

УДК 624.046.5:624.042.41

В.В. Тур, В.В. Надольский, А.В. Черноиван

*Брестский государственный технический университет, г. Брест,
Республика Беларусь*

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ СКОРОСТИ ВЕТРА ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В статье отражены современные подходы к вероятностному описанию ветрового воздействия с учетом европейских тенденций. Описана процедура обработки первичной выборки эмпирических данных скорости ветра. Указаны основные факторы, которые влияют на однородность микрометеорологического ряда. Уточнены статистические параметры скорости ветра для вероятностного описания ветрового воздействия для климатических условий Республики Беларусь. На основании выполненного исследования рекомендованы статистические параметры скорости ветра для вероятностного расчета.

Введение.

Вероятностные модели базисных переменных, принятые в различных исследованиях, зачастую отличаются друг от друга. Исследования надежности, основанные на разных вероятностных моделях, могут привести к несопоставимым результатам. «Используя откалиброванные значения надежности, необходимо помнить, что они относятся к специфическому набору конструктивных и вероятностных моделей. Использование откалиброванных величин совместно с другими моделями может привести к непреднамеренному высокому или низкому уровням надежности» [1, Е.4.3]. Поэтому формирование

единых подходов к назначению вероятностных моделей базисных переменных является важной задачей.

В статье представлены статистические параметры скорости ветра для климатических условий Республики Беларуси. Вероятностная модель ветрового воздействия разработана на основании рекомендаций JCSS Probabilistic Model Code [2] применительно к модели, регламентированной в ТКП EN 1991-1-4 [3].

Общие подходы к вероятностному моделированию ветрового воздействия.

Параметры расчетных моделей ветрового воздействия характеризуются неопределенностями вследствие географической, климатической изменчивости, недостаточности знаний о физической сущности процессов, погрешности измерений и т.д. Наличие вероятностной модели ветрового воздействия позволяет выполнять расчеты надежности строительных конструкций, причем ее точность и адекватность в ряде случаев оказывает доминирующее влияние на результаты расчетов.

Обобщенная модель ветрового воздействия, применяемая при расчетах конструкций, нечувствительных к динамическим эффектам, может быть принята на основании рекомендаций JCSS Model Code [2] в виде:

$$w = c_p \cdot c_g(z) \cdot c_r(z)^2 \cdot q_b, \quad (1)$$

где c_p – аэродинамический коэффициент;

$c_g = 1 + 7I_v(z)$ – коэффициент порывистости, зависящий от интенсивности турбулентности I_v ;

c_r – коэффициент, учитывающий тип местности;

c_d – динамический коэффициент;

q_b – базовое значение скоростного напора ветра, определяемое по формуле:

$$q_b = 1/2 \rho \cdot v_b^2, \quad (2)$$

здесь ρ – плотность воздуха, при стандартных условиях равная $1,25 \text{ кг/м}^3$;

v_b – базовое значение скорости ветра.

Для вероятностного описания ветрового воздействия необходимо установить закон распределения и статистические параметры базисных переменных, входящих в модель. В настоящей статье рассмотрены статистические параметры базовых значений скорости ветра v_b [3].

Закон распределения назначается на основании экспериментальных данных. Однако эти данные часто недоступны или ограничены, что не позволяет получить достоверные результаты, поэтому при выборе закона распределения дополнительно используют аналитические закономерности. Общие рекомендации, относящиеся к выбору подходящих законов распределения базисных переменных, нормативно закреплены в документах [1, 4]. Вероятностное моделирование скорости ветра, как правило, выполняют с использованием распределения Вейбулла [5] с масштабным параметром $k \approx 2$. Однако при анализе надежности строительных конструкций для ветровой нагрузки достаточно точной и наиболее распространенной является вероятностная модель последовательности месячных (для определения сопутствующего воздействия в сочетаниях) и годовых (для определения доминирующего воздействия в сочетаниях) максимумов ветровой нагрузки. Данная предпосылка позволяет перейти от вероятностного (*статистического*) описания *случайного процесса* к описанию *случайной величины*. Для сглаживания статистического распределения месячных и годовых максимумов ветровой нагрузки наиболее часто применяют двойное экспоненциальное распределение Гумбеля.

При калибровках частных коэффициентов принято статистические параметры (среднее значение, коэффициент вариации) устанавливать по доступной, и, как правило, ограниченной выборке данных. Теоретическое распределение существенно отклоняется от опытных данных в области весьма малых значений вероятностей (на т.н. «хвостах» распределений). Так, для климатических воздействий, данное несоответствие может быть устранено

посредством оценивания распределения не по всей выборке, а по «хвостовой» области эмпирических данных [6]. Такое статистическое оценивание позволяет существенно повысить адекватность получаемых результатов при нормировании характеристических значений переменных воздействий, соответствующих квантилю 0,98 [4]. Однако в силу отсутствия эмпирических данных, дальнейшая экстраполяция распределения в «хвостовой» части, выполняемая при определении расчетных значений, соответствующих квантилям порядка 0,999 и выше, содержит существенные неопределенности.

Статистические параметры базисных переменных могут изменяться по ряду причин, что требует систематических и целенаправленных исследований.

Эмпирические данные скорости ветра.

Базовое значение скорости ветра v_b является случайной величиной, обладающей значительной изменчивостью; вместе с этим данная величина сильно автокоррелирована. Однако переход на восьмисрочные наблюдения, проводимые на метеорологических станциях и постах через каждые три часа, позволяет относить рассматриваемые процессы к статистически независимым для большинства практических задач.

Вместе с тем, базовое значение скорости ветра является функцией основного значения базовой скорости ветра $v_{b,0}$, численно равного средней скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с низкой растительностью (например, такой как трава) и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра [3].

Так как на метеостанциях зачастую не в полной мере выполняются условия, позволяющие точно зафиксировать основные значения базовой скорости ветра $v_{b,0}$, для получения достоверной информации о ветровых климатических условиях Республики Беларусь, а также выполнения корректного сравнительного анализа полученных результатов на всех станциях и постах РБ, используемые в расчетах параметры ветра были приведены к однородному *микрометеорологическому* ряду. Ряд данных о скоростях ветра принято называть *микрометеорологически однородным*, если все относящиеся к нему результаты наблюдений можно рассматривать как полученные в одинаковых или эквивалентных микрометеорологических условиях. Эти условия определяются следующими факторами [7]:

- высотой установки ветроприемника над поверхностью земли;
- фактической шероховатостью поверхности окружающей местности;
- временем осреднения скорости ветра;
- сроками и количеством наблюдений в сутки;
- изменением конструкции ветроизмерительных приборов.

Статистические параметры.

Результаты статистического оценивания систематических измерений годовых и месячных максимумов средних значений скорости ветра на 46

метеорологических станциях и постах Республики Беларусь за период 1966–2013 гг., официально предоставленных ГУ «Республиканский Гидрометеорологический центр» и приведенных к однородному микрометеорологическому ряду, представлены в таблице.

Для создания полной вероятностной модели ветрового воздействия необходимо оценить либо абсолютные значения статистических параметров (см. табл.), либо, что является более предпочтительным, отношения основных параметров функции распределения с характеристическим значением базисной переменной X_k , используемым при проектировании. Данное представление позволяет вычислять показатели надежности в безразмерных величинах. Учитывается, что характеристическое значение базовой скорости ветра соответствует квантилю 0,98 распределения Гумбеля. Отношение среднего $\mu_{v,z}$ к характеристическому значению зависит только от коэффициента вариации $V_{v,z}$ и может быть представлено в следующем виде:

$$\mu_{v,z}/X_k \approx 1/\left\{1 - V_{v,z} \cdot \left[0,45 + 0,78 \ln(-\ln(0,98))\right]\right\}, \quad (3)$$

Таблица – Результаты статистического оценивания $v_{b,0}$

Метеостанция	$\mu_{v,z}$	$V_{v,z}$	$\mu_{v,мес}$	$V_{v,мес}$	Метеостанция	$\mu_{v,z}$	$V_{v,z}$	$\mu_{v,мес}$	$V_{v,мес}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Барановичи	17,42	0,18	12,38	0,23	Кличев	17,85	0,17	12,62	0,24
Березинский заповедник	11,31	0,30	8,69	0,24	Костюковичи	16,77	0,21	12,46	0,21
Березено	12,48	0,32	8,70	0,29	Лельчицы	13,96	0,25	9,90	0,28
Бобруйск	15,81	0,16	11,37	0,21	Лепель	13,30	0,40	9,17	0,36
Борисов	11,98	0,21	9,41	0,20	Лида	13,94	0,20	10,53	0,24
Брагин	18,67	0,15	12,99	0,24	Лынтупы	11,42	0,16	8,72	0,21
Брест	12,25	0,15	8,98	0,22	Марьина Горка	16,42	0,25	11,75	0,29
Василевичи	13,02	0,21	9,25	0,26	Минск	14,29	0,18	10,76	0,24
Верхнедвинск	14,33	0,17	10,39	0,21	Могилев	19,69	0,18	14,22	0,21
Вилейка	12,81	0,36	9,16	0,36	Мозырь	16,67	0,30	10,17	0,34
Витебск	14,75	0,30	10,83	0,33	Новогрудок	18,62	0,14	13,20	0,21
Волковыск	16,67	0,13	12,19	0,22	Октябрь	15,73	0,20	11,31	0,23
Воложин	16,33	0,20	11,58	0,24	Орша	15,67	0,20	11,74	0,21
Высокое	13,46	0,27	9,34	0,28	Ошмяны	17,92	0,26	12,63	0,25
Ганцевичи	13,44	0,22	9,30	0,22	Пинск	15,73	0,31	11,38	0,38
Гомель	15,21	0,33	11,15	0,32	Полесская	18,44	0,20	12,92	0,26
Горки	17,54	0,12	13,48	0,19	Полоцк	13,33	0,22	9,53	0,26
Гродно	21,17	0,16	14,67	0,25	Пружаны	16,38	0,20	11,92	0,25
Докшицы	18,94	0,25	13,06	0,27	Сенно	13,31	0,27	9,90	0,30
Езерище	14,58	0,26	10,62	0,26	Славгород	18,46	0,19	12,97	0,25
Житковичи	12,15	0,27	9,04	0,24	Слуцк	18,21	0,14	13,20	0,22
Жлобин	13,00	0,25	9,48	0,30	Столбцы	13,17	0,30	9,47	0,35
Ивацевичи	12,60	0,25	9,09	0,26	Шарковщина	15,77	0,33	11,46	0,34

здесь $\mu_{v,z}$, $\mu_{v,мес}$ – среднее значение годовых и месячных максимумов скорости ветра соответственно;

$V_{v,г}$, $V_{v,мес}$ – коэффициент вариации годовых и месячных максимумов скорости ветра соответственно, определяемый как частное от деления стандартного отклонения и среднего значения скорости.

Заключение

Рассмотрена вероятностная модель ветрового воздействия на здания и сооружения, применяемая в расчетах надежности. На основании выполненного первичного анализа эмпирических данных с 46 метеорологических станций и постов Республики Беларусь за период 1966–2013 гг. получены статистические параметры скорости ветра для годовых и месячных максимумов. Полученные значения коэффициентов вариации годовых максимумов скорости ветра находятся в диапазоне 0.12–0.40, месячных максимумов – 0.19–0.38. В дальнейшем для полноценного анализа надежности необходимо дополнительно установить закон распределения и статистические параметры базисных переменных, входящих в модель ветрового воздействия, таких как аэродинамический коэффициент; коэффициент порывистости и т.д.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Надежность строительных конструкций. Общие принципы: СТБ ISO 2394-2007. Введ. 01.07.08. – Минск: Госстандарт Республики Беларусь, 2007. – 69 с.
2. JCSS Probabilistic Model Code //Joint Committee of Structural Safety[Electronic resource]. –2001. –Mode of access: <http://www.jcss.ethz.ch>. – Date of access: 15.01.2012.
3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия: ТКП EN 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 132 с
4. Еврокод. Основы проектирования конструкций: ТКП EN 1990-2011. Введ. 01.07.12. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2012. – 70 с.
5. Райзер, В.Д. Теория надежности в строительном проектировании / В.Д. Райзер. – М.: АСВ, 1998. – 304 с.
6. Тур, В.В. Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь / В.В.Тур, В.Е. Валуев, С.С. Дереченник, О.П. Мешик, И.С. Воскобойников // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 27–45.
7. Черноиван, А.В. Нормирование ветровой нагрузки на здания и сооружения для климатических условий Республики Беларусь: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01 / А.В. Черноиван. – Брест, 2012. – 179 л.

Сведения об авторах:

1. Тур Виктор Владимирович, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», заведующий кафедрой

технологии бетона и строительных материалов, д.т.н., профессор, Республика Беларусь, г. Брест, ул. Фруктовая, 47, tur.s320@mail.ru.

2. Надольский Виталий Валерьевич, Белорусский национальный технический университет, доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции», к.т.н., Республика Беларусь, 220013, г. Минск, проспект Независимости, д.65, nadolskivv@mail.ru.

3. Черноиван Анна Вячеславовна, Учреждение образования «Брестский государственный технический университет», заместитель декана строительного факультета, к.т.н., доцент, Республика Беларусь, г. Брест, ул. Московская, 267/6, кв. 14, bel_anna@list.ru.