://www.worldcat.org/title/architectural-aerodynamics/oclc/569295778 (accessed on 12 January 2021).
- 8. Wind Effects on Structures: An Introduction to Wind Engineering, Emil Simiu and Robert H. Scanlan, WileyInterscience, 1978, 458 pp
- 9. Zheng, X., Montazeri, H., & Blocken, B. CFD simulations of wind flow and mean surface pressure for buildings with balconies: Comparison of RANS and LES // Building and Environment, Vol.173, 2020.
- 10. Montazeri, H.; Blocken, B. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis. Build. Environ. 2013, 60, 137–149.
- 11. Amin, J.A.; Ahuja, A.K. Effects of Side Ratio on Wind-Induced Pressure Distribution on Rectangular Buildings. J. Struct. 2013, 2013, 1–12.
- Computational and experimental studies of wind effects for residential complexes in Moscow / O.
 I. Poddaeva, I. V. Dunichkin. Text: direct // Industrial and civil construction. 2016. No. 4. P.
 42-45
- 13. Alexander M. Belostotsky, Sergey I. Dubinsky, Irina N. Afanasyeva. Numerical simulation on civil aerodynamics. Development of methodology of calculating of wind effects and the study of real objects // Vestnik MGSU. 2010. No. 4-5. pp. 182-185.
- 14. Al Zoubi, F.; Li, Z.; Wei, Q.; Sun, Y. Wind tunnel test and numerical simulation of wind pressure on a high-rise building. J. Chongqing Univ. 2010. Available online: http://www.cnki.com.cn/Article/CJFDTotal-CQDX201001008.htm (accessed on 12 February 2021).
- 15. ASCE/SEI 7-17 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, 2017.
- 16. EN 1991-1-4:2005+A 1. Eurocode 1: Actions on structures Part 1-4: General actions Wind actions. European committee for standardization. Management Centre:Avenue Marnix 17, B-1 000 Brussels. 146 p.
- Giacomo Lamberti. Comparison of high resolution pressure measurements on a high-rise building in a closed and open-section wind tunnel. // Giacomo Lamberti, Luca Amerio, Giulia Pomaranzi, Alberto Zasso, Catherine Gorle. // Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. -2020.
 Vol. 204 – pp. 1-13.
- 18. TianhangWang. Experimental study on proximity interference induced vibration of two staggered square prisms in turbulent boundary layer flow Thijs TianhangWang. // Journal Building and Environment. 2021. Vol. 220 pp. 185-192.
- Kuznetsov, S. Influence of Placement and Height of High-Rise Buildings on Wind Pressure Distribution and Natural Ventilation of Low- and Medium-Rise Buildings [Электронный ресурс] / S. Kuznetsov, A. Butova, S. Pospíšil // International Journal of Ventilation, 2016. – Vol. 15, nos. 3-4. – P. 253-266. – Режим доступа: https://doi.org/10.1080/14733315.2016.1214396.
- 20. Richards, P. J., Hoxey, R. P., Connell, B. D., and Lander, D. P. (2007). Windtunnel modelling of

Samoylenko, M.; Butova, A.

2022; Construction of Unique Buildings and Structures; 102 Article No 10201. doi: 10.4123/CUBS.102.1



the Silsoe Cube. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 95, 1384–1399. doi:10.1016/j.jweia.2007.02.005

- 21. Defraeye T., Carmeliet J. A methodology to assess the influence of local wind conditions and building orientation on the convective heat transfer at building surfaces. Environmental Modelling & Software, 25, 2010. pp. 1813-1824.
- 22. Zaki S.A., Hagishima A., Tanimoto J. Experimental study of wind-induced ventilation in urban building of cube arrays with various layouts. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 103, 2012.- pp. 31-40.
- 23. Ginger, J.; Letchford, C. Net pressures on a low-rise full-scale building. J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn. 1999, 83, 239–250.
- 24. Tieleman, H. W. (2003). Wind tunnel simulation of wind loading on low-rise structures: a review. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 91, 1627–1649. doi:10.1016/j.jweia. 2003.09.021
- 25. Uematsu, Y., and Isyumov, N. (1998). Peak gust pressures acting on the roof and wall edges of a low-rise building. J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. 77–78, 217–231. doi:10.1016/S0167-6105(98)00145-7
- 26. Peak non-Gaussian wind effects for databaseassisted low-rise building design. J. Eng. Mech. 128, 530–539. doi:10.1061/ (ASCE)0733-9399(2002)128:5(530)
- 27. Muehleisen, R.T.; Patrizi, S. A new parametric equation for the wind pressure coefficient for lowrise buildings. Energy Build. 2013, 57, 245–249.
- 28. Chen, J.H.; Chen, C.H. A Study on the Wind Pressures of the Partial Enclosed Buildings in the View of Net Pressures. In Proceedings of the Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering 2009, Taipei, Taiwan, 8–12 November 2009; Available online: http://14.139.190.172/cgi-bin/koha/opac-

detail.pl?biblionumber=6583&shelfbrowse_itemnumber=6583 (accessed on 21 January 2021).

- 29. Richards, P.; Hoxey, R. Wind loads on the roof of a 6 m cube. J. Wind. Eng. Ind. Aerodyn. 2008, 96, 984–993.
- 30. Kuznetsov, S.G. Numerical modeling of wind flow around medium-story buildings [Text] / S.G. Kuznetsov, A.P. Butova // Visnyk DonNUET. Ser.: Tech. science 2010. No. 1 (45). P. 21-26.
- 31. Serebrovsky, F.L. Aeration of populated areas: monograph / Serebrovsky F.L. Moscow: Stroyizdat, 1985. 172 p.
- 32. SNiP 2.01.07-85. Loads and impacts / State Construction Committee of the USSR. M.: Central Institute for Standard Design of State Construction Committee of the USSR, 1988. 36 p.