

Demidenko Olga Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Commerce, marketing and advertising» of Omsk Humanitarian Academy; associate professor of the department «Organization and technology of construction» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644115, Omsk, 4th 2a Chelyuskintsev st., e-mail: dovanddms@yandex.ru).

Kuznetsov Sergey Mikhailovich (Russian Federation, Novosibirsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Technology, organization and economy of

construction» of the Siberian State Transport University (630049, Novosibirsk, 191 D. Kovalchuk st., e-mail: ksm56@yandex.ru).

Alekseev Nikolai Evgenievich (Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences, associate professor of the department «Commerce, marketing and advertising» of Omsk Humanitarian Academy; associate professor of the department «General economics and law» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644115, Omsk, st. 4th Chelyuskintsev 2a, e-mail: oeip@mail.ru).

УДК 624.131.042

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ С ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ

Ю. В. Краснощеков, М. Ю. Заполева

¹ФГБОУ ВПО «СибАДИ» Россия, г. Омск;

²ОАО СМУ №175 «Радиострой».

Аннотация. В статье анализируются вероятностные модели статической составляющей ветровой нагрузки и сравниваются расчетные значения, полученные по каждой из моделей с разной «срочной» обеспеченностью. Авторы приходят к выводу, что обеспеченность нормативных значений ветровой нагрузки метода предельных состояний соответствует 5 – летнему периоду, а расчетных значений 50 – летнему. Приводятся таблицы с расчетными значениями ветровой нагрузки для всех ветровых районов, удобные для применения при проектировании высоких сооружений.

Ключевые слова: надежность, ветровая нагрузка, вероятностные модели, обеспеченность расчетных значений.

Введение

Надежность сооружений зависит от обеспеченности расчетных значений, характеризующих свойства конструкций и внешние воздействия. Недостаточность знаний и связанные с ней неопределенности вынуждают повышать запасы, особенно при оценке временных нагрузок. Снизить необоснованные запасы и тем самым повысить эффективность конструкций можно путем нормирования нагрузок с учетом проектируемого срока службы сооружения [1]. В статье приведены результаты анализа вероятностных моделей ветровой нагрузки с целью получения расчетных значений на заданный срок эксплуатации.

Особенности нормирования ветровой нагрузки

Основными характеристиками ветровой нагрузки является плотность воздуха γ и скорость ветра v . Это следует из уравнения Бернулли, которое применяется для определения статической составляющей давления ветра [2]:

$$w = \frac{\gamma v^2}{2}, \quad (1)$$

где v – средняя скорость ветра (м/сек).

Объединенный комитет по надежности конструкций (JCSS) рекомендует определять среднее давление скорости ветра по формуле (1) при $\gamma = 1.25 \text{ кг/м}^3$ [3].

В подобном виде при $\gamma = 1.22 \text{ кг/м}^3$ определялось нормативное значение ветрового давления w_0 в Па по СНиП 2.01-07-85:

$$w_0 = 0,61 v_0^2. \quad (2)$$

При этом v_0 – скорость ветра, соответствующая 10 – минутному интервалу осреднения и превышаемая в среднем один раз в 5 лет. Так как коэффициент 0,61 не зависит от изменчивости скорости ветра, то можно утверждать, что обеспеченности скорости ветра и ветрового давления в формуле (2) идентичны.

Например, для Москвы значение скорости, превышаемое (в среднем) один раз за 5 лет, $v_5 = 19,75 \text{ м/сек}$ [4]. По формуле (2) получаем $w = 0,61 \cdot 19,75^2 = 238 \text{ Па}$ и поэтому

Москва отнесена к 1 ветровому району при нормированном значении $w_0 = 230$ Па.

В СНиП 2.01-07-85*(СП 20.13330.2011) для нормативного значения ветрового давления принята формула

$$w_0 = 0,43 v_0^2. \quad (3)$$

Здесь v_0 – скорость ветра, соответствующая 10 – минутному интервалу осреднения и превышаемая в среднем один раз в 50 лет. Коэффициент 0,43 учитывает разную обеспеченность ветрового давления и скорости ветра.

Расчетное значение ветрового давления определяется умножением нормативного значения на коэффициент надежности $\gamma_f = 1,4$. В результате этой операции выражение (3) преобразуется в

$$w = 0,61 v^2, \quad (4)$$

в котором расчетные значения ветровой нагрузки и скорости ветра имеют 50 – летнюю обеспеченность.

В настоящее время нормативные и расчетные значения ветровой нагрузки необходимы для теоретического обеспечения надежности конструкций по методу предельных состояний [5,6]. Действующими нормами допускается производить также расчет по заданному значению надежности вероятностными методами при наличии достаточных данных об изменчивости основных факторов, входящих в расчетные зависимости. Для этого необходимо иметь, в частности, расчетные значения ветровой нагрузки с произвольной «срочной» обеспеченностью.

Вероятностные модели ветровой нагрузки

Известно, что совершенствование расчётных методов требует широкого привлечения методов теории вероятностей и надёжности, особенно при необходимости учёта фактора времени.

Средняя скорость ветра – это случайная величина, основной характеристикой которой является функция распределения, удобная для прогнозирования. Месячный максимум скорости ветра можно рассматривать как наибольший элемент выборки, представляющий все «срочные» наблюдения за этот период времени. Лучшие результаты получены при применении двойной экспоненциальной функции (распределение Гумбеля) [7]:

$$F(v) = \exp\left(-\exp\frac{u-v}{z}\right). \quad (5)$$

Параметры распределения (5) определяют из обработанных выборок максимумов по формулам:

$$s = \pi z / \sqrt{6} = 1,28255z, \quad (6)$$

$$\bar{v} = u + 0,57722z,$$

где $\bar{v} = \sum_{i=1}^n v_i / n$; $s = \left(\sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2 / (n-1)\right)^{1/2}$ –

среднее арифметическое и среднеквадратическое значения максимумов; 0,57722 – постоянная Эйлера-Машерони; u – мода распределения, т.е. наиболее вероятное значение случайной величины.

Для прогнозирования месячных максимумов скорости ветра применяется формула

$$v_T = u + \left[-\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)\right]z, \quad (7)$$

где T – количество месяцев, на которое составляется прогноз.

При отсутствии или недостатке опытных данных параметры u и z можно определить из системы двух уравнений (7), соответствующих периодам повторяемости ветрового давления $T = 60$ (5 лет) и $T = 600$ (50 лет).

Например, для условий Москвы (1 ветровой район) из формулы (2) следует $v_{60} = \sqrt{230/0,61} = 19,42$ м/с, а из (3) $v_{600} = \sqrt{230/0,43} = 23,13$ м/с. Для этих значений v_T получено $u = 12,85$ м/с, $z = 1,608$ м/с, $\bar{v} = 13,78$ м/с и $s = 2,062$ м/с. При $T = 12$ получен средний годовой максимум $\bar{v}_1 = v_{12} = 16,78$ м/с. Некоторые значения скорости ветра на заданный срок приведены в таблице 1. Расчетные значения ветровой нагрузки с заданной обеспеченностью определены по формуле (4).

В нормах многих стран отдаётся предпочтение вероятностным моделям ежегодных максимумов скорости ветра. В виде распределения (5) они рекомендуются JCSS [3].

Распределение (5) применимо также к N – летним максимумам скорости ветра. Переход к распределению максимумов за N лет осуществляется увеличением u на $z \ln N$ в формуле (5) и приводит к соответствующему смещению кривой теоретического распределения вдоль оси абсцисс (рис. 1).

$$F(v_N) = \exp\left(-\exp\frac{u-v+z \ln N}{z}\right). \quad (8)$$

При этом параметры z и s остаются неизменными, а средний максимум за N лет увеличивается на $z \ln N = 0,78s \ln N$, т.е.

$$\bar{v}_N = \bar{v}_1 + 0,78s \ln N. \quad (9)$$

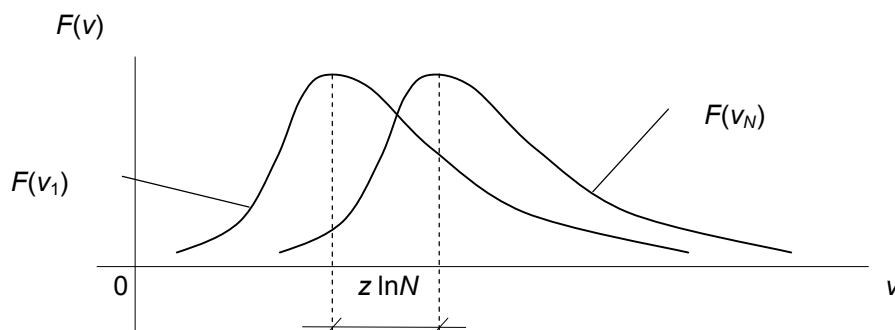


Рис. 1. Соотношение функций $F(v_1)$ и $F(v_N)$

Принимая \bar{v}_N по формулам (2) и (3), значения \bar{v}_1 и z можно проверить решением системы двух уравнений (9), соответствующих периодам $N = 5$ и $N = 50$ лет. Для 1 ветрового района получено $\bar{v}_1 = 16,83$ м/сек и $s = 2,066$ м/сек. Расхождение с предыдущими результатами в пределах точности вычислений. Результаты расчета

\bar{v}_N при разных значениях N для сравнения с прогнозируемыми на заданный срок T приведены в таблице 1.

В. Райзер рекомендует применять распределение Гумбеля и для оценки ветрового давления [8].

$$\bar{w}_N = \bar{w}_1 + 0,78 s \ln N. \quad (10)$$

Таблица 1 – Сравнение результатов вычислений скорости ветра v (м/с) и ветрового давления w (Па) для 1 ветрового района с заданной обеспеченностью

Расчетные параметры	Задаваемый срок N , лет							
	1	2	5	10	20	30	40	50
v по (7)	16,78	17,93	19,42	20,54	21,66	22,31	22,77	23,13
w по (4)	172	196	230	257	286	304	316	326
v по (9)	16,83	17,95	19,42	20,54	21,66	22,31	22,77	23,13
w по (4)	173	197	230	257	286	304	316	326
w по (10)	166	193	230	258	285	302	313	322

Расхождение результатов расчета во всех вариантах при $N = 1$ не превышает 4%, для остальных периодов не более 1,5%.

Расчетные значения ветровой нагрузки

В таблице 2 приведены расчетные значения ветровой нагрузки в разных

ветровых районах для некоторых случаев заданной обеспеченности. В общем случае расчетные значения можно определять по упрощенной зависимости

$$\bar{w}_N = w_0(0,72 + 0,174 \ln N). \quad (11)$$

Таблица 2 – Расчетные значения ветрового давления w (Па) с заданной обеспеченностью

Ветровой район	Задаваемый срок N , лет							
	1	2	5	10	20	30	50	75
IA	122	143	170	190	211	223	238	250
I	166	193	230	258	285	302	322	338
II	216	252	300	336	372	393	420	441
III	274	320	380	426	472	498	532	559
IV	346	404	480	538	596	629	672	706
V	432	505	600	672	745	787	840	882
VI	526	614	730	818	906	957	1022	1073
VII	612	715	850	952	1055	1115	1190	1250

При вероятностном проектировании кроме средних значений необходимо знать коэффициенты вариации ветрового давления v_w . Для годовых максимумов рекомендуется принимать $v_{w1} = 0,25$, для N – летних максимумов [8]

$$v_{wN} = v_{w1} / (1 + 0,78 v_{w1} \ln N). \quad (12)$$

Заключение

Основой прогнозирования расчетных значений скорости ветра и ветрового давления могут быть не только статистические опытные данные, но и положения норм проектирования. Расчетные значения ветрового давления с разной обеспеченностью можно определять по формуле (11).

Приведенные в статье данные могут быть основой нормирования ветровой нагрузки для вероятностного проектирования сооружений.

Библиографический список

1. Знаменский, Е.М. О расчете конструкций с заданным уровнем надежности / Е.М. Знаменский, Ю.Д. Сухов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1987. – №2. – С. 7 – 9.
2. Ржаницын, А. Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А. Р. Ржаницын – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
3. JCSS Probabilistic Model Code, Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001. Режим доступа: www.jcss.byg.dtn.dk
4. Райзер, В. Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций / В.Д. Райзер. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.
5. ГОСТ Р 54257-2010. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения и требования. – Введ. 2011-09-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 20 с.
6. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. – М.: Стройиздат, 1978. – 224 с.
7. Краснощеков, Ю.В. Вероятностные основы расчета конструкций. Надёжность строительных конструкций / Ю.В. Краснощеков. – Palmarium academic publishing, 2014. – 234 с.
8. Райзер, В.Д. Теория надёжности сооружений / В.Д. Райзер – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 384 с.

THE CALCULATED VALUES OF WIND LOAD WITH A GIVEN PROBABILITY

Y. V. Krasnoschekov, M. Y. Zapoleva

Abstract. The authors analyze probabilistic models of a static component of wind load and compare the calculated values obtained for each of the models with different "urgent" probability. The authors conclude that the probability of wind load's normative values of the limiting state's method corresponds to 5 - year period, and the calculated

values - to 50 - year old. There are presented tables with the calculated values of wind load for all wind areas that are handy in designing high buildings.

Keywords: reliability; wind load; probabilistic models; probability of calculated values.

References

1. Znamenskiy E.M., Suhov Y.D. O raschete konstrukcij s zadannym urovnem nadezhnosti [On the calculation of structures with a given level of reliability]. *Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij*, 1987, no 2. pp. 7 – 9.
2. Rzhaničyn A. R. Teorija rascheta stroitel'nyh konstrukcij na nadezhnost' [The theory of calculating building structures for reliability]. Moscow, Strojizdat, 1978. 239 p.
3. JCSS Probabilistic Model Code, Zurich: Joint Committee on Structural Safety, 2001. Available at: www.jcss.byg.dtn.dk.
4. Rajzer V.D. *Raschet i normirovanie nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij* [Calculation and regulation of reliability of building structures]. Moscow, Strojizdat, 1995. 352 p.
5. GOST R 54257-2010. Nadjozhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij. Osnovnye položeniya i trebovaniya [State-standard 54257-2010. Reliability of building structures and foundations. Provisions and requirements]. Vved. 2011-09-01. Moscow, Standartinform, 2011. 20 p.
6. *Rukovodstvo po raschetu zdaniy i sooruzhenij na dejstvie vetra* [Handbook on the calculation of buildings and structures which are under the wind's action]. Moscow, Strojizdat, 1978. 224 p.
7. Krasnoschekov Y.V. Probabilistic bases of calculating structures. Reliability of building structures. Palmarium academic publishing, 2014. – 234 p.
8. Raizer V.D. *Teorija nadozhnosti sooruzhenij* [Theory of structures' reliability]. Moscow, Izd-vo ASV, 2010. 384 p.

Краснощеков Юрий Васильевич (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Строительные конструкции», ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

Заполева Мария Юрьевна (Россия, г. Омск) – инженер-конструктор, ОАО СМУ №175 «Радиострой». (644082, г. Омск, ул. Энгельса, 1, e-mail: m18kras@spartak.ru).

Krasnoschekov Yuriy Vasilievich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department "Building constructios", The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: uv1942@mail.ru).

Zapoleva Maria Yurievna (Russian Federation, Omsk) – design engineer, ОАО SMU No. 175 "Radiostroy". (644082, Omsk, 1 Engels st., e-mail: m18kras@spartak.ru).