

УДК 624.042.42(083.75):69.059.4

Об особом отношении к снеговой нагрузке в российских нормах

Виктор Иванович МАЛЫЙ, доктор физико-математических наук, профессор

ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова», 117997 Москва, ул. Архитектора Власова, 49, e-mail: info@stako.ru

Критически рассмотрены положения методики нормирования снеговой нагрузки в российских нормах, приводящие к существенному занижению расчетного значения нагрузки. Показано, что объявляемая обеспеченность расчетного значения не учитывает весьма существенную роль срока службы здания и потому не имеет отношения к задачам проектирования, так как реализуется при сроке службы один год. Сформулированы рекомендации, основанные на сравнении с нормами других стран и известными результатами вероятностно-оптимизационного подхода.

Ключевые слова: строительные конструкции, методы расчета, снеговая нагрузка, методика нормирования, срок службы, надежность, теория вероятностей.

ON A PARTICULAR ATTITUDE TO SNOW LOAD IN THE RF STANDARDS

Victor I. MALY

The provisions of the methodology of snow load normalizing in the Russian standards leading to a significant underestimation of the calculated load value are critically analyzed. It is shown that the declared validity of calculated value does not take into account a quite significant role of service life of the building and therefore it is not relevant to the tasks of design, as realized in the service life of one year. Recommendations based on a comparison with the rules of other countries and the well-known results of the probabilistic-optimal approach are formulated.

Key words: building structures, methods of calculation, snow load, method of normalizing, service life period, reliability, probability theory.

Авторы работы [1] обобщали опыт нормирования словами: за последние годы «не было ни одной аварии из-за недоучета снеговых нагрузок», а в статье [2] утверждалось, что «весома эпизодические аварии имеют, как правило, совсем другие причины». Тот факт, что аварии намного чаще происходят в снежных районах в снежные зимы, прямо указывает на то, что для работы конструкций без снега обеспечивающие нашими нормами запасы прочности более-менее достаточны, а со снегом недостаточны. Раньше этот факт слабо проявлялся, ибо основную долю в объеме строительства занимали промздания с тяжелыми покрытиями, а сейчас в снежные зимы сообщения об авариях покрытий приходят постоянно. Потому нужно информировать инженеров об отсутствии в нормах запасов в части снеговой нагрузки. Далее показано, что при нормировании закладывался недостаток обеспеченности и предполагалось, что он будет покрыт какими-то другими запасами. Поскольку количественно и документально для всех конструкций эти «другие запасы» задать невозможно, то и поступать так при разработ-

ке норм общего пользования было недопустимо.

Проектный расчет можно считать документом, обосновывающим выполнение условий первой группы предельных состояний, только если принятые в нем расчетные нагрузки представляют собой наибольшие возможные нагрузки в течение всего срока службы сооружения [3, п. 1.5]. В оценочном расчете влияющие на результат факторы можно отображать ожидаемыми из каких-то соображений значениями. В проектном же расчете необходимо анализировать степень неопределенности имеющейся информации и назначать расчетное значение с достаточным запасом. Если при эксплуатации конструкции запас прочности оказался нарушенным, это означает, что при его назначении была допущена ошибка.

Эти элементарные положения приходится напоминать только потому, что при нормировании снеговой нагрузки [1, 2] они не соблюдаются. Даже без запаса к наблюдавшимся значениям для Московского региона расчетная нагрузка должна быть 2100 Па, а есть 1800 Па. И средний период превышения такого

значения $T_{\text{нов}} = 25$ лет [1, 2]. Это противоречит обязанностям проектировщика обеспечивать отсутствие отказов за срок службы T , ибо предполагает выход конструкции в запредельное состояние в среднем $T/T_{\text{нов}} = 2\dots 4$ раза.

Проектировщику необходимо знать ответы на два вопроса: 1) если за 100 лет наблюдений в Московском регионе дважды наблюдалась снеговая нагрузка 2100 Па, то доказал ли кто-нибудь, что не могут реализоваться еще большие значения? 2) имеется ли в российских нормах коэффициент надежности $\gamma_f > 1$, который мог бы нейтрализовать отрицательные последствия данной неопределенности снеговой нагрузки? Прямые ответы на них отрицательны. Фактически для снеговой нагрузки действуют особые правила, которые в применении к другим положениям проектного расчета были бы квалифицированы как грубо ошибочные. Нельзя не учитывать эти обстоятельства, ибо проектный расчет в отличие от свободных рассуждений имеет статус юридического документа, а проектировщик по действующему законодательству несет уголовную ответственность за пра-

вильность использованных в проектном расчете положений.

1. Методика районирования для веса снегового покрова (ВСП) описана в работах [1, 2, 4]: «в один район с каким-то конкретным значением объединялись пункты с этим, а также с несколько большими (примерно на одну треть выше интервального) и меньшими (на две трети ниже интервального) значениями» [4]. Например, в III снеговой район с расчетным значением ВСП 1800 Па объединяются пункты с фактически наблюдавшимися значениями ВСП от 1410 до 2000 Па. В. Д. Райзер [4] трактует это как обычную погрешность унификации. Однако из этого не вытекает допустимость нарушать запас прочности. Так, при подборе сечений выбор ближайшего номера профиля из сортамента не в запас прочности — грубая ошибка, как и выбор проекта фермы из номенклатуры типовых проектов не в запас надежности по нагрузке. Это азы практики проектирования. Любая неопределенность в проектном расчете должна трактоваться в форме, обеспечивающей запас надежности. Потому описанный «принцип районирования» [1, 2, 4] является нарушением требований надежности к проектному расчету.

2. Авторы норм [2] признают, что при расчетном значении ВСП 1800 Па превышение его до 2100–2150 Па «можно прогнозировать для Москвы и Московской обл. с повторяемостью в среднем 1 раз в 100 лет», но вслед за этим утверждают, будто «возможное превышение вышеуказанных расчетных значений... вполне компенсируется введением в расчетах наиболее ответственных строительных конструкций коэффициентов надежности по ответственности, которые, как правило, перекрывают это незначительное превышение».

Однако согласно [5], даже при I уровне ответственности возможны значения $\gamma_n < 1$. Для массовых конструкций II уровня ответственности ($\gamma_n = 0,95$) эти доводы вообще не имеют смысла. Но даже при максимальном значении $\gamma_n = 1,2$ по такой «логике» получается, что коэффициент γ_n , введен не для повышения надежности ответственных объектов, а для покрытия неуместной «смелости» назначения расчетной

нагрузки. Кроме того, здесь «незначительным» названо превышение расчетного значения S вероятными фактическими нагрузками на 20%! По последствиям это эквивалентно необоснованной замене стали класса С345 на сталь С285. Столь безответственное отношение к проектному расчету недопустимо.

3. Неотъемлемое свойство снеговой нагрузки — характер ее изменчивости как временного процесса. Меру ее опасности нельзя оценить без учета срока службы T . Чем он больше, тем больше шансы «дождаться» снежной зимы. Годовые максимумы ВСП являются случайной величиной s . Для людей, изучающих снеговую нагрузку саму по себе, вся информация о ее свойствах содержится в распределении $P(S)$, которое представляет собой вероятность соблюдения неравенства $s < S$ за одну зиму. Для строителя же практический смысл имеет только многое более опасная величина s_T , являющаяся максимумом ВСП за срок службы T [3, п. 1.5]. Ее распределение вычисляется как вероятность сочетания независимых событий [4, 6–8] по простому правилу перемножения вероятностей отдельных событий $P_T(S) = P(S)^T$. И даже когда вероятность $P(S)$ близка к 1, нужная нам вероятность $P_T(S)$ может стать близкой к нулю при достаточно большом T .

Дальнейшее изложение для конкретности ведется на примере Московского региона. В СНиП [5] расчетная снеговая нагрузка $S = 1800$ Па назначена так, что вероятность безопасной работы в течение одной зимы равна $P(S) = 0,96$ [1, 2]. Потому нужная вероятность безопасной работы в каждую из зим при T , равном 50; 100 лет, принимает характерные значения

$$P_T(S) = P(S)^T = 0,96^T = 0,13; 0,02. \quad (1)$$

При значениях (1) нет смысла говорить об обеспеченности безопасной работы за срок службы, а следует говорить об отсутствии гарантий безопасности.

В работах [1, 2] вместо аномальных значений $P_T(S) < 0,15$ за срок службы T приводится значение $P(S) = 0,96$, которое не имеет отношения к задачам проектирования, ибо является вероятностью удачно-

го испытания снеговой нагрузкой за один год. Вряд ли занимающиеся случайными нагрузками люди не знакомы с элементарными положениями теории вероятностей о существенной роли числа испытаний. Тем более что она отражена и в работах по нормированию снеговой нагрузки [4, 6–9 и др.], в частности и в работах ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко, а в нормах Еврокода и стандартах ISO явно указаны требования по учету сроков службы. И все-таки в работах [1, 2] эта роль игнорируется. А в ответ на напоминание о ней [10] в работе [2] заявлено: «не следует прямо связывать расчетное значение снеговой нагрузки со сроком службы сооружений...». Будто после этих слов могут перестать действовать вероятностные законы природы, связывающие риск с числом испытаний!

4. Из-за аномально низких характеристик безопасности (1) по снегу в нормах РФ естественно возникает вопрос о сравнении с нормами других стран. В. Д. Райзер [4] говорит, что нормирование снеговых нагрузок в США, странах Западной Европы, Польше намного (раза в 2) осторожнее, чем в нашей стране. Авторы [1] оценили уровень безопасности ЕвроКода по снегу как «неприемлемый» для России, ибо он требует для Московского региона слишком большую, по их мнению, расчетную нагрузку $S > 3000$ Па (риск превышения за 1 год $R(S) = 0,0005$, $T_{\text{пов}} = 2000$ лет, $P(S) = 0,9995$). Ссылаясь на [10] вопреки факту, что обсуждаемое значение $S = 3000$ Па получено в [1] по ЕвроКоду, авторы работы [2] снова называют это значение неприемлемым и утверждают, что его использование противоречило бы всей «мировой практике нормирования климатических нагрузок». Понятно, что нормирование по ЕвроКоду не может противоречить «всей мировой практике», но авторы [2] еще поясняют свои представления о ней словами: «в качестве расчетного в нормах РФ и большинства стран мира принимается превышаемое в среднем один раз в 25, 30 или 50 лет значение ВСП». Здесь используется подмена понятий. На самом деле, по $T_{\text{пов}} = 50$ лет назначается в ЕвроКоде не расчетное, а характеристическое значе-

ние ВСП (аналог нашего нормативного), тогда как расчетное больше него в 1,5 раза [1]. Учет этого в корне меняет результаты сравнения.

Согласно [10] расчетная нагрузка $S = 3000$ Па по ЕвроКоду обеспечивает приемлемый уровень безопасности именно с учетом повторяемости снеговой нагрузки T раз за срок службы. Так, для $T = 100$ лет при взятых из [1] параметрах нагрузки S по ЕвроКоду вместо (1) имеем:

$$\begin{aligned} P_T(S) &= P(S)^T = P(S)^{100} = \\ &= 0,9995^{100} = 0,95. \end{aligned} \quad (2)$$

Сравнение обеспеченностей (1) и (2) явно показывает отличие уровней безопасности по снегу в нормах РФ и по ЕвроКоду. При меньших, чем (2), значениях трудно говорить о гарантиях безопасности. Для сравнения: обеспеченность даже нормативных сопротивлений сталей R_{up} согласно ГОСТ [3] не должна быть ниже 0,95. Реальные же значения обеспеченностей для R_{up} равны 0,98–0,99, а для расчетных сопротивлений R_y они поднимаются до значений порядка 0,999.

Психологически можно понять возникающие на бытовом уровне впечатления, будто события, характеризуемые риском $R(S) = 0,0005$ за 1 год, настолько маловероятны, что нет смысла предусматривать их в вычислениях при оценках риска (2). При этом упускается из вида, что при многократных реализациях нагрузок риск столкнуться с редкими событиями возрастает на порядки и перестает быть таким малым, как кажется авторам [1, 2] при учете только распределения $P(S)$ годовых максимумов. Потому бытовые соображения не могут подменять последовательные и аккуратные вычисления типа (1), (2). Конкретный пример аномально жаркого лета 2010 г. продемонстрировал всем возможность реализации при сроках наблюдения порядка 100 лет даже событий, оцениваемых периодом повторяемости 6000–10 000 лет и считавшихся до того практически невероятными.

В нормах сейсмостойкого строительства периоды повторяемости землетрясений 1000–10 000 лет не служат поводом для их игнорирования.

5. Хотя каждый из параметров

проектного расчета есть случайная величина, методика расчета строительных конструкций по предельным состояниям является детерминированной по форме. В ней каждая величина представлена своим расчетным значением, так что фактические значения случайной величины в принципе могут выходить за границу, обозначенную ее расчетным значением. Эта методика сохраняет не противоречивость только при условии, что вероятность выхода каждого из случайных параметров за его расчетное значение пренебрежимо мала с практической точностью. Тогда выполнение предельного неравенства в проектном расчете с расчетными значениями параметров гарантирует и справедливость поверочного расчета по фактическим случайным значениям параметров в том же самом практическом смысле. На этом факте основана вся методика инженерных расчетов. В случае же со снегом получается, что фактические значения нагрузки за срок службы T остаются согласно (1) с очень малой вероятностью $P_T(S) < 0,15$ в пределах, заданных неправильно назначенным расчетным значением S . Поэтому проектный расчет вообще теряет какой-либо смысл (а тем более – юридический), ибо, наоборот, прямо предполагает с большой вероятностью ($>0,85$) выведение конструкции в запредельное состояние в течение срока ее службы, но оставляет вне рассмотрения возможные последствия этого.

Отсутствуют какие-либо объективные предпосылки для того, чтобы при нормировании снеговой нагрузки в виде исключения отказываться от основных положений методики предельных состояний. Тот факт, что случайная величина ВСП может принимать значения, превышающие уже наблюдавшееся значение 2100 Па, должен отражаться в проектном расчете коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f > 1$. Расчетное значение ВСП $S = \gamma_f S_n$ должно быть достаточно большим, чтобы риск его превышения фактическими нагрузками был пренебрежимо мал. Ориентиром при выборе коэффициента надежности могут служить здравые инженерные соображения, непредвзятые сравнения с нормами

других стран и результаты расчетов по страхованию, уравновешивающие стоимость сооружения и имеющийся риск [6]. Так, руководствуясь ЕвроКодом, мы имели бы $S_n \approx 2000$ Па, $\gamma_f = 1,5$ и $S \approx 3000$ Па для Московского региона [1].

6. Особого внимания заслуживает хорошо проработанный в СССР вероятностно-оптимизационный подход [4, 7, 9], позволяющий определять расчетные значения параметров, анализируя баланс стоимости конструкций и возникающих при их отказе потерь. В применении к конструкциям с чисто экономической ответственностью его рекомендации носят полностью объективный характер, но они не получили развития из-за проблем с обобщением на конструкции с неэкономической ответственностью. Тем не менее следует помнить результаты, в основном полученные в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко: при сроке службы $T = 50$ лет нерационально назначать снеговую нагрузку менее 2500 Па для Московского региона, если отказ вызовет потери, хотя бы в 10 раз превышающие стоимость самих конструкций [4, 9]. И так как значения расчетной снеговой нагрузки S на конструкции с неэкономической ответственностью не могут быть ниже, имеем уверенную оценку $S > 2500$ Па. Далее, в рамках сформировавшихся представлений об ответственности фактически используемые в расчетах объектов с разными уровнями ответственности нагрузки связаны между собой через соответствующие значения коэффициентов надежности по назначению γ_n , так что результат работы [9] сейчас следует представлять в виде равенства $\gamma_n S = 2500$ Па, а рассмотренные в ней конструкции нужно относить к III уровню ответственности [5] со значениями $\gamma_n = 0,8...0,85$. Потому для $S = 2500$ Па/ γ_n имеем

$$2950 < S < 3120 \text{ Па},$$

что хорошо согласуется с требованиями ЕвроКода [1] и предложениями [10].

7. Сейчас авторы норм РФ [1, 2] относятся к снеговой нагрузке как к величине, которую инженер должен формально представить в проектный расчет, не обращая внимания на отсутствие запаса надежности, требуе-

мого для всех факторов, учитываемых в проектной документации. Конструкции при реальных нагрузках практически обязательно за срок службы оказываются в запредельных состояниях, не предусматривавшихся проектным расчетом. Без каких-либо количественных обоснований считается, что запасов, предусмотренных при учете других кроме снега факторов, будет достаточно для безопасной работы этих конструкций. На самом деле такие надежды находятся за пределами компетенции инженеров-строителей, ибо невозможно количественно оценивать, когда и на что хватит запасов, подразумевавшихся в чисто предположительной форме кем-то другим вместо проектировщика. Эти надежды остаются вне проектной документации, хотя проектный расчет имеет статус юридического документа.

Для нормализации положения в рамках методики предельных состояний не требуется каких-либо новых разработок. Необходимо лишь отка-

заться от беспрецедентной практики назначения расчетного значения снежной нагрузки с явным нарушением требований запаса надежности в проектном расчете. Можно ориентироваться на значение коэффициента надежности 1,5 к фактически наблюдавшимся значениям снежных нагрузок, как это принято в Еврокоде [1]. Практически к тем же результатам приводит использование рекомендаций работы [10] или предложенной в п. 6 методики, обобщающей результаты вероятностно-оптимизационного подхода [4, 9].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Отставнов В. А., Лебедева И. В., Розенберг Л. С. Совершенствование нормативных документов. Методика нормирования снежных нагрузок для о. Сахалин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2003. № 3. С. 25–28.
2. Назаров Ю. П., Лебедева И. В., Попов Н. А. Региональное нормирование снежных нагрузок в России // Строительная механика и расчет сооружений. 1973. № 5. С. 15–19.
3. ГОСТ 27751–88. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету.
4. Райзер В. Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. М. : Стройиздат, 1986. 193 с.
5. СНиП 2.01.07-85*. Нагрузки и воздействия.
6. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М. : Мир, 1965. 450 с.
7. Ржаницын А. Р. Строительная механика. М. : Высш. шк., 1982. 400 с.
8. Аугусти Д., Баратта А., Кашиати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. М. : Стройиздат, 1988. 583 с.
9. Булычев А. П., Сухов Ю. Д. Применение теории надежности для нормирования расчетных значений нагрузок // Строительная механика и расчет сооружений. 2004. № 5. С. 25–28.
10. Предложения по назначению расчетной снежной нагрузки / В. А. Савельев, В. И. Малый, А. Б. Павлов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. 2004. № 5. С. 25–28.