

DOI 10.15826/rjctst.2023.2.002

УДК 629.5.017.12

*Д. А. Кононов*¹, *Е. В. Карлова*², *З. В. Беляева*³
^{1,2,3} Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург, Россия
e-mail: ¹ disarer1998@mail.ru, ³ z.v.beliaeva@urfu.ru
ORCID: ³ <https://orcid.org/0000-0001-7807-7102>

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА РЕШЕТЧАТЫЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы определения ветровой нагрузки на решетчатые пространственные конструкции. Проанализированы положения российских норм, действующих в сфере строительства, электроустановок и машиностроения, а также европейских норм, в части нормирования ветровых нагрузок, назначения аэродинамических коэффициентов и рекомендаций по переходу от ветрового давления к нагрузкам на решетчатые конструкции. Выявлено, что есть значительные расхождения в нормировании ветровых нагрузок в российских нормах в сфере строительства и в сфере электроустановок; в нормах в области машиностроения более точные указания по назначению аэродинамических коэффициентов лобового сопротивления для стержней профильного сечения, чем в нормах в строительной области. Показано, что методика определения ветровой нагрузки на решетчатые конструкции в основном ориентирована на использование упрощенных расчетных схем и требует доработки для применения при использовании пространственных расчетных схем.

Ключевые слова: ветровая нагрузка, решетчатая пространственная конструкция, коэффициент лобового сопротивления, грузовая площадь.

Для цитирования: *Кононов Д. А., Карлова Е. В., Беляева З. В.* Некоторые проблемы определения ветровой нагрузки на решетчатые пространственные конструкции // Russian Journal of Construction Science and Technology. – 2023 – Т. 9. – № 2. – 0902002. – DOI 10.15826/rjctst.2023.2.002.

*D. A. Kononov*¹, *E. V. Karlova*², *Z. V. Belyaeva*³
^{1,2,3} Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia
e-mail: ¹ disarer1998@mail.ru, ³ z.v.beliaeva@urfu.ru
ORCID: ³ <https://orcid.org/0000-0001-7807-7102>

SOME PROBLEMS OF DETERMINING THE WIND LOAD ON LATTICE SPATIAL STRUCTURES

Abstract: The article discusses the problems of determining the wind load on lattice spatial structures. The provisions of Russian standards in the field of construction, electrical installations and mechanical engineering, as well as European standards, regarding the regulation of wind loads, the assignment of aerodynamic coefficients and recommendations for the transition from wind pressure to loads on lattice structures are analyzed. It was revealed that there are significant differences in the regulation of wind loads in Russian standards in the field of construction and in the field of electrical installations; The standards in the field of mechanical engineering have more precise instructions on the assignment of aerodynamic drag coeffi-

cients for profile-section rods than the standards in the construction field. It is shown that the methodology for determining the wind load on lattice structures is mainly focused on the use of simplified design schemes and requires improvement for use of spatial design schemes.

Key words: wind load, lattice spatial structure, aerodynamic drag coefficient, reference area.

For citation: Kononov D. A., Karlova E. V., Belyaeva Z. V. (2023) Some problems of determining the wind load on lattice spatial structures. *Russian Journal of Construction Science and Technology*. 9(2). 0902002. (In Russ.) DOI 10.15826/rjct.2023.2.002.

1. Введение

В настоящее время решетчатые конструкции являются одними из самых востребованных, они применяются в опорах линий электропередач, сотовой связи, буровых вышках, мачтах освещения, временных монтажных опорах, опорах дымовых труб и т. д. При большой высоте решетчатых конструкций наибольшие усилия в них возникают, как правило, от ветровых нагрузок, что обусловлено несколькими причинами:

- высота значительно превосходит размеры в плане;
- расположение на открытой местности;
- данные конструкции состоят из элементов прокатного сечения, часто имеющих угловатую, незамкнутую форму и, как следствие, высокий коэффициент лобового сопротивления.

Ветровая нагрузка является достаточно сложным видом воздействия на здание и сооружение, характер и величина которого во многом зависят от формы и характеристик самого здания. В российских и зарубежных нормах проектирования принято с некоторой степенью условности ветровую нагрузку вычислять через две составляющие – статическую и пульсационную, где статическая составляющая учитывает преимущественно только форму здания, а пульсационная зависит от статической составляющей, а также от динамических характеристик здания.

2. Проблемы, возникающие при определении ветровой нагрузки на решетчатые конструкции

При определении статической составляющей ветровых нагрузок на решетчатые конструкции по существующим нормам проектирования возникает ряд вопросов и проблем. Ниже перечислены некоторые из них.

2.1. Расхождения в подходах к нормированию ветровой нагрузки

Расхождения по нормированию статической ветровой нагрузки (периода повторяемости, вертикального профиля ветра) при расчете по российским и зарубежным нормам достигают довольно значительного (до 50 %) расхождения значений усилий в элементах решетчатых конструкций [1, 2]. Что вызывает закономерные вопросы – в каких нормах ветровые нагрузки учитываются правильно и в каких из норм тогда есть недооценка ветровой нагрузки или наоборот, ветровая нагрузка прилично завышена?

Также есть различия и в подходе к нормированию ветрового давления в отдельных российских нормах, в частности, карты районирования территории России по давлению ветра, приведенные в СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [3] и Правилах устройства электроустановок [4], в некоторых местах сильно отличаются (рис. 1).

В связи с этим при проектировании опор линий электропередач (ЛЭП) возникают сложности при определении ветровых нагрузок. Линии электропередач, в том числе и опоры ЛЭП, должны

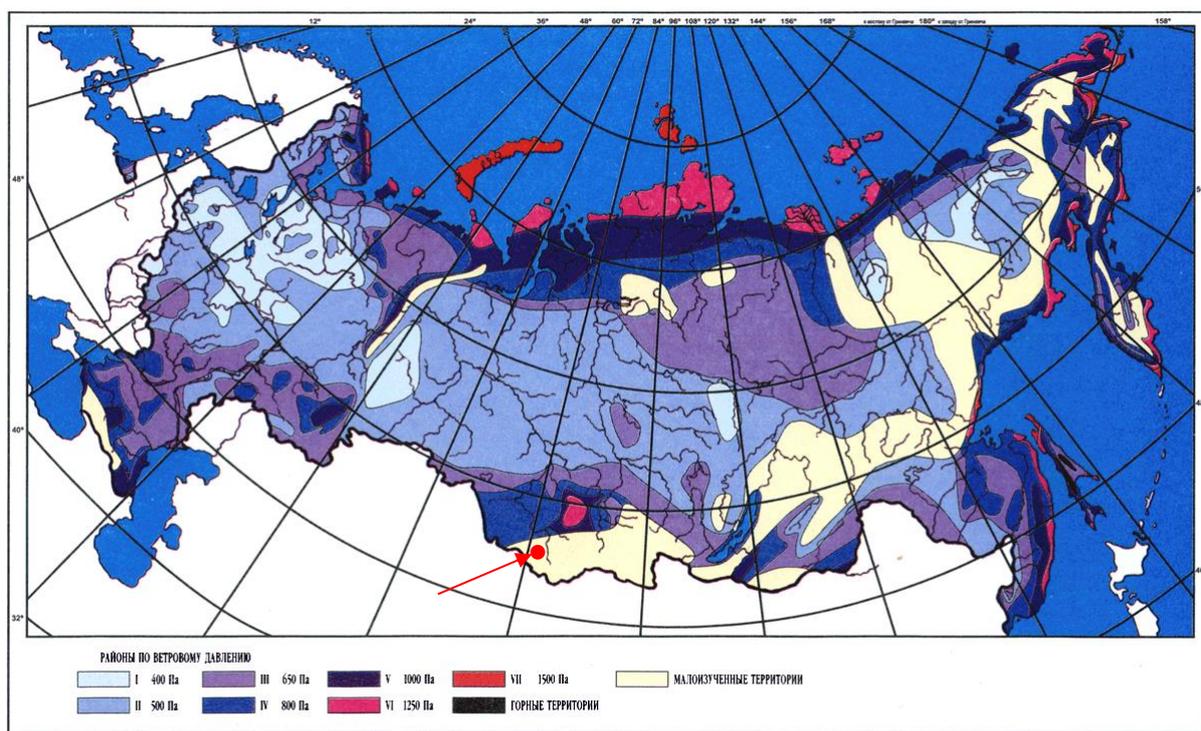
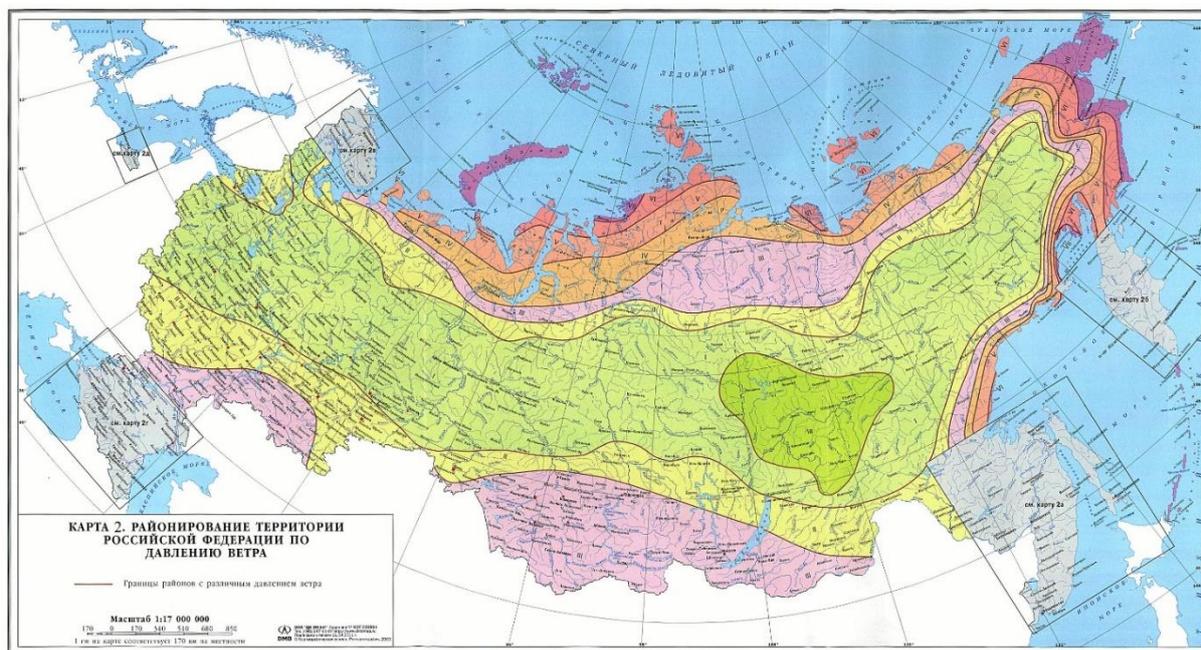


Рис. 1. Карты районирования по давлению ветра: сверху – по данным СП 20.13330.2016 (Приложение Е, карта 2) [3]; снизу – по данным Правилах устройства электроустановок (рис. 2.5.1) [4]

проектироваться в соответствии с требованиями Правил устройства электроустановок (ПУЭ), в которых, в частности, есть и указания по определению ветровых нагрузок на опоры ЛЭП. В п. 2.5.38–2.5.74 ПУЭ [4] приведены положения по определению статической и пульсационной составляющих снеговых нагрузок на провода воздушных линий и на опоры ЛЭП. Методика определения статической составляющей ветровой нагрузки в них во многом сходится с методикой, приведенной в СП 20.13330.2016 [3]. Однако, значения нормативной нагрузки и применяемых коэффициентов различаются – на территории РФ по СП 20.13330.2016 [3] нормативное давление ветра может быть от 0,23 до 0,85 кПа, а согласно ПУЭ [4] – от 0,4 кПа до 1,5 кПа.

В п. 2.5.60 ПУЭ [4] даны указания по определению пульсационной составляющей ветровой нагрузки для опор высотой до 50 м, а для опор высотой свыше 50 м пульсационную составляющую рекомендовано определять в соответствии со строительными нормами и правилами на нагрузки и воздействия.

В первоначальных редакциях ПУЭ-1 1966 года и СНиП II-A.11-62 «Нагрузки и воздействия» 1962 года указания по определению ветровой нагрузки были согласованы, но за прошедшие годы и в тех, и в других нормах было достаточно много изменений, которые вносились независимо друг от друга. И в настоящее время возникают проблемы их совместного применения.

Например, рассмотрим решетчатые конструкции порталов ОРУ и опор ЛЭП, отходящих от ОРУ. В соответствии с указаниями п. 4.2.49 ПУЭ [4] нагрузки на конструкции от ветра должны определяться в соответствии с требованиями строительных норм и правил, то есть на все решетчатые конструкции в границах ОРУ, в том числе порталы, ветровую нагрузку надо

собирать по СП 16.13330.2016. А опора ЛЭП относится уже к воздушным линиям электропередачи, и на нее ветровая нагрузка определяется согласно требованиям п. 2.5.38–2.5.74 ПУЭ. И если эти конструкции расположены в районе, обозначенном синей точкой на рис. 1, то для одной из них нормативное ветровое давление равно $w_0 = 0,38$ кПа, а для второй – $w_0 = 0,80$ кПа, что, как минимум, удивительно.

Также проблемы возникают при определении пульсационной составляющей ветровой нагрузки высотой свыше 50 м. Если также взять случай, когда опора расположена в районе, обозначенном синей точкой на рис. 1, то для такой опоры ветровой район по ПУЭ будет IV и нормативное давление ветра надо принять $w_0 = 0,80$ кПа [4]. При определении пульсационной составляющей ветровой нагрузки, если конструкция подходит под п. 11.1.8б, необходимо вычислить безразмерный период, который зависит от нормативного давления ветра w_0 и коэффициента надежности ветровой нагрузки γ_f . В некоторых программных комплексах, где в качестве исходных данных указывается ветровой район, возникает вопрос, а какой район указать? В СП 20.13330.2016, указания которого по определению пульсационной составляющей реализованы в программных комплексах, для определения необходимых коэффициентов используется нормативное ветровое давление, и, соответственно, расчетные программы при указании ветрового района возьмут в расчет соответствующее ему значение нормативного ветрового давления. Но значения нормативных ветровых давлений в ПУЭ и в СП 20.13330.2016 разные (рис. 2), поэтому либо придется указывать район с ближайшим нормативным ветровым давлением, что ведет к погрешностям в определении ветровой нагрузки, либо рассчитывать пульсационную составляющую ветра «вруч-

ную». Также непонятно, какое значение коэффициента надежности по ветровой нагрузке использовать – в ПУЭ оно задается $\gamma_f = 1,3$ [4], а в СП 20.13330.2016 – $\gamma_f = 1,4$ [3].

2.2. Расхождения в методиках назначения аэродинамических коэффициентов для стержней с различными сечениями

Различаются в российских и зарубежных нормах и методики определения аэродинамических коэффициентов. В частности, приводятся разные методики определения аэродинамических коэффициентов для пространственных решетчатых конструкций [1]. В российских нормах не учитывается влияние закруглений профилей на значения аэродинамических коэффициентов, что может приводить к существенном снижению ветровой нагрузки на конструкцию в целом [5].

В российских нормах [3] представлен достаточно небольшой набор форм конструкций, для которых приводятся требования по назначению аэродинамических коэффициентов. В соответствии с действующей редакцией СП 20.13330.2016 для зданий и сооружений других форм, для которых в своде правил нет указаний, аэродинамические коэффициенты предложено определять экспериментально, обдувкой макетов в аэродинамических трубах, что оправданно при проектировании уникальных объектов, но нецелесообразно при проектировании небольших решетчатых конструкций.

Соответственно, при расчете круглой в плане решетчатой конструкции или решетчатой конструкции опоры дымовых труб, для которой явно будет возникать влияние этих дымовых труб на ветровую нагрузку на саму опору, в СП 20.13330.2016 указаний для расчета ветра на конструкции именно такой формы найти не удастся.

Для подобных конструкций нетиповой формы можно определить ветровые нагрузки численными экспериментами с использованием современных вычислительных комплексов, и такой подход применяется достаточно часто [6, 7 и др.]. Однако, в последних редакциях СП 20.13330.2016 убрали пункт, разрешающий численные эксперименты для определения ветровой нагрузки. В п. 11.1.7 СП 20.13330.2016 сказано, что кроме физического эксперимента при определении аэродинамических коэффициентов для конструкций сложной формы можно использовать опубликованные данные. А что относится к опубликованным данным? Научная статья, в которой описаны результаты численного эксперимента по определению ветровой нагрузки на круглую в плане решетчатую конструкцию, проведенного, например, в программе ANSYS, может считаться опубликованными данными? Или тут имеются в виду только опубликованные результаты физических экспериментов по обдувке макетов в аэродинамических трубах?

Для элементов круглого сечения, согласно п. В.1.12 СП 20.13330.2016, аэродинамический коэффициент c_x зависит от числа Рейнольдса Re и относительного удлинения элемента. Но, как можно увидеть из п. В.1.14 нет различий в аэродинамических коэффициентах c_x для элементов, имеющих профильное сечение (уголок, двутавр, швеллер и др.). Для всех видов поперечного сечения, кроме круглого и прямоугольного, аэродинамический коэффициент задается равным $c_x = 1,4$. В данном случае аэродинамический коэффициент является коэффициентом лобового сопротивления и зависит от характера обтекания профиля ветровым потоком. И очевидно, что этот характер будет отличаться в зависимости от формы сечения профиля и угла между направлением ветра и осями сечения, а следовательно, будут отличаться

и коэффициенты лобового сопротивления [8].

Решетчатые конструкции применяются не только в строительстве, но и в машиностроении – например, конструкции башенных кранов. И для них тоже важен вопрос определения ветровых нагрузок. В машиностроительных нормах, ГОСТ 1451-77 «Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения» [9] аэродинамический коэффициент для элементов профильного сечения зависит от формы сечения и направления ветра по отношению к осям сечения (рис. 3). А согласно предыдущей редакции ГОСТ 1451 от 1965 г. [10] аэродинамический коэффициент для элементов профильного сечения зависел еще и от относительного удлинения элементов.

2.3. Отсутствие рекомендаций по приложению ветровых нагрузок к расчетным схемам

При переработке норм добавляют, убирают, изменяют некоторые пункты в сводах правил, что иногда приводит к сложности восприятия положений норм. В частности, авторы столкнулись с проблемой «грузовой площади» при вычислении ветровой нагрузки на решетчатые конструкции. Согласно СП 20.13330.2016 [3] для решетчатых конструкций, которые можно представить как ряд параллельных ферм, определяется аэродинамический коэффициент c_x , а затем вычисляется нормативное ветровое давление. И далее нужно эту нагрузку приложить к расчетной схеме.

В случае, когда проектируется здание, ветровую нагрузку, как правило, задают в виде распределенной нагрузки на вертикальные (колонны металлического каркаса) или горизонтальные элементы здания (плиты перекрытия), умножая нормативное давление ветра w_0 на соответствующий аэродинамический коэффициент $c_e(c_x)$ и ширину грузовой площади элемента B –

$q = w_0 c_e k(z_e) B$, где $k(z_e)$ – учитывает изменение ветрового давления по высоте. Для решетчатых конструкций можно применить похожий подход – приложить нагрузку к стойкам решетчатой конструкции, и в этом случае возникает вопрос – а как определять грузовую площадь? Данное понятие можно интерпретировать как суммарную площадь проекций всех элементов конструкции с наветренной стороны, либо как площадь фигуры, описанной наружным контуром конструкции (рис. 4). В СП 20.13330.2016 пояснений, как переходить от полученного ветрового давления к нагрузке на решетчатую конструкцию, нет. Авторы проанализировали другие нормативные документы, где описывается сбор ветровых нагрузок на решетчатые конструкции (табл. 1). И, как видно из таблицы, в разных нормативных документах при переходе к ветровой нагрузке на решетчатую конструкцию используются разные понятия грузовой площади.

Действующий СП 20.13330.2016 во многом является преемником СНиП 2.01.07-85*, поэтому наиболее вероятно, что предполагается переходить к условной силе, где A – площадь, ограниченная контуром конструкции.

Такой подход сформировался в 50–60-х годах XX века, когда разрабатывались основные положения норм по нагрузкам, и статический расчет решетчатых конструкций башенного типа выполнялся в основном по упрощенной расчетной схеме – как для вертикального консольно-защемленного стержня, ветровую нагрузку к которому прикладывали в виде сосредоточенных сил в нескольких уровнях (рис. 5). В современных условиях расчет конструкций выполняют в программных комплексах с использованием пространственных стержневых моделей, а молодые проектировщики могут и не сталкиваться с упрощенными расчетными схемами, и для них переход от ветрового

Ветровой район	I	Ia	II	III	IV	V	VI	VII
Нормативное давление ветра w_0 , кПа	0,17	0,23	0,30	0,38	0,48	0,60	0,73	0,85

Район по ветру	I	II	III	IV	V	VI	VII	Особый
Нормативное давление ветра w_0 , кПа	0,40	0,50	0,65	0,80	1,00	1,25	1,5	Выше 1,5

Рис. 2. Нормативные давления ветра: сверху – по данным СП 20.13330.2016 (табл. 11.1) [3]; снизу – по данным Правил устройства электроустановок (табл. 2.5.1) [4]

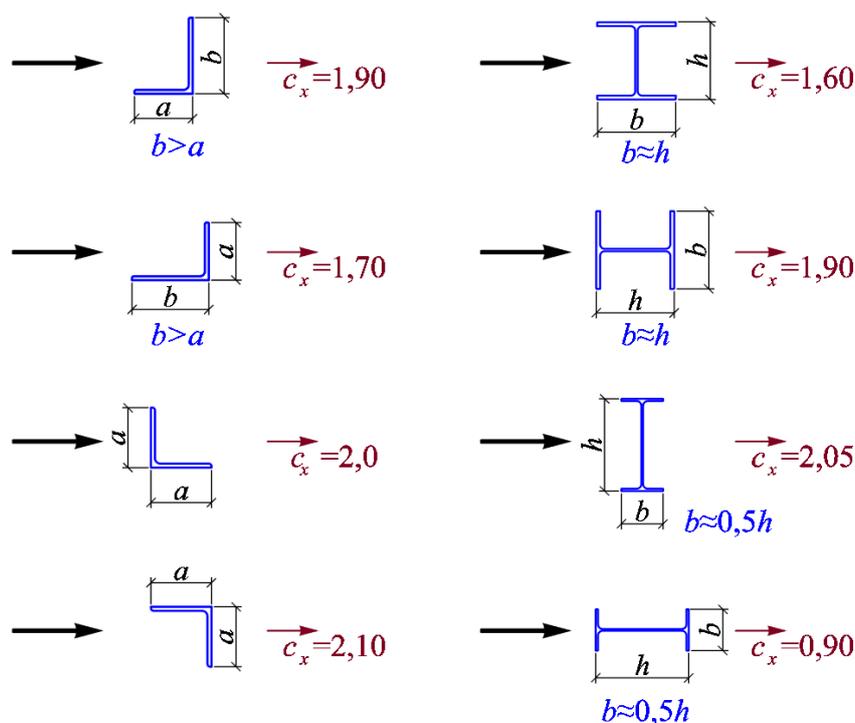


Рис. 3. Аэродинамические коэффициенты для некоторых форм сечения согласно ГОСТ 1451-77

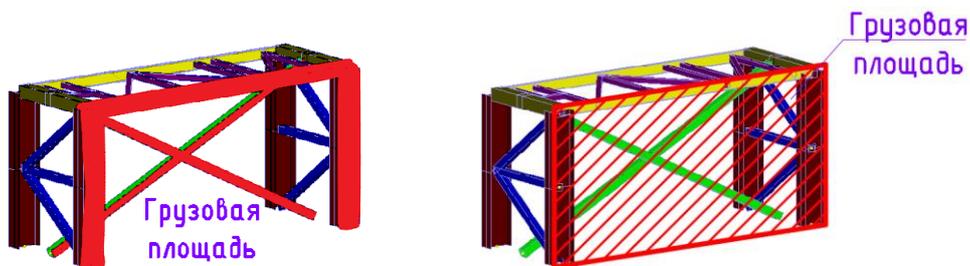


Рис. 4. Варианты грузовой площади: слева – сумма площадей проекций стержней; справа – площадь по контуру конструкции (рисунок авторов)

Таблица 1

Понятие грузовой площади в нормативных документах

Нормативный документ	№ п/п	Содержание
СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [3]	-	Пояснения, как перейти из полученного ветрового давления к нагрузке на конструкцию, отсутствуют.
ПУЭ–7 «Правила устройства электроустановок» 7–е издание [4]	2.5.59	Нормативная средняя составляющая ветровой нагрузки на опору Q_c^H , Н, определяется по формуле: $Q_c^H = K_w w C_x A$, где A – площадь проекции, ограниченная контуром конструкции , ее части или элемента с наветренной стороны на плоскость перпендикулярно ветровому потоку, вычисленная по наружному габариту, м ²
СНиП 2.01.07–85* «Нагрузки и воздействия» [12]	Примечание 3 в Расчетной схеме 15 Приложения 4	Ветровую нагрузку следует относить к площади, ограниченной контуром A_k , где A_k – площадь, ограниченная контуром конструкции.
ГОСТ 1451–77 «Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения» [9]	Приложение 1, п. 3.2.1	За расчетную площадь пространственной фермы принимают расчетную (теневую) площадь наветренной грани фермы. Пояснение термина теневой площади указано в более раннем издании данного документа – ГОСТ 1451–65. А именно в Пункте 6 Приложения 1, где говорится, что теневая площадь – площадь проекции на плоскость фермы всех элементов отсека.
Еврокод 3 «Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия» [11]	п. 5.3 (2)	Ветровое усилие F_w , действующее на конструкцию или конструктивный элемент, может быть определено непосредственно с использованием формулы 5.3, где A_{ref} – базовая площадь конструкции или конструктивного элемента, которая для решетчатых конструкций определяется согласно пункту 7.11 (3) и формуле 7.27. $A_{ref} = A$, где A – сумма площадей проекций стержней и узловых накладок, проецируемых на рассматриваемую сторону.

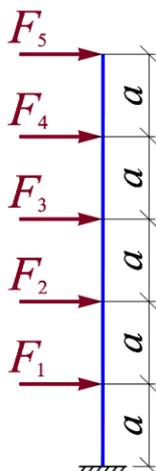


Рис. 5. Упрощенная расчетная схема решетчатой башни на действие ветровой нагрузки (рисунок авторов)

давления к условной сосредоточенной силе через площадь контура конструкции уже совсем не очевиден. Скорее всего, так как ветер создает давление именно на стержни, большинство за грузовую площадь примут сумму площадей проекций стержней, что приведет к значительному занижению ветровой нагрузки.

При использовании пространственных стержневых моделей возникает и еще один вопрос – куда лучше приложить эту условную сосредоточенную силу или как разложить на составляющие? В таких схемах ветровую нагрузку можно прикладывать по-разному:

- в узлы соединения стержней только на наветренной грани конструкции;
- во все узлы соединения стержней;
- в виде распределенной нагрузки на стойки башенной конструкции;
- в виде распределенной нагрузки на все стержни башенной конструкции – стойки и раскосы.

И в любом из этих случаев нужно еще определиться, а как раскладывать условную сосредоточенную силу. Например, если выбрать вариант с приложением в 4 узла наветренной грани,

то делить поровну или пропорционально условной грузовой площади узла (рис. 6)?

В российских нормах, как было сказано выше, отсутствуют рекомендации по приложению ветровой нагрузки к решетчатым конструкциям, и проектировщики выбирают вариант на свое усмотрение. Авторы считают, что для более точного определения напряженно-деформированного состояния отдельных элементов правильнее прикладывать ветровую нагрузку в виде распределенной на каждый стержень. Но тогда возникает вопрос – а как правильно распределить полученную условную силу F_w ? Распределять на все стержни секции – пропорционально наветренной площади каждого элемента, или пропорционально наветренной площади элемента с учетом коэффициента лобового сопротивления профиля? Или распределять только на стойки секции? А также как распределить ветер между разными гранями – прикладывать одинаково на две, наветренную и подветренную, прикладывать только на наветренную или делить между ними с учетом коэффициента затенения?

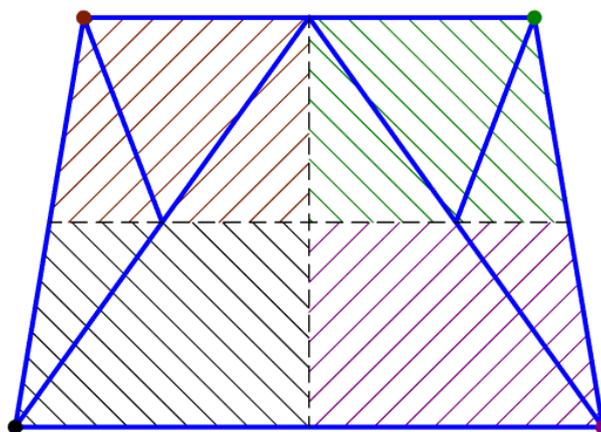


Рис. 6. Условные грузовые площади узлов (рисунок авторов)

Ветровая нагрузка действует на все стержни, и современные программные комплексы позволяют выполнять расчет более сложных и точных расчетных схем решетчатых конструкций – в виде пространственных стержневых систем, на которые нагрузку можно задавать на все стержни. И в настоящее время получается, что необходимо сначала перейти от фактического воздействия ветра на стержни к условной ветровой нагрузке на проекцию конструкции плоскость, перпендикулярную направлению ветра, а потом обратно по ее распределить на стержни или узлы.

3. Заключение

Проведенный анализ показал, что в настоящее время есть расхождения в действующих нормативных документах, регламентирующих определение ветровой нагрузки на решетчатые кон-

струкции. В некоторых случаях эти расхождения приводят к существенной разнице в значениях ветровых нагрузок, а, следовательно, и к разнице в возникающих внутренних усилиях в решетчатых конструкциях, что может быть опасно, так как для многих таких конструкций ветровые нагрузки являются основными по вкладу в общее напряженно-деформированное состояние. Поэтому авторы считают целесообразным привести в соответствие друг другу нормы, регламентирующие сбор ветровой нагрузки в области строительства, машиностроения и электроустановок. Также с учетом современных возможностей расчетных комплексов целесообразным будет внести в нормы уточнения или дополнения по сбору ветровой нагрузки, позволяющие определять ветровую нагрузку на каждый стержень решетчатой конструкции.

Список используемых источников

1. Пичугин С. Ф., Махинько А. В. Нормирование ветровой нагрузки на решетчатые опоры в стандартах разных стран мира // Металлические конструкции. – 2009. – Т. 15. – № 4. – С. 237-252.
2. Хайбулина Р. З. Особенности определения ветровой нагрузки на металлические башенные сооружения связи по нормативным документам Российской Федерации и Еврокодам // Шаг в науку. – 2017. – № 1. – С. 134-141.
3. СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. – М.: Минстрой России, 2017.
4. Правила устройства электроустановок. 7-е издание. М.: – Минэнерго России, 2002.
5. Иоскевич А. В., Савченко А. В., Егорова Е. С., Иоскевич В. В. Понижающий коэффициент ветрового давления и его учет при расчете решетчатых конструкций // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – № 4(31). – С. 45-57.

6. Титков С. О., Югов А. М., Васылев В. Н., Лозинский Э. А. Экспериментальное исследование ветрового воздействия на башенную гиперболическую градирню в аэродинамической трубе с учетом монтажных стадий // *Металлические конструкции*. – 2021. – Т. 27, № 4. – С. 197-215.
7. Атаманчук А. В., Холопов И. С., Чернышев Д. Д. Ветровые нагрузки на элементы трехгранных башен и пакеты вытяжных труб // *Металлические конструкции*. – 2007. – Т. 13. – № 1. – С. 17-24.
8. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. – М.: Стройиздат, 1984. – 360 с.
9. ГОСТ 1451–77. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и методы определения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1965. – 16 с.
10. ГОСТ 1451–65. Краны подъемные. Нагрузка ветровая. – М.: Издательство стандартов, 2003. – 16 с.
11. EN 1991-1-4-2009 Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind Actions. – Brussels, 2010. – 149 p.
12. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 36 с.

References

1. Pichugin S. F., Makhin'ko A. V. (2009) Нормирование ветровой нагрузки на решетчатые опоры в стандартах разных стран мира [Standardization of wind load on lattice supports in the standards of different countries of the world]. *Metallicheskiye konstruksii [Steel Structures]*. 15(4). 237-252. [In Russian]
2. Khaybulyna R. Z. (2017) Osobennosti opredeleniya vetrovoy nagruzki na metallicheskiye bashennyye sooruzheniya svyazi po normativnym dokumentam Rossiyskoy Federatsii i Yevrokodam [Features of determining the wind load on metal communication towers according to regulatory documents of the Russian Federation and Eurocodes]. *Shag v nauku [Step into science]*. 1. 134-141. [In Russian]
3. Code of rules SP 20.13330.2016 Loads and ations (2016) FAU FCC, Moscow. [In Russian]
4. Rules for electrical installations (2002). 7-th edition. Ministry of Energy of Russia, Moscow. [In Russian]
5. Ioskevich A. V., Savchenko A. V., Yegorova Ye. S., Ioskevich V. V. (2015) Ponizhayushchiy koeffitsiyent vetrovogo davleniya i yego uchet pri raschete reshetchatykh konstruksiy [Reduction coefficient of wind pressure and its consideration in lattice structures design]. *Stroitel'stvo unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy [Construction of unique buildings and structures]* 4(31). 45-57. [In Russian]
6. Titkov S. O., Yugov A. M., Vasylev V. N., Lozinskiy E. A. (2021) Eksperimental'noye issledovaniye vetrovogo vozdeystviya na bashennuyu giperbolicheskuyu gradirnyu v aerodinamicheskoy trube s uchetom montazhnykh stadiy [Experimental study of wind impact on a hyperbolic cooling tower in a wind tunnel, taking into account installation stages] *Metallicheskiye konstruksii [Steel Structures]*. 27(4). 197-215. [In Russian]
7. Atamanchuk A. V., Kholopov I. S., Chernyshev D. D. (2007) Vetrovyye nagruzki na elementy trekhgrannykh bashen i pakety vytyazhnykh trub [Wind loads on elements of triangular towers and stacks of exhaust chimneys]. *Metallicheskiye konstruksii [Steel Structures]*. 13(1). 17-24. [In Russian]
8. Simiu E., Scanlan R. (1984) Wind Effects on Structures. Stroyizdat, Moscow [In Russian]
9. State Standard 1451–77. Cranes. Wind load. Norms and methods of determination. (2003) Publishing house of standards, Moscow [In Russian]
10. State Standard 1451–65. Cranes. Wind load. (1965) Publishing house of standards, Moscow [In Russian]
11. EN 1991-1-4-2009 Eurocode 1: Actions on Structures – Part 1-4: General actions – Wind Actions. (2010). Brussels. 149 p.
12. Building regulations 2.01.07-85*. Loads and ations. (1988) CITP Gosstroy USSR, Moscow [In Russian]

Получено: 05.08.23
Прошла рецензирование: 05.09.23
Принята к публикации: 10.09.23
Доступно он-лайн: 17.01.24

Received: 05.08.23
Revised: 05.09.23
Accepted: 10.09.23
Available on-line: 17.01.24