По словам господина Супоницкого, они станут возможны для реализации, как только Комитет по государственному контролю использованию и охране памятников истории и культуры выведет из состава объекта культурного наследия «Московский парк Победы» участок под вестибюлем. Сейчас такая работа ведется. По сути, речь идет о сносе типового павильона, построенного в 1961 году по проекту Арона Гецкина и Валентины Шуваловой, и возведении на его месте нового здания.

Илл 5. Фото kanoner.com

Конечно, городу необходимо развиваться и необходимо учитывать современные требования и нормы, но при этом мы должны, не забывая в каком уникальном городе мы живем.

1. Кириков Б.М. 100 памятников архитектуры Санкт-Петербурга / Б. М. Кириков. - СПб. : Белое и черное, 2000. - 255 с.
2. Авдеев В.Г., Бурин Д.Л., Ключков В.И., Никитенко Г.Ю. «Петербургский метрополитен: от идеи до воплощения». - СПб.: ГМИСПб, 2005 – 156с.
3. Александров В.Н. Опыт сооружения метрополитена в Санкт-Петербурге // Трансп. стр-во. – 2000. – № 5. – С. 27-29 : ил. Шифр РНБ: П11/783.
4. «План столичного города С. Петербурга». 1858 г. Фрагмент. // Санкт- Петербург. 300 лет на планах и картах (Электронный ресурс). СПб.: СПАЕРО, РНБ, 2002.
5. Московский проспект. Фотография 1950-х гг. //электронный ресурс <http://www.citywalls.ru/house16587.html/>
6. Представлены три проекта реконструкции метро «Парк Победы» <http://kanoner.com/2017/06/14/155474/>
7. На месте станции метро «Фрунзенская» может появиться паукообразное здание <https://gazeta.spb.ru/1790784-0/>
8. В петербургском метрополитене объяснили, почему после реконструкции Горьковская стала похожа на летающую тарелку <http://www.sobaka.ru/city/city/80655>

Соляник П.Е., Грузков А.А., Вернин Н.А.

Рациональность определения нормативного ветрового давления статистическими методами. Определение подходящей модели описания экстремальных скоростей ветра

*Дальневосточный федеральный университет
(Россия, Владивосток)*

doi: 10.18411/lj-05-2020-149

idsp: ljournal-05-2020-149

Аннотация

Определен основной фактор, влияющий на оптимизацию конструктивных решений. Произведено сравнение значений ветровых нагрузок, получаемой согласно

нормативным документам и получаемой при статистическом анализе значений, зафиксированных на метеостанции. Определен основной закон распределения экстремальных значений ветра.

Ключевые слова: распределение, скорость ветра, ветровое давление.

Abstract

The main factor influencing the optimization of design solutions is determined. The comparison of wind load values obtained in accordance with regulatory documents and obtained by statistical analysis of the values recorded at the weather station is made. The basic law of distribution of extreme wind values is defined.

Keywords: distribution, wind speed, wind pressure.

Главной задачей строительства является проектирование прочных, устойчивых и надежных зданий и сооружений с минимально возможной стоимостью.

В последнее время широко развивается вопрос оптимизации конструкций зданий и сооружений, которая позволяет снижать стоимость конструкции, не изменяя несущей способности сооружения.

Основным фактором, влияющим на оптимизацию конструктивных решений, является нагрузка, действующая на конструкцию или здание в целом. Если провести оптимизацию при расчетной нагрузке большей её реального значения, то поставленная задача о минимизации стоимости не будет выполнена. Если же оптимизация проводится при нагрузке меньшей её реального значения, то появляется высокая вероятность исчерпания несущей способности конструкции и, возможно, здания в целом. Поэтому в минимизации стоимости важную роль играет достоверность значений «прикладываемых» нагрузок к сооружению.

Рассмотрим основную горизонтальную нагрузку, действующую на здания и сооружения в районах с малой сейсмичностью – ветровую. Проведем сравнение значений нагрузок, получаемой согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования» [1] и получаемой при статистическом анализе значений, зафиксированных на метеостанции. Исследуемый район – г. Владивосток.

Значения скоростей для г. Владивостока с 10-минутным интервалом осреднения получены на сервере ВНИИГМИ-МЦД [2]. Период записей скоростей 54 года (с 1966 по 2019 гг.).

Согласно СП [1] г. Владивосток относится к IV району по значению ветрового давления. Нормативное значение ветрового давления $w_0 = 0,48 \text{ кПа/м}^2$.

Определим значение нормативного ветрового давления w_0 , получаемое на основе данных метеостанций. Согласно СП [1] Данное значение определяется по формуле:

$$w_0 = 0,43v_{50}^2, \quad (1)$$

где v_{50} – скорость ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, определяемая с 10-минутным интервалом осреднения и с периодом повторяемости 50 лет.

Как видим из формулы 1, основным фактором, влияющим на давление (согласно своду правил), оказываемое на сооружение набегающим потоком, является значение скорости, определяемое статистическими методами на основе выборки максимальных скоростей по годам за период эксплуатации метеостанции.

Для определения значения скорости с периодом повторяемости 50 лет необходимо описать полученную на метеостанции выборку скоростей, а точнее - определить закон распределения.

Так как нам необходимо определить максимальное значение ветра со средней повторяемостью раз в 50 лет, воспользуемся для описания выборки обобщенным

законом распределения экстремальных значений, который может быть записан следующим образом:

$$F(v) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(v-u)}{a} \right]^{\frac{1}{k}} \right\}, \quad (2)$$

Рассмотрим три основных случая распределения:

1. Тип I ($k = 0$). Также известный, как распределение Гумбеля, которое также может быть записано следующим образом:

$$F(v) = \exp \left\{ - \exp \left[- \frac{(v-u)}{a} \right] \right\}, \quad (3)$$

2. Тип II ($k < 0$). Также известный, как распределение Фреше, которое также может быть записано следующим образом:

$$F(v) = \exp \left[- \frac{(v-\lambda)}{\omega} \right]^{-\alpha}, \quad (4)$$

3. Тип III ($k > 0$). Также известный, как распределение Вейбулла, которое также может быть записано следующим образом:

$$F(v) = 1 - \exp \left[- \frac{(v-\mu)}{\beta} \right]^\gamma, \quad (5)$$

Для выбора конкретного закона распределения экстремальных величин необходимо оценить принадлежность выборки данному варианту. Для оценки принадлежности выборки закону распределения будем использовать критерий Пирсона, определяемый по формуле:

$$\chi_v^2 = \sum \frac{(n_v - n'_v)^2}{n'_v}, \quad (6)$$

где n_v – практическая частота,

n'_v – теоретическая частота.

Теоретическая частота определяется по формуле:

$$n'_v = N p_v, \quad (7)$$

где N – количество измерений,

p_v – теоретическая вероятность.

Для определения теоретических частот необходимо определить значения параметров распределения. Для определения параметров необходимы значения математического ожидания и стандарта, определяемых по формулам:

$$M_v = \bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{N}, \quad (8)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2}, \quad (9)$$

1. Определение параметров распределения Гумбеля:

Распределение Гумбеля зависит от двух параметров a и u . Они связаны с математическим ожиданием M_v и стандартом σ_v распределения максимальных значений следующими зависимостями:

$$a = \frac{\sigma_v \sqrt{6}}{\pi}, \quad (10)$$

$$u = M_v - 0,5772a, \quad (11)$$

Вычисленные значения параметров распределения Гумбеля:

$$a = 2,481, u = 20,216;$$

2. Определение параметров распределения Фреше:

Распределение Фреше зависит от трех параметров λ , k и α . Сведем трехпараметрическое распределение к двухпараметрическому путём приравнивания

значения параметра смещения нулю ($\lambda = 0$). Воспользуемся зависимостью значений параметров от Гамма-функции:

$$M_v = \omega \Gamma\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right), \quad (12)$$

$$\sigma_v^2 = \omega^2 \left[\Gamma\left(1 - \frac{2}{\alpha}\right) - \Gamma^2\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \right], \quad (13)$$

Вычисленные значения параметров распределения Фреше:

$$\alpha = 9,548, \omega = 20,185;$$

3. Определение параметров распределения Вейбулла:

Распределение Вейбулла зависит от трех параметров μ , β и γ . Сведем трехпараметрическое распределение к двухпараметрическому путём приравнивания значения параметра смещения нулю ($\mu = 0$). Воспользуемся зависимостью значений параметров от Гамма-функции:

$$M_v = \beta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right), \quad (14)$$

$$\sigma_v^2 = \beta^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{\gamma}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \right], \quad (15)$$

Вычисленные значения параметров распределения Вейбулла:

$$\gamma = 8,084, \beta = 22,976;$$

Для наглядности и удобства расчет критерия Пирсона будем вести в табличной форме.

Таблица 1

Определение критерия Пирсона для 3 типов распределений

v	n_v	Гумбель			Фреше			Вейбулл		
		p_v	n'_v	χ_v	p_v	n'_v	χ_v	p_v	n'_v	χ_v
18	8	0,086	4,644	2,425	0,080	4,320	3,135	0,054	2,934	8,746
19	8	0,129	6,966	0,153	0,151	8,154	0,003	0,074	3,988	4,037
20	11	0,148	7,992	1,132	0,175	9,450	0,254	0,095	5,135	6,700
21	6	0,142	7,668	0,363	0,157	8,478	0,724	0,115	6,197	0,006
22	3	0,121	6,534	1,911	0,123	6,642	1,997	0,128	6,910	2,212
23	2	0,095	5,130	1,910	0,090	4,860	1,683	0,129	6,982	3,555
24	4	0,071	3,834	0,007	0,063	3,402	0,105	0,116	6,238	0,803
25	5	0,051	2,754	1,832	0,044	2,376	2,898	0,088	4,776	0,011
26	2	0,036	1,944	0,002	0,030	1,620	0,089	0,056	3,013	0,341
27	0	0,025	1,350	1,350	0,021	1,134	1,134	0,028	1,493	1,493
28	4	0,017	0,918	10,347	0,014	0,756	13,920	0,010	0,548	21,744
29	0	0,011	0,594	0,594	0,010	0,540	0,540	0,003	0,139	0,139
30	1	0,008	0,432	0,747	0,007	0,378	1,024	0,000	0,022	43,018
			Σ	22,773		Σ	27,506		Σ	92,805

Согласно полученным результатам значений критерия Пирсона распределение Гумбеля является более точной моделью описания выборки максимальных годовых скоростей. Но при сравнении практических и теоретических частот можно заметить, что распределение Фреше точнее описывает выборку, что можно увидеть при графическом сравнении частот (рисунок 1).

Рисунок 1 – Графическое сравнение частот

Попробуем оценить выборку на основе коэффициента корреляции. Коэффициент корреляции определяется на основе данных таблицы 1 (значений частот) по следующей формуле:

$$r = \frac{\sum (n'_v - \bar{n}'_v)(n_v - \bar{n}_v)}{\sqrt{\sum (n'_v - \bar{n}'_v)^2 \sum (n_v - \bar{n}_v)^2}}, \quad (16)$$

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты расчета коэффициента корреляции в зависимости от закона распределения

№ п/п	Закон распределения	Значение коэффициента корреляции
1	Гумбель	0,739
2	Фреше	0,760
3	Вейбулл	0,385

Согласно полученным результатам значений коэффициента корреляции и графическом методе исследования распределение Фреше является более точной моделью описания выборки максимальных годовых скоростей.

Далее, для определения значения скорости с периодом повторяемости 50 лет необходимо определить соответствующую вероятность - $F(v_{50})$. Данная вероятность определяется по формуле:

$$F(v_T) = 1 - \frac{1}{T}, \quad (17)$$

где T – заданный период повторяемости, год.

$$F(v_{50}) = 1 - \frac{1}{T} = 1 - \frac{1}{50} = 0,98;$$

Выразим формулу определения скорости из закона распределения Фреше и определим искомое значение скорости:

$$v_{50} = \omega(-\ln(F(v_{50})))^{\frac{-1}{\alpha}} = 20,185(-\ln(0,98))^{\frac{-1}{9,548}} = 30,375 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right),$$

Определим для сравнения скорости с периодом повторяемости 50 лет при использовании законов распределения Гумбеля и Вейбулла.

1. Гумбель:

$$v_{50} = u - a * \ln(-\ln(F(v_{50}))) = 20,216 - 2,481 * \ln(-\ln(0,98))$$

$$= 29,897 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right),$$

2. Вейбулл:

$$v_{50} = \beta(-\ln(1 - F(v_{50})))^{\frac{1}{\gamma}} = 22,976(-\ln(0,02))^{\frac{1}{8,084}} = 27,199 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right),$$

Произведем сравнение, полученных значений скоростей в табличной форме. Превышение будем определять относительно скорости, полученной при использовании функции распределения Фреше.

Таблица 3

Сравнение полученных значений скоростей

№ п/п	Закон распределения	v_{50} , м/с	Δ , %
1	Вейбулл	27,199	10,46
2	Гумбель	29,897	1,57
3	Фреше	30,375	-

Согласно полученным результатам значений скоростей можно сделать вывод, что при определении статистическим методом скорости с периодом повторяемости 50 лет для данной выборки можно использовать как закон распределения Фреше, так и закон Гумбеля с погрешностью в 2%.

Вернемся к поставленному вопросу и определим значение нормативного ветрового давления на основе статистического анализа (распределение Фреше), используя формулу 1:

$$w_0 = 0,43v_{50}^2 = 0,43 * 30,375^2 = 396,73 \text{ (Па)},$$

Произведем сравнение, полученных значений нормативных ветровых давлений, полученного по СП [1] и при использовании статистического анализа, в табличной форме. Превышение будем определять относительно ветрового давления, определенного статистическим методом.

Таблица 4

Сравнение полученных значений давлений

№ п/п	Источник	p , Па	Δ , %
1	СП [1]	480,00	20,99
2	Статистический анализ	396,73	-

Подведем итог: проведенный анализ показал, что значения нормативного ветрового давления в г. Владивостоке в зависимости от метода определения разнятся на 21%. Данный результат показывает, что определение нормативного давления статистическим способом существенно повлияет на предельные значения усилий в элементах здания или сооружения в сторону их уменьшения, следовательно, минимизирует затраты на строительство. Полученное значение не рационально использовать для всей территории города, так как в зависимости от района установки анемометров фиксируемые значения предельных скоростей могут серьезно разниться.

1. СП 20.13330.2016 (Актуализированная версия СНиП 2.01.07-85*). Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования. – М.: Минрегион России, 2016.
2. Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://meteo.ru/data/163-basic-parameters#описание-массива-данных> (дата обращения: 20.04.2020).