

УДК 624.019; 624.072

Хусайнов Д.М. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: xdmt@mail.ru

Шмелев Г.Н. – кандидат технических наук, профессор

E-mail: shmelev@kgasu.ru

Козлов М.В. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: maxim-kozlov@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ В г. КАЗАНИ

АННОТАЦИЯ

По имеющимся данным многолетних метеорологических наблюдений для г. Казани, определены законы распределения Вейбула и Гумбеля для описания скоростей ветра, ветрового давления и максимальных значений ветровой нагрузки. Определен период повторяемости нормативных и расчетных значений ветровой нагрузки для г. Казани. Предложено учитывать уменьшение ветровой нагрузки на рекламные конструкции г. Казани с периодом эксплуатации не более 5 лет. Определен коэффициент возможного уменьшения ветрового давления. Выполнена проверка использования полученного закона Гумбеля для прогноза средних значений максимальных скоростей ветра за период 10 лет. Приведено графическое представление плотностей распределения Вейбула и Гумбеля для ветровой нагрузки в г. Казани.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ветровая нагрузка, вероятность возникновения ветровой нагрузки, законы распределения ветровой нагрузки.

Khusainov D.M. – candidate of technical sciences, associate professor

Shmelev G.N. – candidate of technical sciences, professor

Kozlov M.V. – candidate of technical sciences, senior lecturer

Kazan State University of Architecture and Engineering

DETERMINATION OF PROBABILITY CHARACTERISTICS OF WIND LOAD IN KAZAN

ABSTRACT

According to data of long-term meteorological observations in city of Kazan laws of Gumbel and Weibull have been defined for description wind speed, wind pressure and maximum wind load. The repetition period of normal and estimated wind loads for the city of Kazan has been defined. It has been offered to reduce the wind load on the advertising constructions in Kazan with maintenance period less than 5 years. The coefficients of a possible decrease in wind pressure have been determined. The test of Gumbel law has been done for predicting the mean values of the maximum wind speed for a period of 10 years. The graphic representation of the density distribution of Weibull and Gumbel for wind load in the city of Kazan has been made.

KEYWORDS: wind load, the probability of occurrence of wind load, the distribution of wind load.

При решении задач определения характеристик надежности строительных и рекламных сооружений в г. Казани, таких как вероятность безотказной работы, актуальной является задача точного описания распределений величин действующих нагрузок. Для ветровой нагрузки в г. Казани эта задача заметно упрощается, благодаря многолетним данным наблюдений, представленных в справочнике по климату СССР с 1936 по 1980 гг. [1, 2]. По этим данным средняя скорость ветра $V = 4.3$ м/с, стандарт $S_V = 2.4$ м/с, коэффициент вариации $n = 0.6$.

Для описания ветровой нагрузки в вероятностном виде в различных работах [3, 4, 5] рекомендуется применять распределение Вейбула, при описании значений максимальных скоростей ветра и ветрового давления рекомендуется распределение Гумбеля. В таблице 1 приведены вероятности различных скоростей ветра для г. Казани, определенные по таблице 12 [1].

Таблица 1

Результаты наблюдений

V, м/с	интервал									
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-21
Вероятность	0.177	0.441	0.714	0.887	0.96	0.979	0.994	0.997	0.999	0.9995

Функция распределения скорости имеет вид:

$$F(V) = 1 - e^{-c \times V^b} . \quad (1)$$

С плотностью распределения:

$$f(V) = c \times b \times V^{b-1} \times e^{-(c \times V^b)} . \quad (2)$$

Тогда по данным таблицы 1 можно определить параметры распределения для г. Казани:

$$c = 0.195 ;$$

$$b = 1.222 .$$

Ветровое давление w (кг/м²) определяется в зависимости от случайной величины – скорости ветра V (м/с) по условию $w = 0.061 \times V^2$ (кг/м²) и также является случайной величиной. Так как скорость ветра описывается законом распределения Вейбула, то соответственно значение ветрового давления описывается тем же законом.

Функция распределения ветрового давления имеет вид:

$$F(w) = 1 - e^{-c_1 \times w^{b_1}} \quad (3)$$

С плотностью распределения:

$$f(V) = c_1 \times b_1 \times w^{b_1-1} \times e^{-(c_1 \times w^{b_1})} , \quad (4)$$

где для ветрового давления в г. Казани:

$$c_1 = 1.061 ;$$

$$b_1 = 0.611 .$$

Наибольший интерес представляют два значения:

$w_n = 30$ кг/м² – нормативное ветровое давление для II-го ветрового района, соответствующее скорости ветра $V = 21.9$ м/с;

$w_p = 42$ кг/м² – расчетное ветровое давление для II-го ветрового района, соответствующее скорости ветра $V = 25.9$ м/с.

Вероятность непревышения этих значений по закону Вейбула равна:

$$F(w_n = 30) = 1 - e^{-1.061 \times 30^{0.611}} = 0.9998$$

$$F(w_n = 42) = 1 - e^{-1.061 \times 42^{0.611}} = 0.99997$$

Кроме того, скорость ветра связана с другой характеристикой ветровой нагрузки – периодом повторяемости – формулой:

$$V = b \sqrt{\frac{1}{c} \times \ln \frac{\bar{t}}{t}} \quad (5)$$

где \bar{t} – период повторяемости;

$t = (1 - F(V)) \times \bar{t}$ – условная зона корреляции;

$(1 - F(V))$ – вероятность превышения скорости V .

Можно убедиться, используя формулу (5), что период повторяемости для нормативной ветровой нагрузки для г. Казани составляет 10 лет:

$$V = 1.222 \sqrt{\frac{1}{0.195} \times \ln \frac{10}{0.002 \times 10}} = 21.9 \text{ м/с}$$

где $V = 21.9$ м/с – скорость, соответствующая ветровому давлению $w_n = 30$ кг/м².

Коэффициент надежности ветровой нагрузки в соответствии с работой [3] может быть записан как:

$$g = \frac{w_p}{w_n} = \left(\frac{\ln \frac{\bar{t}_p}{t}}{\ln \frac{\bar{t}_n}{t}} \right)^{2/b} = 1.4 \quad (6)$$

Оценим период повторяемости для расчетной ветровой нагрузки для г. Казани:

Для значений $b = 1.222$ и $t = 1$ сутки из условия (6) можно найти период повторяемости для значения расчетной ветровой нагрузки в г. Казани $\bar{t}_p = 22026$ суток, что ≈ 60 лет.

Графическое представление плотности распределения среднего значения ветровой нагрузки для г. Казани приведено на рисунке 1.

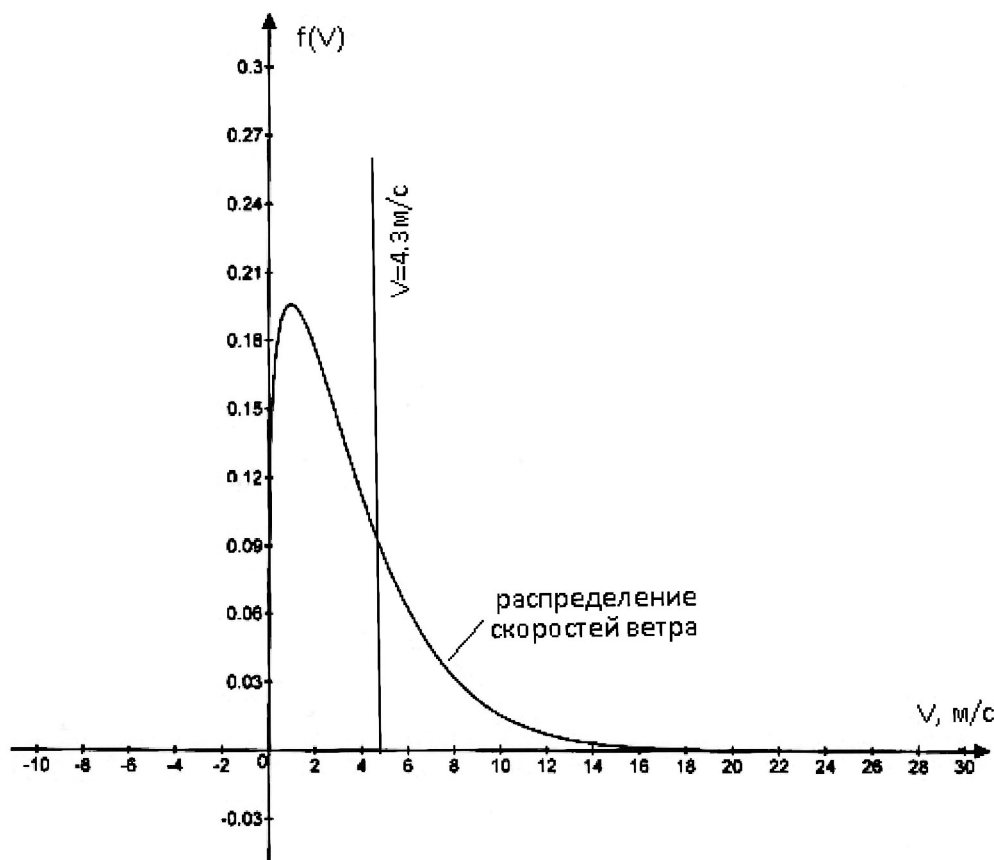


Рис. 1. Плотность распределения скоростей ветра для г. Казани

Интересной представляется задача оценки возможного уменьшения значений ветровой нагрузки для конструкций с «коротким» периодом эксплуатации, например для временных рекламных объектов со сроком службы не более 5 лет. Вероятность возникновения за период эксплуатации временных конструкций значительных по величине скоростей ветра должна быть меньше, чем это представляется в [6].

Для периода повторяемости $\bar{t} = 5$ лет по условию (5) скорость ветра, соответствующая этому периоду повторяемости, будет равна:

$$V = 1.222 \sqrt{\frac{1}{0.195} \ln\left(\frac{5}{0.002}\right)} = 20.52 \text{ м/с,}$$

что соответствует давлению ветра:

$$w = \frac{V^2}{16} = 26.3 \text{ кг/м}^2.$$

Введем коэффициент k , равный:

$$k = \frac{w_u(t = 10 \text{ лет})}{w_p(t = 5 \text{ лет})} = \frac{30}{26.3} = 1.14 \quad (7)$$

Значение k может быть рассмотрено, как значение коэффициента, учитывающего возможность уменьшения величины ветровой нагрузки для конструкции в г. Казани со сроком эксплуатации не более 5 лет.

При описании ветровых максимумов в г. Казани используется закон Гумбеля. В таблице 2 приведены данные по максимальной скорости ветра, взятые из таблицы 3.15 [2].

Таблица 2

Значение максимальной скорости ветра за время наблюдения

Период, месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Скорость, м/с	20	24	20	18	17	17	15	16	18	20	20	20	24

Функция распределения закона Гумбеля имеет вид:

$$F(V) = e^{-e^{\frac{V-a}{b_2}}} \quad (8)$$

Плотность распределения закона Гумбеля имеет вид:

$$f(V) = \frac{1}{b} \times e^{-\frac{V-a}{b_2}} \times e^{\frac{a-V}{b_2}} \quad (9)$$

где

$$b_2 = \frac{s}{1.283};$$

$s = 2.4$ – стандарт скорости ветра по [1];

$$a = \bar{V} - \frac{0.575}{1.283} \times s = \bar{V} - 0.448 \times s$$

\bar{V} – средняя максимальная скорость по результатам наблюдений месячных и годовых максимумов скорости ветра.

Для Казани, по данным наблюдения, среднее значение ветровых максимумов и стандарт равны:

$$\bar{V} = 18.75 \text{ м/с};$$

$$s = 2.4;$$

Тогда для г. Казани:

$$b_2 = 1.87;$$

$$a = 17.675.$$

Распределение Гумбеля позволяет делать прогнозы величин для времени t .

В соответствии с данными работы [4] можно записать:

$$\bar{V}(t) = \bar{V} - \frac{0.58}{1.283} \times s + \frac{s}{1.283} \times \ln(t) \quad (10)$$

Тогда для г. Казани среднее значение максимальных скоростей ветра для периода $t = 10$ лет будет равно:

$$\bar{V}(t = 10 \text{ лет}) = 18.75 - \frac{0.58}{1.283} \times 2.4 + \frac{2.4}{1.283} \times \ln 10 = 21.97 \text{ м/с},$$

то есть равно величине скорости ветра, соответствующей нормативному ветровому давлению.

Полученный прогноз соответствует определениям, приведенным в работе [5], где нормативное ветровое давление рассматривается как среднее максимальных ветровых давлений для соответствующего периода повторяемости ветровой нагрузки.

Графическое представление плотности распределения максимальных значений ветровой нагрузки для г. Казани приведено на рисунке 2.

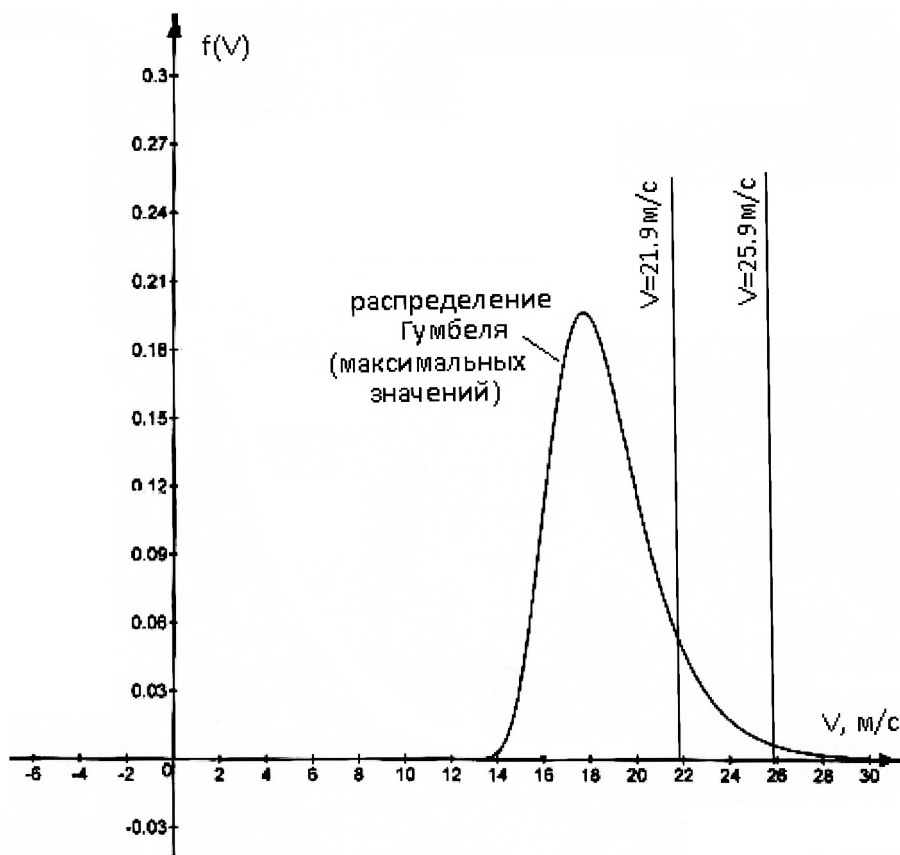


Рис. 2. Плотность распределения максимальных скоростей ветра для г. Казани

Полученные и приведенные в данной статье параметры законов распределения скоростей и ветровых давлений могут быть использованы для решения задач определения характеристики надежности строительных и рекламных сооружений в г. Казани.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по климату СССР. Выпуск 12, часть III. Ветер. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – 412 с.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Выпуск 12. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – С. 486.
3. Веселов Ю.А., Демченко Д.Б. Основы надежности строительных конструкций. – Ростов-на-Дону: Терра, 2001. – 384 с.
4. Лычев А.С. Надежность строительных конструкций. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 168 с.
5. Барштейн М.Ф. Воздействие ветра на высотные сооружения // Строительная механика и расчет сооружений, 1959, № 1. – С. 21-24.
6. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: Госстрой, 2002. – 92 с.
7. Пичугин С.Ф. Описание ветровой нагрузки // Известия вузов, 1985, № 4. – С. 45-48.