

<https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-386-391>

УДК 624.014

Анализ нормативных документов по определению нагрузок на здания и сооружения

Докт. техн. наук, проф. Е. Ю. Давыдов¹⁾

¹⁾Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022
Belarusian National Technical University, 2022

Реферат. Расчет строительных конструкций начинается с определения нагрузок и воздействий. Правильность определения нагрузок и воздействий, и в особенности их расчетных значений, во многом определяет надежность конструктивных форм, их долговечность и экономическую эффективность. В статье рассмотрены нормативные документы по определению снеговых, ветровых и крановых нагрузок, а также нагрузок, обусловленных собственной массой несущих и ограждающих конструкций. В большинстве случаев изменение значений снеговых нагрузок в сторону их увеличения является трудо- и материалозатратным, так как после этого требуются обследование всех несущих конструкций, воспринимающих снеговые нагрузки, их перерасчет и довольно часто – усиление. Предлагается пересмотр снеговых нагрузок производить не чаще чем раз в 20–25 лет. Скорость ветра с увеличением высоты возрастает. Это подтверждают статистические данные, полученные на множестве метеостанций, расположенных в Республике Беларусь и зарубежных странах. Неучет изменения ветрового давления по высоте приводит к существенному увеличению усилий от ветровой нагрузки в 2–3 раза. Увеличение усилий от ветровой нагрузки так же, как и от снеговой, влечет за собой необходимость массового обследования зданий и сооружений и, как правило, проведения дорогостоящих работ по усилению несущих конструкций. Определение нагрузок от мостовых грузоподъемных кранов в действующих нормативных документах полностью ориентировано на характеристики европейских грузоподъемных механизмов, что во многом не соответствует характеристикам грузоподъемных кранов, используемых в Беларуси. Предлагается крановые нагрузки определять по СП 20.133330.2011 «Нагрузки и воздействия» (актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*). При определении расчетных нагрузок от собственной массы конструктивных форм используются коэффициенты надежности по нагрузкам. Значения этих коэффициентов в действующих нормативных документах необоснованно завышены, особенно это касается металлических конструкций.

Ключевые слова: нагрузка, воздействие, усилия, нормативный документ

Для цитирования: Давыдов, Е. Ю. Анализ нормативных документов по определению нагрузок на здания и сооружения / Е. Ю. Давыдов // *Наука и техника*. 2022. Т. 21, № 5. С. 386–391. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-386-391>

Analysis of Regulatory Documents for Determining Loads for Buildings and Structures

E. Yu. Davydov¹⁾

¹⁾Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

Abstract. The calculation of building structures begins with the determination of loads and effects. The correctness of determining the values of loads and impacts, and in particular their calculated values, largely determines the reliability of structural forms, their durability and economic efficiency. The paper considers the regulatory documents for determining snow, wind and crane loads, as well as loads due to their own weight of load-bearing and enclosing structures. In most cases, changing the values of snow loads in the direction of their increase is labor- and material-intensive, since after this, it is required to examine all the supporting structures that perceive snow loads, recalculation them, and quite often, strengthen

Адрес для переписки

Давыдов Евгений Юрьевич
Белорусский национальный технический университет
ул. Ф. Скорины, 25/1,
220114, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: +375 17 272-96-97
davydovevg13@yandex.ru

Address for correspondence

Davydov Eygeney Yu.
Belarusian National Technical University
25/1, F. Skoriny str.,
220114, Minsk, Republic of Belarus
Tel.: +375 17 272-96-97
davydovevg13@yandex.ru

them. It is proposed to review snow loads no more than once every 20–25 years. Wind speed increases with height increases. This is confirmed by statistical data obtained at many weather stations located in the Republic of Belarus and foreign countries. Failure to take into account the change in wind pressure along the height leads to significant increase in the efforts from the wind load by 2-3 times. The increase in the efforts from the wind load, as well as from the snow load, entails the need for a mass survey of buildings and structures and, as a rule, expensive work to strengthen the supporting structures. Determination of loads from overhead cranes in the current regulatory documents is completely focused on the characteristics of European hoisting mechanisms, which largely does not correspond to the characteristics of cranes used in the Republic of Belarus. It is proposed to determine crane loads according to SP [Sanitary Regulations] CYbG20.133330.2011 “Loads and impacts” (updated edition of SNIIP [Construction Standards and Regulations] 2.01.07–85*). When determining the design loads from the own mass of structural forms, the reliability factor for loads is used. The values of these coefficients in the current regulatory documents are unreasonably high, especially for metal structures.

Keywords: load, impact, efforts, regulatory document

For citation: Davydov E. Yu. (2022) Analysis of Regulatory Documents for Determining Loads for Buildings and Structures. *Science and Technique*. 21 (5), 386–391. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2022-21-5-386-391> (in Russian)

Введение

Как правило, здания и сооружения, и прежде всего здания и сооружения производственного назначения, подвергаются воздействиям четырех видов нагрузок: снеговых, ветровых, крановых и нагрузок, обусловленных собственной массой конструктивных форм. Первые три вида этих нагрузок являются временными, т. е. могут какое-то время быть и отсутствовать. Последняя нагрузка, обусловленная собственной массой конструктивной формы, присутствует всегда. Поскольку несущая способность зданий и сооружений величина постоянная, ее значение определяется при действии всех нагрузок – и временных, и постоянных. Иногда к перечисленным нагрузкам добавляются особые нагрузки, возникающие при транспортировке и монтаже конструктивных форм. Они учитываются не всегда, поэтому в статье не рассматриваются.

Одновременное действие перечисленных нагрузок на несущие конструкции является вполне вероятным, но маловероятно то, что все они в один и тот же временной период будут иметь максимальное значение. Этот фактор в нормативных документах учитывается специальными коэффициентами сочетаний. Все перечисленные правила по определению нагрузок и воздействий анализируются в статье прежде всего с точки зрения пользователя, т. е. проектировщика.

Снеговые нагрузки

За прошедшие 11 лет (с 2004 по 2015 г.) значения нормативной снеговой нагрузки на

грунт в Республике Беларусь претерпели существенные изменения (табл. 1).

Таблица 1

Значения снеговой нагрузки
Snow load values

Город	Снеговая нагрузка, кПа, по годам			
	1987 г.	2004 г.	2009 г.	2015 г.
Минск	0,7	1,2	1,6	1,45
Гомель	0,7	0,8	1,6	1,55
Витебск	1,0	1,2	1,8	1,45
Могилев	1,0	1,2	1,6	1,35
Гродно	0,5	0,8	1,4	1,35
Брест	0,5	0,8	1,2	1,35

Первое, что вызывает вопросы, – это частое и значительное увеличение нагрузки за столь короткий период времени. При этом до 2009 г. снеговые нагрузки увеличиваются, а начиная с 2015-го уменьшаются (исключение составляет Брестская область).

Увеличение нагрузок порождает значительные проблемы:

1) согласно ТКП 45-1.04-305–2016 (п. 13.4) и ТКП 45-1.04-37–2008* (п. 8.29), потребуется детальное обследование всех зданий и сооружений, запроектированных до даты увеличения нагрузки;

2) возникает необходимость перерасчета несущих конструкций, что в большинстве случаев повлечет их усиление и значительные материальные и трудовые затраты.

Также вызывают сомнения аналитические формулы по определению снеговой нагрузки в зависимости от высоты расположения местности над уровнем моря ([1], табл. НП 1.1).

Согласно указанным зависимостям, нормативная снеговая нагрузка может быть как больше, так и меньше S_k – нормативного значения, определенного с вероятностью превышения 0,02. Например, для Бреста при $S_k = 1,35$ кН/м² нормативная нагрузка на отметке 128 м составляет всего 0,756 кН/м². Аналогичные результаты имеют место и по другим районам, но при этом для Гродно (подрайон 1а) и Гомеля (подрайон 3), где перепады высот могут достигать 40 м (Национальный атлас Республики Беларусь), снеговая нагрузка почему-то не зависит от высоты. Снеговые нагрузки, значения которых меньше или больше S_k , не имеют статистического обоснования, так как каждая станция, осуществляющая мониторинг за снеговой нагрузкой, замеряет снеговой покров только на одной отметке.

Следует также отметить, что значения нагрузок меньше S_k будут иметь большую вероятность превышения. Кроме того, при использовании указанных аналитических зависимостей снеговая нагрузка должна определяться уже не на грунт, а на покрытие.

В соседних с Республикой Беларусь странах ситуация со снеговыми нагрузками следующая. На 50 % территории Польши нормативная снеговая нагрузка является постоянной, не зависит от отметки местности, на другой части территории снеговая нагрузка до отметки 300 м также постоянная [1]. В Российской Федерации, Украине и Чехии нормативная снеговая нагрузка на всей территории (в каждом снеговом районе) тоже постоянная [2, 3]. Исключения составляют горные районы при высоте более 1500 м в России и 500 м в Украине [4].

Исходя из сделанных замечаний, предлагается нормативную снеговую нагрузку для каждого снегового района Республики Беларусь принять постоянной.

Ветровые нагрузки

Точность аппроксимации профиля ветра в приземном слое определяется на основании многолетних статистических данных. В СССР этим занималась лаборатория по нагрузкам и воздействиям при ЦНИИСК имени В. А. Кучеренко. На основании обработки достаточно

надежных и длительных измерений установлено, что средние скорости ветра в слое атмосферы до высоты 300 м описываются значительно точнее степенным законом, чем логарифмическим [5]. В действующем документе [6] непонятно, на каком основании принят логарифмический закон.

Несмотря на то что в [6] повышение скорости ветра с увеличением высоты не отрицается, однако при определении ветрового давления на вертикальные стены прямоугольного в плане здания этот фактор не учитывается: в качестве базовой высоты, по которой определяется нагрузка, принимается высота здания, если эта высота не превышает ширину здания (подавляющее большинство строений производственного и общественного назначения имеют именно такое соотношение этих размеров). Неучет изменения ветрового давления по высоте приводит к существенному увеличению усилий от ветровой нагрузки в 2–3 раза. Увеличение усилий от ветровой нагрузки так же, как и от снеговой, влечет за собой необходимость массового обследования зданий и сооружений и, как правило, проведения дорогостоящих работ по усилению несущих конструкций.

Крановые нагрузки на подкрановые пути

При определении крановых нагрузок на подкрановые пути (ТКП EN 1991-3–2009) учитываются следующие коэффициенты динамичности: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5, \varphi_7$ ([7], п. 2.2.2(4), 2.2.2(5)).

- Коэффициент φ_1 учитывает колебательную пульсацию моста грузоподъемного крана. В табл. 2.4 [7] отмечено, что $0,9 < \varphi_1 < 1,1$, но при этом нет никаких указаний по определению конкретного значения этого коэффициента.

- Коэффициент φ_2 учитывает динамические эффекты, возникающие при отрыве груза от пола. Определяется в зависимости от постоянного значения скорости подъема груза ([7], табл. 2.5) и класса подъемного оборудования НС (в нормативных документах на мостовые краны, используемые в Беларуси, подобная классификация не предусмотрена). Изменяется этот коэффициент в интервале 1,10–1,42. Здесь следует отметить, что при определении коэффи-

циента совершенно не учитывается важнейшая характеристика крана – режим работы, поскольку класс подъемного оборудования не предполагает какой-то конкретный режим работы ([7], табл. В.1). Например, при классе подъемного оборудования НС4 режимы работы (S-класс) могут быть S4, S5, S6, S7, S8, S9 ([7], Приложение В), для которых спектр нагружения изменяется в интервале 0,0313–1,0000, а количество циклов может быть в интервале $1,6 \cdot 10^4$ – $8 \cdot 10^6$. Не учитывать указанные факторы представляется необоснованным.

- Коэффициент φ_3 определяется по формуле $\varphi_3 = 1 - \Delta m/m(1 + \beta_3)$ ([7], табл. 2.4). Очевидно, что наибольшая сила, возникающая при неожиданном сбрасывании поднимаемого груза, будет при $\Delta m = m$. Тогда $\varphi_3 = \beta_3$, где $\beta_3 = 0,5$ или $\beta_3 = 1,0$ ([7], табл. 2.3), т. е. получается, что φ_3 или снижает нагрузку от поднимаемого груза, или не оказывает никакого влияния на нее. Поэтому применение коэффициента φ_3 при расчете подкрановых балок представляется обязательным.

- Коэффициент φ_4 учитывает динамические эффекты, возникающие при движении крана по рельсовым путям. В строительных нормах [8], которые регламентируют в Беларуси допуски при устройстве рельсовых путей, не предусматриваются меры по минимизации динамических воздействий, возникающих при движении мостовых кранов: стыки рельсов не завариваются, торцы рельсов делаются прямыми, в стыках рельсов предусматривается зазор 4 мм при температуре 0 °С (при температуре минус 30 °С этот зазор может достигать 7 мм), допускается смещение торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте на 2 мм. Также в этом документе не предусмотрено обязательное применение эластомерных подкладок между рельсом и подкрановой балкой. При наличии указанных допусков коэффициент φ_4 не может быть принят равным 1, а должен определяться с помощью моделирования ([7], табл. 2.4), проведение которого в проектных организациях не предусмотрено, т. е. практически определение φ_4 невозможно.

- Коэффициент φ_5 используется для определения горизонтальных поперечных сил, обу-

словленных ускорением и торможением моста крана. Согласно п. 2.7 [7], нормативные значения горизонтальных сил указываются поставщиком крана. Например, поперечная горизонтальная сила определяется через движущую силу K , значение которой должен представить поставщик крана ([7], п. 2.7.3(2)). В нормативной документации, сопровождающей мостовые краны, используемые в Беларуси, такой характеристики нет. Если коэффициент φ_5 не включен в детализированную документацию поставщика крана, он, согласно п. 2.7.2(5) [7], определяется по табл. 2.6 [7]. Формулировки, приведенные в этой таблице, определяющие диапазоны φ_5 , совершенно не конкретны: $1,0 \leq \varphi_5 \leq 1,5$, если «силы изменяются плавно»; $1,5 \leq \varphi_5 \leq 2,0$ «для случаев, где могут произойти резкие изменения»; $\varphi_5 = 3$ «для приводов, имеющих значительный «мертвый» ход». Вычислить достоверное значение коэффициента φ_5 не представляется возможным, так как приведенные формулировки не имеют никакого числового сопровождения.

- φ_7 – коэффициент динамичности. При расчете подкрановых балок горизонтальная сила, возникающая при ускорении или торможении тележки крана, согласно пп. 2.7.5 и 2.11.2 [7], может быть принята равной 0,1 от суммы грузоподъемности крана и веса тележки (это в два раза больше, чем по документу [2], используемому в России), или «в других случаях» – по формуле (2.15) [7]. Прежде всего, здесь нет разъяснений, что подразумевается «в других случаях», а формулу (2.15) [7] не представляется возможным применить, так как используемая там динамическая жесткость буфера S не определена. Коэффициент φ_7 применительно к горизонтальной силе изменяется в интервале 1,25–1,60 ([7], табл. 2.10) в зависимости от характеристики буфера. При этом также не определено, как вычислить эту характеристику буфера при ускорении и торможении тележки крана ([7], рис. 2.9).

При расчете подкрановых балок коэффициент надежности по нагрузке (γ_F – для крановой нагрузки и γ_G – для нагрузки от собственного веса) принят равным 1,35 ([7], табл. А1), что, учитывая наличие на кранах ограничи-

телей грузоподъемности, представляется весьма завышенным и необоснованным. В [2] значения этих коэффициентов: 1,20 – для крановой нагрузки; 1,05 – для собственного веса.

Крановые нагрузки на поперечную раму здания

При расчете поперечной рамы здания (ПРЗ), как правило, используются усилия от сочетаний нагрузок ([9], п. 6.4.3.2). Наиболее часто эти сочетания образуются из усилий от постоянной, снеговой, ветровой и крановой нагрузок. При определении усилий от крановой нагрузки учитываются два крана при однопролетном или четыре крана при многопролетном здании. Очевидно, вероятность того, что на крюке каждого крана будет максимальный груз и тележки всех кранов будут максимально приближены к какой-то стойке ПРЗ, не равна единице. Этот фактор в [9] не учитывается, так же как и режим работы крана. Например, в [2] применяются следующие коэффициенты сочетаний: если учитываются два крана, то эти коэффициенты равны: 0,85 – при режимах работы кранов А1–А6; 0,95 – при режимах работы А7 и А8; если используются четыре крана, то соответственно 0,7 и 0,8.

Если крановая нагрузка из всех временных нагрузок является доминирующей, то, согласно [9], при составлении сочетаний усилия от крановой нагрузки не уменьшаются. Но если усилия от крановой нагрузки не являются доминирующими, их необходимо умножить на понижающий коэффициент ψ_0 ([9], п. 6.4.3.2). Значения ψ_0 приведены в табл. А1.1 [9] (Приложение А1). Но почему-то в этой таблице нет ни производственных зданий, ни крановых нагрузок. В национальном приложении их тоже нет, и поэтому составить сочетания усилий не представляется возможным.

Коэффициент надежности по нагрузке для крановых нагрузок, являющихся временными, принят 1,5 ([9], табл. А1.2(В)), то же приведено в национальном приложении. Столь существенное увеличение крановой нагрузки необоснованно прежде всего потому, что, как было сказано выше, все грузоподъемные краны оборудованы приборами по ограничению веса

поднимаемого груза. Эти приборы не позволяют поднимать груз, превышающий грузоподъемность крана более чем на 10 % («Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов»). В [2] коэффициент надежности принят 1,2. Также в [9] является завышенным и необоснованным значение коэффициентов надежности по нагрузке для постоянной нагрузки (от собственного веса металлоконструкций): 1,2 – для металлоконструкций, изготавливаемых на заводе; 1,3 – для металлоконструкций, изготавливаемых на строительной площадке.

Определение веса металлических конструкций в зависимости от места изготовления необоснованно. Изготовление их в заводских и вне заводских площадок производится только по чертежам конструкций металлических детализированных (КМД), при этом отступления не допускаются. В чертежах КМД указываемый вес металлических конструкций, как правило, является завышенным, поскольку определяется по весу заготовок, а не по весу деталей, образующих конструкцию.

ВЫВОДЫ

1. Значения нормативных снеговых нагрузок, определяемые по СН 2.01.04–2019, не являются достаточно обоснованными. Значения нормативной снеговой нагрузки необходимо корректировать не чаще 20 лет [4, 10].

2. Методика определения ветровых нагрузок, предложенная в СН 2.01.05–2019, обуславливает значительное увеличение усилий в элементах каркаса здания. Усилия от ветровых нагрузок следует определять с учетом изменения ветрового давления по высоте зданий и сооружений.

3. Определение достоверных значений динамических коэффициентов при расчете крановых нагрузок по ТКП EN 1991-3–2009 не представляется возможным. Кроме того, в этом документе отсутствует национальное приложение, что делает ТКП EN 1991-3 неготовым для практического применения. СН 2.01.04, СН 2.01.05, ТКП EN 1991-3 и СН 2.01.01 являются копиями европейских документов, предназначенных для стран – членов Европейского комитета по стан-

дартизации. Республика Беларусь в этот Комитет не входит, поэтому Еврокоды не соответствуют техническим кодексам, ГОСТам и типовым проектам, используемым в Беларуси.

4. При расчете каркаса здания крановые нагрузки значительно и необоснованно завышаются, прежде всего, за счет неиспользования коэффициентов сочетаний, учитывающих количество кранов и режим работы последних, а также применения завышенного коэффициента надежности для временных нагрузок.

5. Определение нагрузок по действующим нормативным документам приводит к значительному увеличению материалоемкости строительных конструкций. Рекомендуется разработать нормативные документы по определению нагрузок на основе СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия», применяемого в России. Нормативные документы, разработанные с учетом сделанных замечаний, позволят существенно уменьшить материалоемкость строительных конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздействие на конструкции. Общие воздействия. Снеговые нагрузки: СН 2.01.04–2019. Минск: Минстройархитектуры, 2020. 42 с.
2. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85*: СП 20.13330.2011. Введ. 20.05.2011. М.: Минрегион России, 2010. 91 с.
3. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования: ДБН В.1.2-2:2006. Киев, 2006.
4. Лопкина, В. А. Расчет и картирование снеговой нагрузки на поверхности земли / В. А. Лопкина // Криосфера земли. 2015. Т. XIX, № 1. С. 106–113.
5. Руководство по расчету зданий и сооружений на действие ветра. М.: Стройиздат, 1978. 215 с.
6. Воздействия на конструкции. Общие воздействия. Ветровые воздействия: СН 2.01.05–2019. Введ. 08.09.2020. Минск: Минстройархитектуры, 2020. 128 с.
7. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 3. Воздействия, вызванные кранами и механическим оборудованием: ТКП EN 1991-3–2009. Минск: Минстройархитектуры, 2010. 75 с.
8. Возведение строительных конструкций зданий и сооружений: СН 10301–2019. Минск: Минстройархитектуры, 2019. 108 с.
9. Основы проектирования строительных конструкций: СН 2.01.01–2019. Введ. 08.09.2020. Минск: Минстройархитектуры, 2020. 90 с.
10. Определение нормативных и расчетных значений снеговых нагрузок / И. Д. Грудев [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 4. С. 10–12.

Поступила 17.06.2022

Подписана в печать 18.08.2022

Опубликована онлайн 30.09.2022

REFERENCES

1. SN [Building Regulation] 2.01.04–2019. Impact on Structures. General Impacts. Snow Loads. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2020. 42 (in Russian).
2. SP [Code of Practice] 20.13330.2011. Loads and Impacts. Updated Edition of SNiP [Construction Standards and Regulations] 2.01.07–85*. Moscow, Publishing House of OJSC “TsPP”, 2011. 91 (in Russian).
3. DBN [National Building Code] B.1.2-2:2006. Loads and Impacts. Design Standards. Kiev, 2006 (in Russian).
4. Lopkina V. A. (2015) Calculation and Mapping of Snow Load on the Ground Surface. *Kriosfera Zemli = Earth's Cryosphere*, XIX (1), 106–113 (in Russian).
5. *Guidelines for Calculation of Buildings and Structures for the Action of the Wind*. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978. 215 (in Russian).
6. SN [Building Regulation] 2.01.05–2019. Impact on Structures. General Impacts. Wind Effects. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2020. 128 (in Russian).
7. ТКП [Technical Code of Common Practice] EN 1991-3–2009. Eurocode 1. Impacts on Structures. Part 3. Impacts Caused by Cranes and Mechanical Equipment. Minsk: Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2010. 75 (in Russian).
8. SN [Building Regulation] 10301–2019. Erection of Building Structures of Buildings and Structures. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2019. 108 (in Russian).
9. SN [Building Regulation] 2.01.01–2019. Basics of Designing Building Structures. Minsk, Publishing House of Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2020. 90 (in Russian).
10. Grudev I. D., Filippov V. V., Kornilov T. A., Rykov A. V. (2007) Determination of Normative and Design Values of Snow Loads. *Promyshlennoye i Grazhdanskoye Stroitel'stvo = Industrial and Civil Engineering*, (4), 10–12 (in Russian).

Received: 17.06.2022

Accepted: 18.08.2022

Published online: 30.09.2022