

УДК 624.042.41(476)

**ОПЫТ НОРМИРОВАНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ
ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ:
ПРЕДЫСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ**

*канд. техн. наук, доц. В.В. НАДОЛЬСКИЙ;
канд. техн. наук, проф. Ю.С. МАРТЫНОВ; А.В. ОСИПЧИК
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Выполнен обзор и анализ исторического развития базовых положений нормирования ветровых нагрузок, начиная с первого издания СНиП (глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.) и заканчивая настоящим периодом (СНиП 2.01-07-85, изменение № 1). Рассмотрены теоретические положения ТКП EN 1991-1-4. На основе собранной авторами информации сопоставлены значения ветровых нагрузок согласно СНиП и ТКП EN. Сделан вывод, что ветровая нагрузка, определенная согласно СНиП, даже с учетом пульсационной составляющей, не достигает значений, установленных в ТКП EN. При сопоставлении не принимались во внимание геометрические параметры зданий и аэродинамические коэффициенты, что позволило упростить задачу. Для более точного сопоставления необходимо выполнить анализ ветровых нагрузок для реальных объектов с учетом всех факторов, влияющих на ветровую нагрузку.*

Ключевые слова: ветровая нагрузка, аэродинамические коэффициенты.

Введение. Создание системы частных коэффициентов в 1940-х годах послужило предпосылкой к разработке и развитию метода расчета строительных конструкций по предельным состояниям [1]. В то время еще не существовало единого нормативного документа, который бы комплексно регламентировал основные параметры, характеризующие все нагрузки и воздействия. Основными нормативными документами, описывающими эффекты воздействий, были ГОСТ 1645-42 «Расчет строительных конструкций. Нагрузка полезная», ОСТ 90058 «Нагрузка снеговая» и ГОСТ 1664-42 «Расчет строительных конструкций. Нагрузка ветровая».

С 1 января 1955 года вводится в действие первое издание СНиП, в составе которого появляется глава II «Нормы строительного проектирования», в ней – часть Б (глава II-Б.1 СНиП издания 1954 г.), в которой приводятся основные положения проектирования. В августе 1962 года на смену изданию 1954 года приходит глава СНиП II-А.11-62 «Нагрузки и воздействия». Далее, в феврале 1974 года, с утверждением главы СНиП II-6-74 «Нагрузки и воздействия» утрачивает силу глава СНиП II-А.11-62. До введения очередного СНиП 2.01-07-85* «Нагрузки и воздействия» в январе 1987 года предыдущее издание [2] претерпело многочисленные дополнения и изменения (дополнения и изменения от 25 декабря 1980 г. № 206 и от 14 октября 1981 г.). Версия СНиП 2.01-07-85* «Нагрузки и воздействия» уже в Беларуси претерпела одно изменение в июле 2004 года. От издания к изданию нормативные документы уточнялись и дополнялись с учетом актуальных вызовов своего времени и опыта проектирования.

В 2010 году в Республике Беларусь на альтернативной основе вводится Европейская система проектирования, изготовления и монтажа – Еврокоды. Таким образом, на рассматриваемом промежутке времени произошли изменения не только в связи с дополнением и уточнением изначально существующего подхода к определению нагрузок (СНиП), но и переходом к иной, отличающейся теоретическими положениями системе (Еврокод). Определение ветровых воздействий производят в соответствии с ТКП EN 1991-1-4 «Воздействие на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [3]. Насколько глобальными в конечном итоге оказались различия при определении ветровой нагрузки согласно СНиП и Еврокоду, рассмотрим в данной работе.

Ветровая нагрузка на сооружение представляет собой совокупность нормального давления, приложенного к его поверхности или элемента; сил трения, направленных по касательной к внешней поверхности и отнесенных к площади ее горизонтальной или вертикальной проекции; нормального давления, приложенного к внутренним поверхностям зданий с проницаемыми ограждениями, открывающимися или постоянно открытыми проемами.

В силу сложности модели ветрового воздействия и различных теоретических положений, принятых в СНиП и Еврокоде, сравнение ветровой нагрузки представляет собой сложную задачу. В данной работе в общем виде представлены положения определения ветрового воздействия в рамках системы СНиП и Еврокод. Акцент сделан на сравнительный обзор базовых величин (скорости и давления ветра).

Определение ветровой нагрузки согласно СНиП

В соответствии со СНиП 2.01.07-85* [4] ветровая нагрузка определяется как сумма средней и пульсационной составляющих. Нормативное значение ветрового давления w_0 следует принимать в зависимости от ветрового района по данным [4, таблица 5].

Для горных и малоизученных районов нормативное значение ветрового давления допускается определять по формуле:

$$w_0 = 0,61 \cdot v_0^2, \quad (1)$$

где v_0 – скорость ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующая 10-минутному интервалу осреднения и превышаемая в среднем раз в 5 лет.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли согласно [4, п. 6.3] определяют по формуле:

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c, \quad (2)$$

где k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте и определяемый согласно [4 п. 6.5]; c – аэродинамический коэффициент, определяемый в соответствии с пунктом 6.6 в [4].

Коэффициент k , учитывающий изменение ветрового давления по высоте, определяется согласно [4, таблица 6] в зависимости от типа местности. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии $30h$ при высоте сооружения h до 60 м и 2 км – при большей высоте.

Значения аэродинамических коэффициентов и схемы приложения ветровых воздействий в зависимости от геометрических характеристик сооружения приведены в [4, приложение 4].

Значения пульсационной составляющей ветровой нагрузки определяются в зависимости от конструктивных и динамических характеристик рассчитываемого здания или сооружения. При расчете многоэтажных зданий высотой до 40 м и одноэтажных производственных зданий высотой до 36 м при отношении высоты к пролету менее 1,5, и размещаемых в типах местности А и В, т.е. для достаточно жестких зданий и сооружений, пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать. Для указанных зданий и сооружений при сочетании ветровой нагрузки с другими кратковременными нагрузками и учете вероятности одновременного возникновения расчетных значений пульсации скоростного напора по поверхности сооружения (пространственной корреляции) вклад динамической составляющей ветровой нагрузки мал по сравнению с суммарной расчетной нагрузкой на сооружение. Для сооружений, имеющих густой спектр собственных частот колебаний, должны учитываться как вклады самих собственных форм колебаний, так и вклады взаимных корреляций между формами.

Согласно главе II-Б.1 СНиП издания 1954 года [5] вся территория современной Беларуси входила в 1-й географический район и характеризовалась скоростным напором ветра 30 кг/м^2 на высоте до 10 м (таблица 1).

Таблица 1. – Скоростные напоры ветра на высоте до 10 м над поверхностью земли

Год	СНиП	Районы	Нормативный скоростной напор ветра в кгс/м^2
1954	СНиП II-Б.1	I	30
1962	СНиП II-А.11-62	I	27
		II	35
1974	СНиП II-6-74	I	27
1985	СНиП 2.01-07-85	Ia	17
		I	23

В главе СНиП II-А.11-62 [6] произошли изменения в представлении ветровой нагрузки, а именно введено районирование территории по скоростным напорам ветра. Территория Республики Беларусь представлена I и II районами соответственно со следующими значениями скоростных напоров ветра 27 и 35 кг/м^2 на высоте до 10 м. В пришедшей на смену главе СНиП II-6-74 [7] было пересмотрено районирование территорий по скоростным напорам ветра, и территория Беларуси полностью оказалась в I районе, которому соответствовало значение скоростного напора ветра 27 кг/м^2 на высоте до 10 м.

В СНиП 2.01-07-85* [4] снова были пересмотрены ветровые районы и Беларусь вошла в районы Ia и I соответственно со значениями скоростных напоров ветра 17 и 23 кг/м^2 на высоте до 10 м (рисунок 1).

В силу особенностей распределения ветровой нагрузки в зависимости от высоты приложения и типа местности необходимо обратить внимание на коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности. В частности, в первой редакции СНиП [5] эти коэффициенты четко не оговаривались, учитывались интегрально в ветровых напорах для высот до 10, 20 и 100 м. На основании этих значений авторами вычислен поправочный коэффициент (таблица 2).

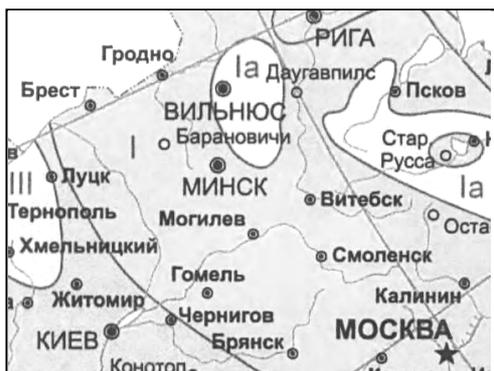


Рисунок 1. – Районирование территории Республики Беларусь по скоростным напорам ветра согласно [5]

Таблица 2. – Поправочные коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора ветра для высот более 10 м согласно СНиП II-Б.1

Высота над поверхностью земли, м	до 10	20	100
Поправочный коэффициент	1,0	1,33	3,33

В главе СНиП II-А.11-62 [6] введена дифференциация величины значения скоростного напора ветра посредством поправочных коэффициентов на изменение скоростных напоров ветра для высот более 10 м.

Таблица 3. – Поправочные коэффициенты на возрастание скоростных напоров ветра для высот более 10 м согласно СНиП II-А.11-62

Высота над поверхностью земли, м	до 10	20	40	100	350 и выше
Поправочный коэффициент	1,0	1,35	1,8	2,2	3,0

Для промежуточных высот значение поправочных коэффициентов определяется линейной интерполяцией. Для каждой зоны высотой не более 10 м поправочный коэффициент допускалось принимать постоянным и равным значению в средней точке зоны.

В последующей редакции СНиП II-6-74 [7] была введена дифференциация коэффициентов в зависимости от типа местности (таблица 4).

Таблица 4. – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности согласно СНиП II-6-74

Высота над поверхностью земли, м	Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности	
	А	Б
10	1	0,65
20	1,25	0,9
40	1,55	1,2
60	1,75	1,45
100	2,1	1,8
200	2,6	2,45
350 и выше	3,1	3,1

Примечания: 1. К типу А относятся открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ).
2. К типу Б относятся города с окраинами, лесные массивы и тому подобные местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м.

В главе СНиП II-6-74 в части дополнения и изменения от 25 декабря 1980 г. № 206 [2] установлены три типа местности вместо двух и пересмотрена таблица коэффициентов, учитывающих изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности, и интерпретация типов местностей (см. таблицу 5). В СНиП 2.01-07-85* [4] в очередной раз была пересмотрена таблица коэффициентов,

учитывающих изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности, и интерпретация типов местностей (таблица 6).

Таблица 5. – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности согласно СНиП II-6-74 (изм. от 25 декабря 1980 г. № 206)

Высота над поверхностью земли, м	Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности		
	А	Б	В
10	1	0,65	0,3
20	1,25	0,9	0,5
30	1,40	1,05	0,63
40	1,55	1,2	0,75
50	1,65	1,33	0,87
60	1,75	1,45	1
70	1,85	1,55	1,1
80	1,95	1,65	1,2
100	2,1	1,8	1,4
200	2,6	2,45	2,2
350 и выше	3,1	3,1	3,1

Примечания: 1. К типу А относятся открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ).
2. К типу Б относятся территории малых и средних городов, территории больших, крупных и крупнейших городов, застроенные зданиями высотой до 20 м, леса.
3. К типу В относятся территории больших, крупных и крупнейших городов, застроенные зданиями высотой свыше 20 м. Для зданий высотой до 40 м, расположенных в местности типа В и рассчитываемых только на статическую составляющую ветровой нагрузки, значения коэффициента, учитывающего изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности, следует умножить на дополнительные коэффициенты 1,7 (при высоте зданий до 20 м) и 1,6 (при высоте свыше 20 м).

Таблица 6. – Коэффициенты, учитывающие изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности

Высота над поверхностью земли, м	Коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности		
	А	В	С
≤ 5	0,75	0,5	0,4
10	1,0	0,65	0,4
20	1,25	0,85	0,55
40	1,5	1,1	0,8
60	1,7	1,3	1,0
80	1,85	1,45	1,15
100	2,0	1,6	1,25
150	2,25	1,9	1,55
200	2,45	2,1	1,8
250	2,65	2,3	2,0
300	2,75	2,5	2,2
350	2,75	2,75	2,35
≥ 450	2,75	2,75	2,75

Примечание: А – открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра. В – городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м. С – городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м.

Принцип определения нормативного значения ветрового давления на основе метеорологических наблюдений также претерпел изменения (таблица 7). Значения частных коэффициентов надежности по ветровой нагрузке пересматривались в сторону увеличения, а в СНиП II-A.11-62 [6] и СНиП II-6-74 [8] была предусмотрена дифференциация коэффициента в зависимости от типа сооружения (таблица 8).

Таблица 7. – Принцип определения нормативного значения ветрового давления

Издание нормативного документа «Нагрузки и воздействия»	Принцип определения нормативного значения ветрового давления
Глава II-Б.1 СНИП издания 1954 г.	Нормативное значение ветрового давления, соответствующее наибольшей скорости ветра, принимаемой по данным метеорологических наблюдений
Глава СНИП II-А.11-62	Нормативное значение ветрового давления, превышаемое в среднем раз в 5 лет для длительного интервала наблюдений
Глава СНИП II-6-74	Нормативное значение ветрового давления на уровне 10 м над поверхностью земли при двухминутном интервале осреднения и превышаемое в среднем раз в 5 лет
СНИП 2.01-07-85	Нормативное значение ветрового давления на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения и превышаемое в среднем раз в 5 лет

Таблица 8. – Значения частных коэффициентов надежности по ветровой нагрузке

Издание нормативного документа «Нагрузки и воздействия»	Значение частного коэффициента для жилых, общественных, промышленных и сельскохозяйственных зданий и сооружений	Значение частного коэффициента для высоких сооружений, при расчете которых ветровая нагрузка имеет решающее значение (башни, градирни и т.п. сооружения)
Глава II-Б.1 СНИП издания 1954 г.	1,2	1,2
Глава СНИП II-А.11-62	1,2	1,3
Глава СНИП II-6-74	1,2	1,3
СНИП 2.01-07-85	1,4	1,4

Методика составления сочетаний нагрузок в СНИП 2.01-07-85* [5] описана пунктами 1.10–1.13 в [5], которые можно представить в виде следующих выражений:

$$\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_i + Q_i \cdot \gamma_i; \quad (3)$$

$$v_0 \sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_i + \sum_{i \geq 1} Q_i \cdot \gamma_i \cdot \psi_i. \quad (4)$$

Символы G , Q обозначают нормативные значения постоянной и переменной нагрузок назначенные согласно [4]. Менее благоприятное усилие из (3) и (4) принимается для дальнейших расчётов.

В самой первой редакции СНИП (глава II-Б.1 СНИП издания 1954 г.) ветровая нагрузка не рассматривалась в сочетании с постоянными нагрузками при отсутствии других переменных нагрузок. В последующих редакциях СНИП значение коэффициента сочетаний при учете одной временной нагрузки принималось равным 1,0, а в сочетании двух и более временных нагрузок – 0,9.

Определение ветровой нагрузки согласно ТКП EN

Первый шаг в определении ветрового воздействия – вычисление базового значения скорости ветра v_b согласно пункту 4.2 в [2]:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}, \quad (5)$$

где $v_{b,0}$ – основное значение базовой скорости ветра, равное характеристическому значению средней скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли для открытого типа местности с низкой растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра; c_{dir} – коэффициент, учитывающий направление ветра; c_{season} – сезонный коэффициент.

Основные значения базовой скорости ветра для территории Республики Беларусь представлены на карте ветровых районов в национальном приложении НП.2.2 [3]. Согласно этой карте на территории Беларуси доминируют два ветровых района с основными значениями базовой скорости ветра 21 м/с и 23 м/с (рисунок 2).

Базовое значение скорости ветра назначено исходя из условия, что вероятность превышения составляет 0,02 для периода повторяемости 1 год, что соответствует среднему периоду повторяемости 50 лет.

Средняя скорость $v_m(z)$ зависит от шероховатости местности, орографии и базового значения скорости ветра v_b :

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b. \quad (6)$$

В формуле (6) $v_{b,0}c_r(z)$ – коэффициент, учитывающий тип местности в соответствии с пунктом 4.3.2 в [8]; $c_0(z)$ – орографический коэффициент, принимаемый согласно [3, пункт 4.3.3].

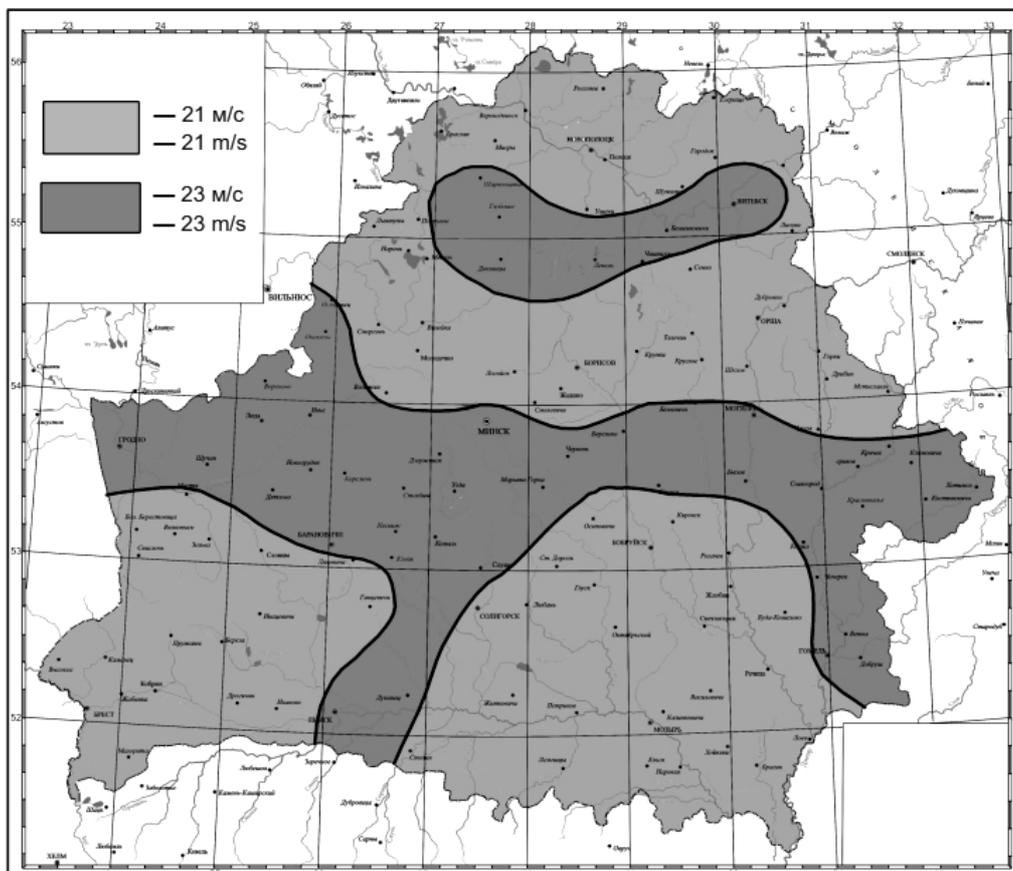


Рисунок 2. – Карта ветровых районов и соответствующие им основные значения базовой скорости ветра

В [3] принято пять типов местности: 0, I, II, III, IV, с соответствующими параметрами шероховатости. Сооружение принадлежит к определенному типу местности, если расстояние с наветренной стороны с постоянной шероховатостью местности имеет величину, достаточную для образования стабильного профиля скорости ветра.

Коэффициент $c_r(z)$ фактически учитывает изменчивость средней скорости ветра $v_m(z)$ в месте расположения сооружения в зависимости от таких параметров, как: высота над уровнем земли; шероховатость местности с наветренной стороны сооружения для рассматриваемого направления ветра.

Таким образом, коэффициент $c_r(z)$ равен

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ для } z_{\min} \leq z < z_{\max}; \quad (7)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \text{ для } z \leq z_{\min}. \quad (8)$$

Здесь z_0 – параметр шероховатости согласно [3, таблица 4.1]; k_r – коэффициент местности, зависящий от параметра шероховатости z_0 , который можно определить по следующей формуле:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}}\right)^{0,07}, \quad (9)$$

где $z_{0,ji}$ – $z_{0,II}$ 0,05 м (тип местности II, [3, таблица 4.1]); z_{\min} – минимальная высота [3, таблица 4.1], z_{\max} составляет 200 м.

Орографический коэффициент $c_0(z)$ применяется в случаях, когда орография (горы, утесы и т.п.) повышает скорость ветра более чем на 5%. Рекомендуемый метод определения значения орографического коэффициента $c_0(z)$ указан в [3, приложение А.3]. Однако влиянием орографии можно пренебречь, если средний уклон местности с наветренной стороны менее 3° . Величина учитываемого расстояния с наветренной стороны должна превышать 10-кратное значение высоты выступающего орографического элемента.

Согласно пункту 4.3.4 в [3] влияние более высоких близлежащих зданий на определение ветровых воздействий требуется учитывать, если рассчитываемое сооружение тесно примыкает к другому сооружению, высота которого не менее, чем в 2 раза, превышает высоту близлежащей застройки. Метод учета близлежащей застройки представлен в приложении А.4 в [3].

После определения средней скорости ветра $v_m(z)$ вычисляется интенсивность турбулентности согласно пункту 4.4 в [3]:

$$l_v(z) = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{для } z_{\min} \leq z < z_{\max}; \quad (10)$$

$$l_v(z) = l_v(z_{\min}) \quad \text{для } z \leq z_{\min}, \quad (11)$$

где k_i – коэффициент турбулентности. Значение коэффициента турбулентности указано в национальном приложении Н.П.2.14 [3], принимается 1,0.

Пиковое значение скоростного напора, включающее средние и кратковременные изменения (колебания) скорости, определяется согласно пункту 4.5 в [3] по формуле:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z), \quad (12)$$

где ρ – плотность воздуха, которая зависит от высоты над уровнем моря, температуры и барометрического давления. Величина плотности воздуха ρ указана в национальном приложении Н.П.2.16 [3] и изменяется без изменения $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$.

Расчет ветрового давления на поверхности осуществляется в соответствии с пунктом 5.2 в [3].

В EN 1990 [8] для сочетания нагрузок предложена схема сочетания с использованием двух выражений (6.10а) и (6.10б), переписав данные выражения для принятых условий, получим следующие формулы:

$$\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \gamma_i + \sum_{i \geq 1} Q_i \cdot \gamma_i \cdot \psi_{0,1}^{(i)}; \quad (13)$$

$$\sum_{i \geq 1} G_i \cdot \xi \cdot \gamma_i + Q_i \cdot \gamma_i + \sum_{j > 1, i \neq j} Q_j \cdot \gamma_j \cdot \psi_{0,1}. \quad (14)$$

Менее благоприятное усилие из (13) и (14) принимается для дальнейших расчётов. В формулах (13) и (14) G_k , Q_k – характеристические значения постоянной и переменной нагрузок; γ_G и ξ – коэффициенты, равные 1,35 и 0,85 соответственно; γ_Q – частный коэффициент для ветрового воздействия, составляющий 1,5; ψ_0 – коэффициент сочетаний для ветровой нагрузки, равный 0,6.

Анализ значений коэффициента, учитывающего изменение средней скорости ветра от высоты и типа местности

На основе предположения, что типы местности А, В, С [9] соответствуют типам местности II, III, IV [3], вычислим значения коэффициента, учитывающего изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты и типа местности для [3], результаты представим в виде графика (рисунок 3).

Из графика следует, что кривые зависимости коэффициента, учитывающего изменение средней скорости ветра исходя из высоты и типа местности, существенно различаются. При этом значения коэффициентов, вычисленных согласно СНиП, а также их зависимость от высоты намного значительнее по сравнению с аналогичными, вычисленными согласно Еврокоду. Отметим, что в процессе исторического развития СНиПов имела место тенденция к уменьшению значений рассматриваемого коэффициента.

Анализ значений ветровой нагрузки, определенной согласно СНиП и Еврокоду

Для сравнения значений ветровой нагрузки приняты следующие начальные условия и допущения:

- ветровой район I (характерен для большей части территории Республики Беларусь) при определении ветровой нагрузки согласно СНиП [9];

- ветровые районы с базовыми скоростями ветра 21 и 23 м/с согласно ТКП EN [3];

- ветровые нагрузки определены для высоты 10 м над уровнем поверхности земли;

- сравнения выполнены без учета аэродинамических коэффициентов;

- предполагается, что типы местности А, В, С [9] соответствуют типам местности II, III, IV [3].

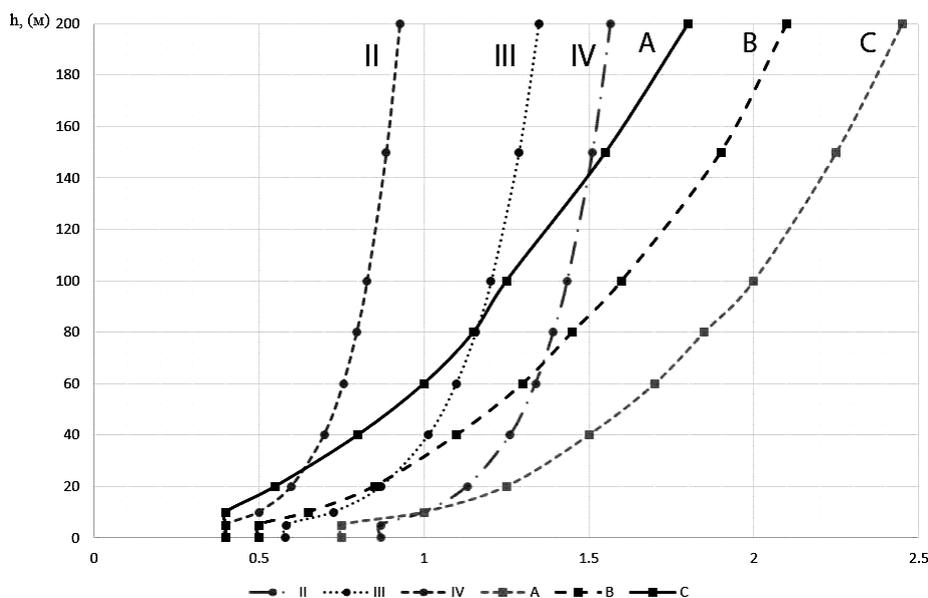


Рисунок 3. – Коэффициент, учитывающий изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты и типа местности

В СНиП нормируется давление ветра, а не скорость, как это предусмотрено в Еврокоде, поэтому значение скорости ветра на уровне 10 м над поверхностью земли пересчитано посредством формулы (1). При нормативном значении ветрового давления 0,23 кПа базовая скорость ветра составляет 19,42 м/с.

Приведем в соответствие ветровой нагрузке, определенной согласно СНиП с учетом пульсационной составляющей, пиковое значение скоростного напора, включающее средние и кратковременные изменения (колебания) скорости, и сведем результаты в таблицу 9. Пульсационная составляющая определена согласно [9, пункт 6.7а] без учета коэффициента пространственной корреляции пульсации давления ветра, так как согласно этому пункту ветровое давление определяется без учета сил инерции, что соответствует пиковому значению скоростного напора.

Ввиду принятых начальных условий и допущений пульсационная составляющая w_p определена следующим образом:

$$w_p = w_m \cdot \zeta. \quad (15)$$

Значения базовой скорости ветра согласно [3] были получены для значений $c_{dir} = 1$ (максимальное значение) и $c_{dir} = 0,71$ (минимальное значение).

Таблица 9. – Сравнение значений ветровых нагрузок

Типы местности	СНиП [9]	ТКП EN 1991-1-4 [3]			
Основное значение базовой скорости ветра, м/с					
	19,42	21		23	
Базовое значение скорости ветра, м/с					
	19,42	21	14,91	23	16,33
Средняя скорость ветра для типов местности по СНиП и Еврокод, м/с					
A/II	19,42	21,14	15,01	23,15	16,44
B/III	15,66	15,86	11,26	17,37	12,33
C/IV	12,28	11,33	8,04	12,41	8,81
Ветровое давление, учитывающее среднюю и пульсационную составляющую, согласно СНиП [9] и пиковое значение скоростного напора согласно [3], кПа					
A/II	0,40	0,65	0,33	0,78	0,39
B/III	0,31	0,47	0,24	0,57	0,29
C/IV	0,25	0,32	0,16	0,39	0,20

Значение ветрового давления, определенное согласно СНиП [9] с учетом пульсационной составляющей, находится в границах пиковых значений скоростных напоров, определенных согласно ТКП EN [3]:

при основном значении базовой скорости ветра 21 м/с значение ветрового давления находится в середине интервала распределения значений, а при основном значении базовой скорости ветра 23 м/с оно стремится к минимальному значению интервала распределения значений для районов II, III, IV.

Заключение. Параметры ветровой нагрузки претерпели значительные изменения с момента введения первой редакции СНиП [5]. Можно отметить следующие основные изменения: а) снижение значения нормативного скоростного напора (от 30 до 23 кг/м²); б) введение новых ветровых районов и корректировка их границ; в) учет изменчивости скоростного напора ветра в зависимости от высоты и типа местности; г) снижение значений коэффициентов учета скоростного напора в зависимости от высоты и типа местности; д) изменение интерпретации (определения) типов местности; е) увеличение значения частного коэффициента надежности по ветровой нагрузке (от 1,2 до 1,4) и исключение дифференциации значений частных коэффициентов для различных типов сооружений.

Анализируя последнюю редакцию СНиП 2.01.07-85* с изм. 1 [9] и ТКП EN 1991-1-4 [3], можно отметить существенные различия в моделях ветрового воздействия. Они касаются: а) определения и значений базовой скорости ветра; б) частных коэффициентов; в) коэффициентов сочетаний; г) коэффициентов, учитывающих изменение средней скорости ветра в зависимости от высоты и типа местности; д) учета внутреннего давления; е) схем распределения ветровой нагрузки по ограждающим конструкциям здания; ж) подходов к учету пульсационной и динамической составляющих ветровой нагрузки.

Следует отметить также, что согласно ТКП EN [3] пиковое значение скоростного напора всегда учитывает порывы ветра, в то время как в СНиП [4] при определенных условиях допускается вычислять ветровую нагрузку только от средней составляющей скорости ветра, что приводит к существенной разнице значений ветровой нагрузки.

Относительно принципа определения нормативного значения ветрового давления, то согласно СНиП 2.01-07-85* [4] за нормативное значение принимается ветровое давление на уровне 10 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующее 10-минутному интервалу осреднения и превышаемое в среднем один раз в 5 лет. Согласно ТКП EN [3] нормирование основного значения базовой скорости ветра аналогично СНиП [4], за исключением лишь периода повторяемости – 50 лет для ТКП EN [3]. Это предполагает различные степени уровней обеспеченности значений ветровой нагрузки, по этой причине их прямое сравнение некорректно. Согласно австралийским [10; 11], канадским [12] и американским нормам [13] принцип определения значения ветрового давления идентичен принятому в СНиП [4], за исключением периода повторяемости и интервала осреднения. Согласно нормам [10–13] период повторяемости принят равным 50 лет, а период осреднения 3 секунды. Меньший период осреднения объясняется географическим расположением территорий, для которых характерны погодные условия с сильным порывистым ветром.

Ввиду широкого ряда отличий в моделях ветровой нагрузки, принятых в СНиП [4] и ТКП EN [3], их сравнение и анализ является достаточно сложной задачей. Со всеми принятыми в данной работе условиями и допущениями ветровая нагрузка, определенная согласно СНиП [4], при учете пульсационной составляющей оказалась сопоставимой с нагрузкой, определенной согласно ТКП EN [3], только при минимальном значении коэффициента c_{dir} .

Использование методики определения ветровой нагрузки согласно ТКП EN [3] приводит к повышению ветрового давления (напора) на 12...37,5% по сравнению с вычисленным по методике СНиП [4]. Более объективное сопоставление необходимо производить на основе данных для реальных объектов проектирования для каждого типа местности с учетом аэродинамических коэффициентов. Подобное сравнение выполнено для железобетонных зданий [14].

Таким образом, существенное отличие в моделях и разбросе значений ветрового воздействия требует дальнейшего тщательного анализа этих моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Расчет строительных конструкций по предельным состояниям / В.А. Балдин, [и др.] ; под ред. В.М. Келдыша. – М. : Госстройиздат, 1951.
2. Дополнения и изменения № 206 (к СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия). – Введ. 25.12.1980. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1980.
3. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1-4. Общие воздействия. Ветровые воздействия : ТКП EN 1991-1-4-2009. – Введ. 01.01.2010. – Минск : М-во архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 132 с.
4. Нагрузки и воздействия : СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.01.87. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.
5. Нормы строительного проектирования : СНиП II-Б.1. – Введ. 01.01.1955. – М. : Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1954.

6. Нагрузки и воздействия: СНиП II-A.И-62. – Введ. 01.01.1963. – М. : Гос. изд-во лит. по стр-ву, архитектуре и строительным материалам, 1962.
7. Нагрузки и воздействия: СНиП II-6-74. – Введ. 01.09.74. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1976.
8. Еврокод. Основы проектирования строительных конструкций: ТКП EN 1990-2011. – Введ. 01.07.2012. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2011. – 96 с.
9. Изменение № 1 (к СНиП 2.01-07-85. Нагрузки и воздействия). – Введ. 01.07.2004. – Минск : М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2005. – 5 с.
10. Structural design actions. – Part 0: General principles [By Authority of New Zealand Structure Verification Method B1/VM1]: AS/NZS 1170.0:2002 General principles : approved on behalf of the Council of Standards Australia on 29 March 2002 and on behalf of the Council of Standards New Zealand on 28 March 2002. – Standards Australia Limited/Standards New Zealand, 2002.
11. Structural design actions. – Part 2: Wind actions: AS/NZS 1170.2:2011 Wind actions : approved on behalf of the Council of Standards Australia on 23 November 2010 and on behalf of the Council of Standards New Zealand on 10 December 2010. – Standards Australia Limited/Standards New Zealand, 2011.
12. Limit States Design of Steel Structures: CAN/CSA-S16-01. – Ontario : Standards Council of Canada, 2001. – 162 p.
13. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures: ASCE/SEI 7-05. – Reston : American Society of Civil Engineers, 2006.
14. Тур, В.В. Сравнительный анализ моделей ветровых воздействий на здания и сооружения / В.В. Тур, А.В. Черноиван // Проблемы современного бетона и железобетона. – Вып. 4. – 2012.

Поступила 11.06.2019

**PRACTICE OF A WIND LOAD STANDARDIZATION
FOR THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS:
BACKGROUND AND CURRENT STATE**

V. NADOLSKI, Yu. MARTYNOV, A. OSIPCHIK

*This article provides an overview and analysis of the historical development of the basic provisions of wind load rationing from the first edition of the SNIIP (chapter II-B.1 of the SNIIP of 1954) to the current period (SNIIP 2.01-07-85 * change No. 1), also presented the theoretical provisions of the EN 1991-1-4. Based on the information collected, a comparison of wind loads determined according to SNIIP and EN 1991-1-4 has been made. Wind load, determined according to SNIIP, even if the pulsation component is taken into account, does not reach wind load values, determined according to EN 1991-1-4. When comparing, the geometrical parameters of buildings and aerodynamic coefficients were not taken into account, which allowed to simplify the task and reduce the complexity, however, for a more accurate and reliable comparison it is necessary to analyze wind loads with their account.*

Keywords: wind load, aerodynamic coefficients.