Construction of Unique Buildings and Structures
journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru

Ветровая нагрузка и её действие на фасадные конструкции

А.В. Галямичев [1*]

[1]*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.*

ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ	ИСТОРИЯ	КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА
doi: 10.18720/CUBS.60.4	Подана в редакцию: 18.07.2017	фасадные конструкции; ветровая нагрузка; вентилируемые фасады; светопрозрачные конструкции; нагрузки и воздействия;

АННОТАЦИЯ

В рамках данной статьи даются аргументированные рекомендации для назначения ветровой нагрузки на различные виды фасадных конструкций (навесные вентилируемые фасады и конструкции архитектурного остекления) на основе анализа специальных технических условий и зарубежных нормативных документов. Обозначается ряд вопросов к существующей нормативной документации: СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» и ГОСТ Р 56926-2016 «Конструкции оконные и балконные различного функционального назначения для жилых зданий. Общие технические условия» с комментариями и предложениями по внесению изменений в действующий государственный стандарт. Проведена работа по анализу наиневыгоднейшего воздействия пиковой ветровой нагрузки на многопролётные балочные системы исходя из условий проверки по первому и второму предельным состояниям. Даются рекомендации по величине предельно допустимых деформаций светопрозрачных конструкций и навесных вентилируемых фасадов.

Содержание

Контактная информация:

1* +7(911)8110719, galyamichev@yandex.ru (Галямичев Александр Викторович, старший преподаватель)

1. Введение

Определение ветровой нагрузки на ограждающие конструкции является одной из основных задач при их проектировании. По данной тематике было написано немало трудов отечественными и зарубежными авторами (например, Савицким Г.А. «Ветровая нагрузка на сооружения» [1], Cook N.J. «The designer's guide to wind loading of building structures» [2], труды Dr J.D.Holmes [3] и др.). Однако, на текущий момент по данному типу воздействия на строительные конструкции остаётся множество вопросов, которые не находят ответов. В первую очередь это касается представителей фасадной отрасли, так как именно «благодаря» пиковой ветровой нагрузке, появившейся в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» [4], в алгоритме расчёта появилось место для двоякого толкования и появления неопределённостей.

Данный вопрос уже затрагивался автором в статье «Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта» [5], где были описаны последствия и влияние введения пиковой ветровой нагрузки на металлоёмкость фасадных конструкций. За прошедшее время в ходе практического проектирования и регулярного обращения к нормативным документам, в частности, к обновлённому и вступившему в действие 04.06.2017 года СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» [6], а также к специальным техническим условиям, разрабатываемым для технически сложных и уникальных зданий и сооружений, к существующим строительным правилам появился ряд вопросов.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день проектирование, изготовление и монтаж фасадных конструкций выполняется в условиях жёсткой конкуренции, с одной стороны, и отсутствия обязательной проверки расчётов и технических решений экспертизой, с другой стороны. В этих условиях компании стремятся минимизировать расходы за счёт использования спорных положений в нормативной документации и отсутствия правил проектирования, методических указаний по расчёту систем навесных вентилируемых фасадов и светопрозрачных конструкций, что приводит к снижению эксплуатационных качеств фасадных конструкций, а также может являться причиной появления человеческих жертв [7].

В создавшихся условиях, основной целью данного исследования является указание противоречий, которые существуют в действующей нормативной документации, предотвращение проектных ошибок, которые допускаются при проектировании, и выработка рекомендаций по определению и оценке действия ветровой нагрузки, основанных на отечественном и зарубежном опыте проектирования и испытания фасадных конструкций.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

1) На основе анализа статических расчётов, предоставляемых проектными организациями для выполнения экспертной оценки, освещены наиболее распространённые ошибки, которые допускаются при сборе ветровой нагрузки;

2) Обоснована экономическая целесообразность введения в нормативной документации временного усреднения для нагрузок, действующих кратковременно;

3) Приведены примеры и указана необходимость учёта действия кручения и силы трения ветра на фасадные конструкции;

4) Выполнено сравнение методологий определения ветровой нагрузки, приведённых в СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» и ГОСТ Р 56926-2016 «Конструкции оконные и балконные»;

5) На основе проведённого анализа документов даны рекомендации по определению и особенностям приложения пиковой ветровой нагрузки на фасадные конструкции, в зависимости от их типа (остекление или навесные фасадные системы).

2. Методы

Для проведения анализа наиболее распространённых ошибок, допущенных при назначении и приложении ветровой нагрузки, были задействованы проекты, которые подвергались экспертизе в рамках работы СПбПУ Петра Великого и НИУПЦ «Межрегиональный институт окна». Это объекты, которые расположены как в Москве и Санкт-Петербурге, так и в Казани, Уфе, Новороссийске и многих других городах России. Поэтому можно сказать, что данный вопрос имеет значительный охват и является актуальным в свете отсутствия публикаций, пояснений и комментариев к тексту СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».

Изучение вопроса ветровых нагрузок тематически разделяется на три части: первая – это определение величины воздействия на конструкцию, вторая – это задача корректного, правомерного и наиневыгоднейшего приложения нагрузки на расчётную схему и третья – это вопрос оценки последствий данного нагружения. Таким образом, в рамках исследования использовались не только стандарты, которые предназначаются для задания нагрузки, но и документы, касающиеся критических особенностей материалов, которые влияют непосредственно на оценку последствий воздействия нагрузки (например, для стекла по ГОСТ 30698-2014 «Стекло закалённое»). Также для оценки и выдачи рекомендаций применялись как отечественные нормативные документы: СП 20.13330.2016. «Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*», ГОСТ Р 56926-2016. «Конструкции оконные и балконные различного функционального назначения для жилых зданий. Общие технические условия», так и зарубежные: ASCE 7-05 «Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures» (American Society of Civil Engineers); EN 1991-1-4:2005 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions; Technische Regeln für die Verwendung von linienförmiggelagerten Verglasungen (TRLV).

При статическом расчёте фрагментов фасадных конструкций применялся метод конечных элементов в варианте перемещений, реализованный в программном комплексе SCAD.

Помимо сопоставления нормативных документов, работой было предусмотрено использование научно-исследовательских заключений и специальных технических условий (СТУ), разработанных в последние годы, на значимые объекты строительства, такие как, например, Лахта-центр и Саранск-Арена. Таким образом, рекомендации, которые даны для оценки действия ветровой нагрузки, даны с учётом передового опыта её определения.

3. Результаты и обсуждение

Пиковая ветровая нагрузка назначается в соответствии с п.11.2 [6], где сказано, что для элементов ограждения и узлов их крепления необходимо учитывать пиковые положительные w_+ и отрицательные w_- воздействия, нормативные значения которых определяются по формуле:

$$w_{+(-)} = w_0 \cdot k(z_e) \cdot [1 + \xi(z_e)] \cdot c_p \cdot \nu_{+(-)} \tag{1}$$

где z_e – эквивалентная высота, зависящая от габаритов здания;
$k(z_e)$; $\xi(z_e)$ – коэффициенты, учитывающие, соответственно, изменение давления и пульсаций давления ветра на высоте z_e;
$\nu_{+(-)}$ – коэффициент корреляции ветровой нагрузки, соответствующие положительному давлению (+) и отсосу (–) в зависимости от площади ограждения А, с которой собирается ветровая нагрузка;
c_p – пиковые значения аэродинамических коэффициентов положительного давления (+) или отсоса (–), определяемые в зависимости от местоположения конструкции.

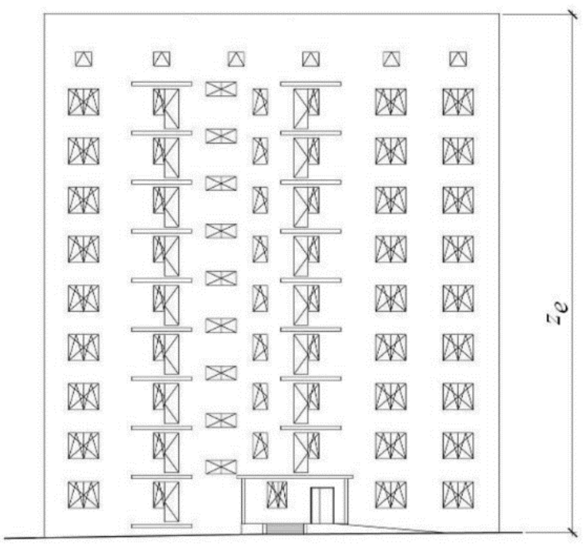


Рисунок 1. Эквивалентная высота сооружения

Формулировка «элементы ограждения» трансформировалась на уровне понимания в «ограждающие конструкции» и теперь используется для расчёта фасадных конструкций.

При рассмотрении компонентов, входящих в данную формулу, необходимо уточнить, что эквивалентная высота не всегда соответствует максимальной отметке проектируемой фасадной конструкции. z_e определяется на основании п. 11.1.5 [6], где в ряде случаев в качестве эквивалентной на постоянной основе выступает высота здания (например, при $h \leq d$, см. рис.1).

1. Для башенных сооружений, мачт, труб и т.п. сооружений:
ze = z;
2. Для зданий:
а) при h ≤ d → ze = h;
б) при h ≤ 2d:
для z ≥ h – d → ze= h;
для 0 < z < h – d → ze= d;
в) при h > 2d:
для z ≥ h – d → ze= h;

где h – высота здания;
d – размер здания в направлении, перпендикулярном расчетному направлению ветра (поперечный размер).

Необходимо отметить, что пиковое ветровое воздействие более известно как ветровой порыв, который должен иметь временное усреднение. Например, в американских нормах существует понятие «3 seconds gust» [8] - это, так называемый, трёхсекундный порыв. Введение временного усреднения уже сейчас позволяет применять материалы с изменяющимся модулем упругости, в зависимости от длительности действия нагрузки (например, упрочняющую плёнку для ламинированного стекла «SentryGlas», свойства которой можно увидеть в таблице 1 [9]. В России данные технологии применять легально весьма затруднительно, так как временные рамки нормативной документацией не установлены.

Таблица 1. Изменение модуля упругости плёнки SentryGlas в зависимости от длительности действия нагрузки

Модуль Юнга Е (МПа)		Длительность действия нагрузки						
		1 сек	3 сек	1 мин	1 час	1 день	1 месяц	10 лет
Температура	10 ˚С	692	681	651	597	553	499	448
	20 ˚С	628	612	567	493	428	330	256
	24 ˚С	581	561	505	416	327	217	129
	30 ˚С	442	413	324	178	148	34,7	15,9
	40 ˚С	228	187	91,6	27,8	13,6	9,86	8,84
	50 ˚С	108	78,8	33,8	12,6	8,45	6,54	6,00
	60 ˚С	35,3	24,5	10,9	5,10	3,87	3,24	2,91
	70 ˚С	11,3	8,78	5,64	2,52	1,77	1,44	1,35
	80 ˚С	4,65	3,96	2,49	0,96	0,75	0,63	0,54

Как показывает практика, пиковые значения аэродинамического коэффициента могут значительно, даже в разы, превышать их средние значения [10,11]. Следует отметить, что при определении суммарных нагрузок на несущие конструкции здания в целом, пиковые составляющие ветрового давления не учитываются, поскольку они достигаются **в различных точках фасадов и в разные моменты времени (см. рис.2) [12-16]**.

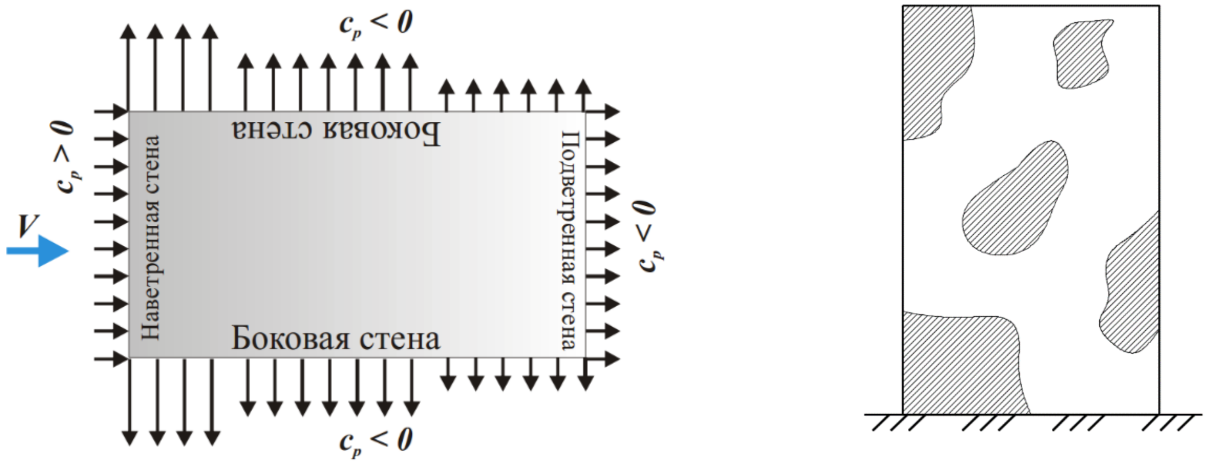
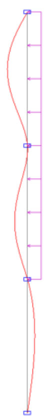


Рисунок 2. Общая схема распределения ветровой нагрузки по стенам здания (слева) и вероятные участки воздействия порыва ветра (справа)

Таким образом, возникает неопределённость с заданием корректного нагружения на конструкцию: в практике проектирования навесных вентилируемых фасадов и светопрозрачных конструкций широко распространено использование расчётной схемы многопролётной неразрезной балки (см. табл. 2).

Таблица 2. Расчётные схемы для проверки конструкций на действие ветровой нагрузки

Схема					
Max. прогиб, мм	28,91	24	**42,25**	28,91	**37,8**
Max. изг. момент (кг*м)	180	**210**	182,25	135	168
Итог		**I ПС**			**II ПС**

Однако, при этом применяется нагружение схемы по всей высоте здания, что мало соотносится с тезисом о локальном воздействии порыва. Для данных случаев при расчёте по первому предельному состоянию (по прочности) рекомендуется применять наиболее неблагоприятное воздействие в виде равномерно распределённой нагрузки на два смежных пролёта конструкции. При проверке второго предельного состояния (по деформациям) рекомендуется прикладывать нагрузку на один пролёт рассматриваемой схемы: в таком случае смежные пролёты не смогут уравновесить действие нагрузки.

Можно также обратить внимание на случай, когда равномерно распределённая нагрузка действует на первый, третий, пятый и другие нечётные пролёты многопролётной балки, но в реальных условиях, вероятность аналогичного воздействия ветровой нагрузки сводится к нулю и в расчёт не принимается.

Также достаточно часто встречаются противоречия при определении коэффициента корреляции ветровой нагрузки $\nu_{+(-)}$. Обращаю внимание читателя на то, что его значения в случае положительного и отрицательного воздействия разнятся, что указано в таблице 11.8 [6]. Основной же ошибкой при работе с коэффициентом корреляции является назначение площади A, на основании которой происходит подбор искомой величины. Проектировщики часто используют площадь всей стены здания или светопрозрачной конструкции для снижения значения коэффициента. На самом деле необходимо использовать грузовую площадь рассчитываемого элемента (направляющей, стойки, ригеля или кронштейна), с которой собирается нагрузка (см. рис. 3, рис. 4). Т.е. для однопролётного нагружения ветровая нагрузка может быть больше, чем для конструкции, где задействованы два пролёта. В случае с элементами облицовки, которые подвергаются воздействию ветровой нагрузки, необходимо исходить из их геометрических параметров, и логично предположить: чем меньше грузовая площадь, тем выше должна быть нагрузка, т.к. вероятность возникновения ветрового порыва большой силы на определённой ограниченной площадке весьма высока.

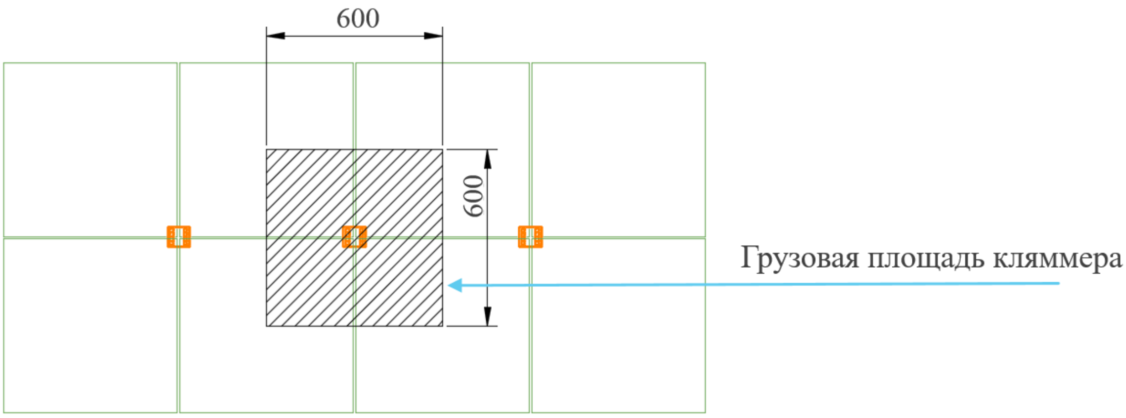


Рисунок 3. Грузовая площадь элемента крепления стандартной плиты из керамического гранита

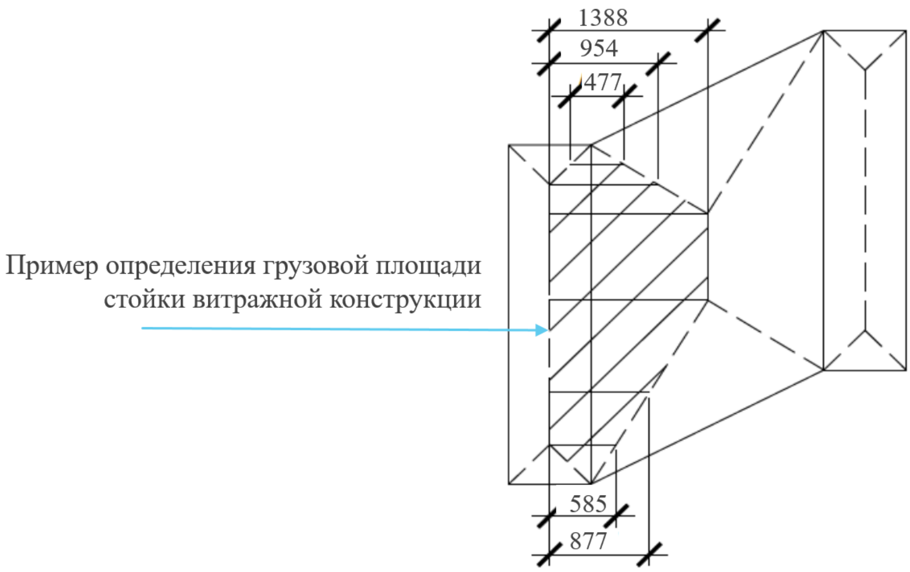


Рисунок 4. Пример определения грузовой площади элемента каркаса светопрозрачной конструкции [17]

С правилами определения грузовой площади и её влиянием на статический расчёт также можно ознакомиться в статье «Анализ действия ветровой нагрузки на алюминиевые светопрозрачные витражные конструкции на примере здания Гидрокорпус-2 СПбПУ Петра Великого» [17].

Помимо нюансов, связанных с корректным использованием формулы по определению ветровой нагрузки, в расчётах фасадных конструкций необходимо обращать внимание на возможность возникновения кручения вертикальных направляющих от действия неравномерных ветровых нагрузок (например, на границе угловой и рядовой зоны, см. рис. 5) и предусматривать меры по предотвращению кручения в пролёте (раскрепление конструкции из плоскости действия ветровой нагрузки).

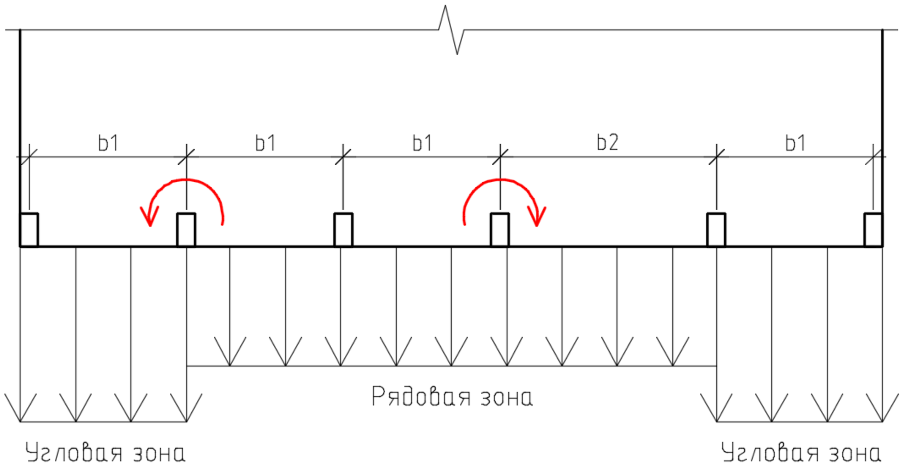


Рисунок 5. Общая схема вариантов появления крутящего момента в конструкциях НВФ

Данный момент также имеет значительное влияние при проверке направляющих на устойчивость при действии изгибающего воздействия, особенно для сечений открытого типа (П-образные, I-образные направляющие и т.п.) и меньшее значение имеет для сечений закрытого типа (см. рис. 6) [18, 19, 20].

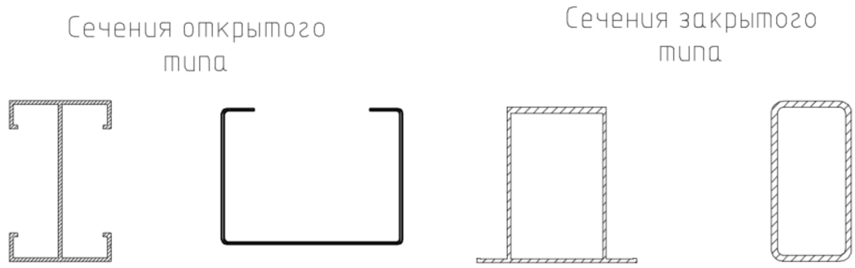


Рисунок 6. Открытый и закрытый тип сечений каркаса фасадных конструкций

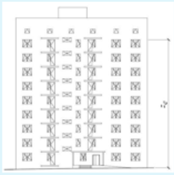
Появлению неопределённости в расчётах фасадных конструкций способствует и появление ГОСТ Р 56926-2016 «Конструкции оконные и балконные различного функционального назначения для жилых зданий. Общие технические условия» [21]. Согласно данному документу:

- z_e - расчетная высотная отметка принимается безусловно на уровне перекрытия верхнего надземного этажа (что не соответствует п.11.1.5 [6]);
- Проверку по второму предельному состоянию предписывается выполнять на действие суммы средней и пульсационной составляющих нормативной ветровой нагрузки ($w = w_m + w_p$), а не на действие нормативной пиковой ветровой нагрузки;
- Максимально допустимая деформация металлического профиля конструкции балкона устанавливается $f_{доп.} \leq \frac{1}{300}L$ (ранее для конструкций с заполнением из стекла допустимо было применять предельный прогиб $f_{доп.} \leq \frac{1}{200}L$ согласно неактуализированного СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции» [22]);
- Расчетное значение предельно допустимого прогиба стекла в центре пластины принимают равным $f_{доп.} \leq \frac{1}{300}a$, где a – большая сторона листа стекла (что противоречит, например, ГОСТ 30698-2014 «Стекло закаленное» [23], где прогиб стекла при наиболее неблагоприятном сочетании нагрузок должен быть не более 1/250 короткой стороны).

В результате, проектирование балконных блоков может производиться несколькими возможными алгоритмами, что может являться, в конечном итоге, причиной некачественно выполненных изделий. Также необходимо обратить внимание и на то, что ГОСТ Р 56926-2016 не может опровергать требования действующего СП 20.13330.2016. Таким образом, в части задания нагрузок и проверок по второму предельному состоянию, стандарт применяться не должен. В этой связи предлагается обсудить и установить на территории Российской Федерации единые правила по проектированию фасадных конструкций, которые в дальнейшем будут зафиксированы в соответствующих сводах правил на проектирование конструкций остекления и навесных фасадных систем.

Отталкиваясь от ГОСТ Р 56926-2016, имеет смысл ввести возможность варьирования эквивалентной высоты, дополнить ограничение по второму предельному состоянию исполнением балкона с заполнением из стекла с облегчёнными требованиями к прогибу конструкции (принимая во внимание европейский опыт, предпосылок к ужесточению данного требования на сегодняшний день нет [24], [25]), прогиб стекла сохранить в ведении соответствующего ГОСТ. Также рекомендуется дополнить стандарт на балконное остекление требованиями к прогибам непрозрачных заполнений, которые существовали в [22].

Таблица 3. Различия СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» и ГОСТ Р 56926-2016 «Конструкции оконные и балконные», рекомендации в части определения воздействия ветровых нагрузок

ГОСТ Р 56926-2016	Рекомендуется
Эквивалентная высота принимаемая равной отметке верха оконного блока верхнего этажа здания 	1. Для башенных сооружений, мачт, труб и т.п. сооружений: $z_e = z$; 2. Для зданий: а) при $h \leq d \rightarrow z_e = h$; б) при $h \leq 2d$ в) при $h > 2d$
Проверка деформаций для СПК по $w = w_m + w_p$	Для СПК: допустимо
	Для НВФ: по пиковой ветровой нагрузке (касание ваты, падение облицовки при критических деформациях)
Max. допустимый прогиб профилей: $f = L/300$	Для стеклопакетов: $f = L/300$
	Для стекла: $f = L/200$
	Для непрозрачного заполнения: $f = L/150$
Max. допустимый прогиб панели стекла: $f = a/300$ a – большая сторона стекла	ГОСТ 30698-2014 «Стекло закалённое»: $f = l/250$ l – короткая сторона стекла

Проверка второго предельного состояния, исходя из суммы средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки, является более целесообразной для элементов каркаса и заполнения фасадных конструкций, чем оценка величины их деформаций по пиковому воздействию, возникающему при ураганном ветре в среднем один раз в 50 лет. Здесь необходимо отметить, что вопросы, касающиеся потери несущей способности, нарушения целостности, остаточных деформаций и возникновения аварийных ситуаций (например, в результате отрыва облицовки), подлежат рассмотрению в рамках первого предельного состояния и их оценка должна остаться без изменений. Ограничение же прогиба по эстетико-психологическим требованиям (обеспечение благоприятных впечатлений от внешнего вида конструкций, предотвращение ощущения опасности) является рациональным при воздействии на конструкцию ветровой нагрузки, существенно меньшей, чем её пиковое значение.

В случае с навесными фасадными системами, вопрос прогиба также должен решаться в контексте недопущения нарушения или смятия поверхности утеплителя направляющим профилем в результате воздействия пиковых ветровых нагрузок (конструктивный прогиб, допустимая величина которого приведена в п. Д.2.4.3. СП 20.13330.2016: «Горизонтальные предельные прогибы стоек и ригелей фахверка, а также навесных стеновых панелей от ветровой нагрузки, ограничиваемые исходя из конструктивных требований, следует принимать равными l/200, где l – расчетный пролет стоек или панелей»). При условии достаточной величины воздушного зазора, который компенсирует деформацию направляющей, предлагается допустить для НВФ рассмотрение проверки по второму предельному состоянию, исходя из воздействия суммы средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки. Также для всех типов фасадных конструкций (как НВФ, так и СПК) необходима проверка крепления заполнения на предмет удерживающей способности при значительных деформациях профиля, условия выполнения которой определяются в результате лабораторных испытаний при освидетельствовании системы.

Необходимо отметить, что вопрос прогибов навесных фасадных систем в СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» отражен в п. 15.2.3: «Для элементов конструкций зданий и сооружений, предельные прогибы и перемещения которых не оговорены настоящим и другими нормативными документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок не должны превышать 1/150 пролета или 1/75 вылета консоли». Данное положение применимо для всех случаев, которые не относятся к, так называемым, конструктивным прогибам (обеспечение целостности примыкающих друг к другу элементов конструкций). Однако, необходимо в нормативной документации по навесным фасадным системам, которая готовится к выпуску в настоящий момент, отразить не только допустимые величины прогибов элементов системы, но и указать предельные деформации различных типов облицовки, таких как: алюминиевые композитные кассеты, HPL-панели, фиброцементные плиты и многие другие. На данный момент, в проектной практике приходится ориентироваться на превентивные положения, приведённые в таблице 4.

Таблица 4. Допустимые прогибы от действия ветровой нагрузки для НВФ согласно СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»

Пункт 15.2.3	**Приложение Д пункт Д.2.4.3**
Для элементов конструкций зданий и сооружений, предельные прогибы и перемещения которых не оговорены настоящим и другими нормативными документами, вертикальные и горизонтальные прогибы и перемещения от постоянных, длительных и кратковременных нагрузок **не должны превышать 1/150 пролета или 1/75 вылета консоли**	Горизонтальные предельные прогибы стоек и ригелей фахверка, а также навесных стеновых панелей от ветровой нагрузки, ограничиваемые *исходя из конструктивных требований*, **следует принимать равными *l*/200, где *l* – расчетный пролет стоек или панелей**

Несмотря на то, что в СП «Нагрузки и воздействия» не содержится упоминаний о необходимости учёта сил трения ветра на фасадные конструкции, хотя данное воздействие может оказывать на них существенное влияние. Особенно это необходимо учитывать при креплении облицовки, где не предусматривается ограничение по горизонтальным перемещениям (например, кляммерное крепление керамического гранита, иклевое крепление кассет из алюминиевого композитного листа или конструкция протяжённого козырька, описанная в [26,27]). Рекомендуемое значение можно рассчитать согласно стандарту EN 1991-1-4:2005 [28], который используется вследствие того, что для конструкций с большими площадями, захватываемым ветром, силы трения могут иметь существенное значение.

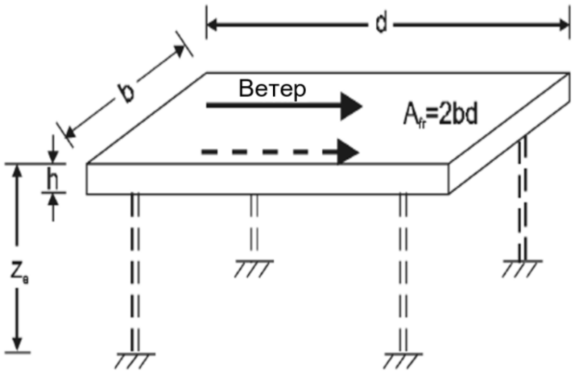


Рисунок 7. К определению силы трения ветра (где A_{fr} - площадь поверхности трения)

Силы трения ветра всегда воздействуют в тангенциальном направлении на расчетную поверхность, что влечет за собой наиболее серьезные последствия для ограждающей конструкции.

4. Заключение

Подводя итог вышесказанному, необходимо отметить ключевые тезисы, которые необходимо учитывать при проектировании фасадных конструкций:

1. Эквивалентная высота z_e должна определяться на основании п. 11.1.5 (пп. 1 и 2) СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
2. При определении коэффициента корреляции ветровой нагрузки $\nu_{+(-)}$, назначение площади A, необходимо производить по грузовой площади рассчитываемого элемента (направляющей, стойки, ригеля или кронштейна), с которой собирается нагрузка.
3. Предлагается выполнить временное усреднение значения пикового ветрового воздействия, приведя его к трёхсекундному порыву ветра.
4. При расчёте по первому предельному состоянию (по прочности) рекомендуется применять наиболее неблагоприятное воздействие в виде равномерно распределённой нагрузки на два смежных пролёта многопролётной конструкции.
5. При проверке второго предельного состояния (по деформациям) рекомендуется прикладывать нагрузку на один пролёт рассматриваемой многопролётной схемы.
6. При проектировании фасадных конструкций необходимо предусматривать возможность возникновения кручения вертикальных направляющих от действия неравномерных ветровых нагрузок и предусматривать меры по предотвращению кручения в пролёте.
7. Рекомендуется провести корректировку [21] в части назначения эквивалентной высоты.
8. Проверка по второму предельному состоянию для элементов каркаса фасадных конструкций должна выполняться по следующим критериям (в частности, для [21]):
   - При заполнении конструкции стеклопакетами: $f \leq L/300$
   - При заполнении конструкции стеклом: $f \leq L/200$
   - При непрозрачном заполнении конструкции и для элементов каркаса навесных фасадных систем (кроме облицовки стеклом): $f \leq L/150$
9. Проверка по второму предельному состоянию для элементов заполнения фасадных конструкций должна выполняться по следующим критериям (в частности, для [21]):
   - При использовании стеклопакетов: $f \leq a/250$*
   - При заполнении конструкции стеклом: $f \leq a/250$*
   - При непрозрачном заполнении конструкции: $f \leq L/150$**

(* - согласно ГОСТ на соответствующую продукцию; a – короткая сторона стекла; ** - прогиб конструкции, если иное не предусмотрено ГОСТ на соответствующую продукцию; L – пролёт конструкции между точками закрепления)

10. Для проверки фасадных конструкций по первому предельному состоянию необходимо применять расчётное пиковое ветровое воздействие.
11. Для проверки фасадных конструкций по второму предельному состоянию (исходя из эстетико-психологических требований) рекомендуется применять ветровое воздействие, определяемое как сумма нормативного пульсационного и среднего ветрового воздействия.
12. При возникновении расчётных случаев с возможностью возникновения конструктивных или технологических прогибов фасадных конструкций, оценку прогибов необходимо вести на действие нормативной пиковой ветровой нагрузки.
13. Сбор нагрузок на фасадные конструкции должен включать в себя воздействие от силы трения ветра.

Литература

[1]. Савицкий Г.А. «Ветровая нагрузка на сооружения». Москва: Издательство литературы по строительству, 1972. с.15-32

[2]. Cook N.J. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 2: Static structures. – London: Butterwords, 1990. – 20 p

[3]. Holmes, J.D. (2002) Effective static load distributions in wind engineering, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, v.90, 91−109.

[4]. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М., 2011.

[5]. Галямичев А.В. Специфика определения нагрузок на ограждающие конструкции и её влияние на результаты их статического расчёта // Интернет-журнал Науковедение. 2015. Т. 7. № 2(27). 54TVN215

[6]. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М., 2016.

[7]. Статья «Возбуждено уголовное дело по факту смерти прохожего от падения панели с фасада» [Электронный ресурс] Link: http://fasad-rus.ru/news_end.php?id=3757

[8]. American Society of Civil Engineers, ASCE 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Reston, V A, 2005.

[9]. SentryGlas Plus Elastic Properties (SGP 5000). Du Pont Glass Laminating Solutions [Электронный ресурс]. 14 April 2008. Link:http://www.mepla.eu/media/medien/sentryglasr_plus_elastic_properties_2008_51654.pdf

[10]. Montazeri H., Blocken B. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis // Building and Environment, 60 (2), 2013. Pp. 137–149

[11]. Blocken B. 50 2017s of Computational Wind Engineering: Past, present and future // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 129 (6), 2014. Pp. 69–102.

[12]. Рекомендации по назначению расчетных климатических нагрузок (ветровых, снеговых и температурных) для строительства стадиона на 45 000 зрительских мест, г. Саранск, в районе ул. Волгоградская. ЦНИИСК им. Кучеренко, 2016 год.

[13]. Bitsuamlak G.T., Stathopoulos T., Bedard C. Numerical evaluation of turbulent flows over complex terrains. A review // Journal of Aerospace Engineering, 17(4), 2004. Pp. 135-145.

[14]. Blocken V., Stathopoulos T., Carmeliet J. CFD simulation of atmospheric boundary layer-wall function problems // Atmospheric Environment, 41 (2), 2007. Pp. 238-252.

[15]. Liaw K.F. Simulation of Flow around Bluff Bodies and Bridge Deck Sections using CFD: thesis submits for the degree of PhD. University of Nottingham, 2005. 268 p.

[16]. Ai Z.T., Mak C.M. CFD simulation of flow and dispersion around an isolated building: Effect of inhomogeneous ABL and nearwall treatment // Atmospheric Environment, 77 (10), 2013. Pp. 568–578

[17]. Галямичев А.В., Нефедова А.В., Фидрикова А.С., Быкова Ю.В. Анализ действия ветровой нагрузки на алюминиевые светопрозрачные витражные конструкции на примере здания Гидрокорпус-2 СПбПУ Петра Великого. Научно-информационный учебно-производственный центр "Межрегиональный институт окна" (Санкт-Петербург). Светопрозрачные конструкции, №2 (112), 24-29

[18]. Nikolay I Vatin, Jarmo Havula, Lassi Martikainen, Aleksei S Sinelnikov, Anna V Orlova, Stepan V Salamakhin. Thin-walled cross-sections and their joints: tests and FEM-modelling. Advanced Materials Research Vols. 945-949 (2014) pp 1211-1215 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland

[19]. Лалин В.В., Рыбаков В.А., Морозов С.А. Исследование конечных элементов для расчета тонкостенных стержневых систем // Инженерно-строительный журнал. 2012. Т. 27. № 1. С. 53-73.

[20]. Nikolay I Vatin, Tatiana Nazmeeva, Roman Guslinscky. Problems of cold-bent notched c-shaped profile members. Advanced Materials Research, 2014

[21]. ГОСТ Р 56926-2016. Конструкции оконные и балконные различного функционального назначения для жилых зданий. Общие технические условия. Москва. Стандартинформ. 2016

[22]. СНиП 2.03.06-85 «Алюминиевые конструкции». ГОССТРОЙ СССР. Москва. 1988

[23]. ГОСТ 30698-2014 «Стекло закалённое» . Москва. Стандартинформ. 2015

[24]. Technische Regeln für die Verwendung von linienförmiggelagerten Verglasungen (TRLV) - Schlussfassung August 2006

[25]. А.Ю. Куренкова, А.В. Кузьменко, О.М. Куренкова. Учёт ветровых нагрузок при расчёте толщины стекла в светопрозрачных конструкциях // Светопрозрачные конструкции №2 (82), 2012 год. Стр. 5-15.

[26]. Report-No: SG14-405367_CAL-001. Project: RUS – St. Petersburg. Lakhta MFB. Outer Facade Package. Part: Load Assumptions. Lindner Fassaden GmbH. Steel & Glass.

[27]. A.V. Kuznetsov. Building up a finite element model and calculating the wind load for large-span spatial hinged canopy of exhibition. Complex. Строительство уникальных зданий и сооружений. 7 (22). 2014. 24-35

[28]. EN 1991-1-4:2005 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions

Wind load and its action on facade structures

A.V. Galyamichev [1*]

[1*] *Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia*

Article info

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.60.4

Article history

Received 18.07.2017

Keywords

facade structures;
wind load;
ventilated facades;
translucent structures;
loads and impacts;

ABSTRACT

This article provides reasoned recommendations for determining the wind load on various types of facade structures (ventilated facades and architectural glazing structures) based on the analysis of special technical conditions and foreign normative documents. Several questions was asked to the existing and current in Russian Federation normative documentation: Russian Set of Rules SP 20.13330.2016 "Loads and actions" and Russian State Standard GOST R 56926-2016 "Window and balcony structures of various functional purposes for residential buildings. General technical conditions" with comments and proposals for changes to the current national standard. The analysis of the most disadvantageous effect of the peak wind load on multi-span beam systems was made in this research, based on the conditions for the first and second limit states. The article provides recommendations for the value of the maximal permissible deformations of translucent structures and hinged ventilated facades.

Contact information:

[1] +7(911)8110719, galyamichev@yandex.ru (Aleksandr Galyamichev, Senior Lecturer)

References

[1]. Savitskiy G.A. «Vetrovaya nagruzka na sooruzheniya». [Wind load on buildings] Moskva: Izdatelstvo literatury po stroitelstvu, 1972. s.15-32 (rus)

[2]. Cook N.J. The designer's guide to wind loading of building structures. Part 2: Static structures. – London: Butterwords, 1990. – 20 p

[3]. Holmes, J.D. (2002) Effective static load distributions in wind engineering, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, v.90, 91−109.

[4]. Russian Set of Rules SP 20.13330.2011. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85*. [Russian Set of Rules "Loads and Actions 2011"] M., 2011.

[5]. Galyamichev A.V. Spetsifika opredeleniya nagruzok na ograzhdayushchiye konstruktsii i yeye vliyaniye na rezultaty ikh staticheskogo rascheta [The specifics of determining loads on the building envelope and its effect on the results of static analysis]. Internet-zhurnal Naukovedeniye. 2015. T. 7. № 2(27) (rus)

[6]. Russian Set of Rules SP 20.13330.2016. Nagruzki i vozdeystviya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.01.07-85* [Russian Set of Rules "Loads and Actions 2016"]. M., 2016.

[7]. Article «Vozbuzhdeno ugolovnoye delo po faktu smerti prokhozhego ot padeniya paneli s fasada» [A criminal case was instituted on the death of a panel passing from a facade]. [Online]. Link: http://fasad-rus.ru/news_end.php?id=3757 (rus)

[8]. American Society of Civil Engineers, ASCE 7-05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Reston, V A, 2005.

[9]. SentryGlas Plus Elastic Properties (SGP 5000). Du Pont Glass Laminating Solutions [Online]. 14 April 2008. Link:http://www.mepla.eu/media/medien/sentryglasr_plus_elastic_properties_2008_51654.pdf

[10]. Montazeri H., Blocken B. CFD simulation of wind-induced pressure coefficients on buildings with and without balconies: Validation and sensitivity analysis. Building and Environment, 60 (2), 2013. Pp. 137–149

[11]. Blocken B. 50 years of Computational Wind Engineering: Past, present and future. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 129 (6), 2014. Pp. 69–102.

[12]. Rekomendatsii po naznacheniyu raschetnykh klimaticheskikh nagruzok (vetrovykh, snegovykh i temperaturnykh) dlya stroitelstva stadiona na 45 000 zritelskikh mest, g. Saransk, v rayone ul. Volgogradskaya. [Recommendations for the designation of estimated climatic loads (wind, snow and temperature) for the construction of a stadium for 45,000 spectators, Saransk, Volgogradskaya street] TsNIISK im. Kucherenko, 2016 (rus)

[13]. Bitsuamlak G.T., Stathopoulos T., Bedard C. Numerical evaluation of turbulent flows over complex terrains. A review // Journal of Aerospace Engineering, 17(4), 2004. Pp. 135-145.

[14]. Blocken V., Stathopoulos T., Carmeliet J. CFD simulation of atmospheric boundary layer-wall function problems // Atmospheric Environment, 41 (2), 2007. Pp. 238-252.

[15]. Liaw K.F. Simulation of Flow around Bluff Bodies and Bridge Deck Sections using CFD: thesis submits for the degree of PhD. University of Nottingham, 2005. 268 p.

[16]. Ai Z.T., Mak C.M. CFD simulation of flow and dispersion around an isolated building: Effect of inhomogeneous ABL and nearwall treatment // Atmospheric Environment, 77 (10), 2013. Pp. 568–578

[17]. Galyamichev A.V., Nefedova A.V., Fidrikova A.S., Bykova Yu.V. Analiz deystviya vetrovoy nagruzki na alyuminiyevyye svetoprozrachnyye vitrazhnyye konstruktsii na primere zdaniya Gidrokorpus-2 SPbPU Petra Velikogo.[Analysis of the effect of wind load on aluminum translucent stained-glass structures on the example of the building of Hydrocorpus-2 SPbPU Peter the Great] Nauchno-informatsionnyy uchebno-proizvodstvennyy tsentr "Mezhregionalnyy institut okna" (Sankt-Peterburg). Svetoprozrachnyye konstruktsii, No. 2 (112), 24-29 (rus)

[18]. Nikolay I Vatin, Jarmo Havula, Lassi Martikainen, Aleksei S Sinelnikov, Anna V Orlova, Stepan V Salamakhin. Thin-walled cross-sections and their joints: tests and FEM-modelling. Advanced Materials Research Vols. 945-949 (2014) pp 1211-1215 © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland

[19]. Lalin V.V., Rybakov V.A., Morozov S.A. Issledovaniye konechnykh elementov dlya rascheta tonkostennykh sterzhnevykh sistem [Finite Element Analysis for the Calculation of Thin-Walled Systems]. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal. 2012. T. 27. № 1. S. 53-73. (rus)

[20]. Nikolay I Vatin, Tatiana Nazmeeva, Roman Guslinscky. Problems of cold-bent notched c-shaped profile members. Advanced Materials Research, 2014

[21]. Russian State Standard GOST R 56926-2016. Konstruktsii okonnyye i balkonnyye razlichnogo funktsionalnogo naznacheniya dlya zhilykh zdaniy. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya.[Window and balcony structures of various functional purposes for residential buildings. General technical conditions] Moskva. Standartinform. 2016

[22]. Russian Set of Rules SNiP 2.03.06-85 «Alyuminiyevyye konstruktsii». [Aluminum structures] GOSSTROY SSSR. Moskva. 1988

[23]. Russian State Standard GOST 30698-2014 «Steklo zakalennoye». [Tempered Glass] Moskva. Standartinform. 2015

[24]. Technische Regeln für die Verwendung von linienförmiggelagerten Verglasungen (TRLV) - Schlussfassung August 2006

[25]. A.Yu. Kurenkova, A.V. Kuzmenko, O.M. Kurenkova. Uchet vetrovykh nagruzok pri raschete tolshchiny stekla v svetoprozrachnykh konstruktsiyakh [Accounting for wind loads when calculating the thickness of glass in translucent structures]. Svetoprozrachnyye konstruktsii №2 (82), 2012 god. Str. 5-15. (rus)

[26]. Report-No: SG14-405367_CAL-001. Project: RUS – St. Petersburg. Lakhta MFB. Outer Facade Package. Part: Load Assumptions. Lindner Fassaden GmbH. Steel & Glass.

[27]. A.V. Kuznetsov. Building up a finite element model and calculating the wind load for large-span spatial hinged canopy of exhibition. Complex. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 7 (22). 2014. 24-35

[28]. EN 1991-1-4:2005 - Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions

Галямичев А.В., Ветровая нагрузка и её действие на фасадные конструкции, Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №9 (60). С. 44-57.

Galyamichev A.V., Wind load and its action on facade structures. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 9 (60). Pp. 44-57. (rus)