

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКРЫТИЯХ ОДНОПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ

Введение. Общеизвестно наличие климатических изменений, произошедших за XX столетие в северном полушарии. Происходящее и в настоящее время потепление, как ни парадоксально, вызывает резкое увеличение максимумов осадков, и особенно в зимний период. Свидетельством этих изменений явились, кроме метеорологических катаклизмов, участвовавшие аварии конструкций покрытия зданий и сооружений, одной из причин которых явились повышенные величины снеговых нагрузок, которые не могли быть учтены при проектировании из-за консерватизма нормативной базы. Данные обстоятельства можно объяснить тем, что нормирование снеговых нагрузок в применяемой нормативной базе основывается на статистической информации, собранной и обработанной за первые три четверти XX века, в которой не могли учесть тенденции климатических изменений и ряд других обстоятельств. В последние годы происходит существенная переработка нормативной базы в отношении снеговых нагрузок, действующих на здания и сооружения, причем изменения касаются только веса снегового покрова на земной поверхности [1,3÷10].

Содержание. Изменены нормативные значения снеговых нагрузок для Республики Беларусь и для стран граничащих с ней - Украины, Польши, Литвы, России. При этом нормативные значения снеговой нагрузки существенно возросли по сравнению с теми, что были приняты в [1] (для стран бывшего СССР) или в [6] (для Польши). В Беларуси проводятся исследования, уточняющие карты районирования снеговых нагрузок [11].

В Беларуси с 2004 года в соответствии с изменением [7] к [1], для которой по [1] существовало всего 2 снеговых района нормативное значение s_0 увеличено на 60-70% соответственно до 0,8 и 1,2 кПа. Не совсем ясно, на основании каких исследований и на базе какого объема метеорологических данных приняты указанные снеговые нагрузки.

Для РФ в принятых изменениях [8] упоминается о том, что в пунктах с высотой над уровнем моря более 1500 м и в местах со сложным рельефом нормативное значение снеговой нагрузки следует устанавливать на основании данных Росгидромета. В качестве расчетного значения s_0 рекомендуется принимать превышаемый в среднем один раз в 25 лет ежегодный максимум веса снегового покрова, определяемый на основе данных маршрутных снегосъемок о запасах воды на защищенных от прямого воздействия ветра участках (в лесу под кронами деревьев или на лесных полянах) за период не менее 20 лет. В изменении [8] в РФ за основу приняты расчетные значения снеговых нагрузок. Для II района РФ принято расчетное значение, увеличенное на 7%, по сравнению с ранее существующим. В [8] нормативное значение снеговой нагрузки определяется умножением расчетного значения на коэффициент 0,7.

Наиболее детализирована территория стран-членов СЕН, которая разделена на 9 климатических районов. В климатических регионах выделяются так называемые «зоны» которые используются для корректировки веса снегового покрова на поверхности земли в зависимости от высоты исследуемого объекта над уровнем моря. Такая градация предусмотрена для всех стран-членов СЕН, кроме Норвегии, где карта районирования по весу снега на земле не зависит от высоты местности над уровнем моря. Иногда один район занимает территорию нескольких стран.

Общая методика определения снеговой нагрузки в Северной Америке по [10], принципиально не отличается от [1]: для определения снеговых нагрузок на покрытия зданий используется вес снегового покрова земли, определяемый по соответствующей карте районирования территории страны. Переход от веса снегового покрова земли к нагрузке на покрытия осуществляется с помощью коэффици-

циентов, учитывающих профиль покрытий.

Полное нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия s в соответствии с [1] следует определять по формуле

$$s = s_0 \mu,$$

где s_0 — нормативное значение веса снегового покрова на 1 м² горизонтальной поверхности земли, принимаемое в соответствии с п. 5.2 [1];

μ — коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с пп. 5.3-5.6 [1].

В [4] рекомендуется пиковое значение снеговой нагрузки на покрытие определять по формуле

$$S = k s \rho h,$$

где k — безразмерный коэффициент, учитывающий форму крыши и ее уклон; S — переходный коэффициент, представляющий отношение снеговой нагрузки на крыше к снеговой нагрузке на поверхности земли; ρ — плотность снега, кН/м³; h — пиковое значение толщины снегового покрова за период нагружения в процессе эксплуатации, м.

В [2] случайный процесс изменения снеговой нагрузки на поверхности земли можно задать функцией математического ожидания (возможно, в виде алгебраического полинома третьей степени), а также постоянного во времени значения коэффициента вариации, коэффициента асимметрии и эффективной частоты. Распределение ординаты описывается полиномиально-экспоненциальным законом с плотностью

$$f(x) = \exp(a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3),$$

где a_0, \dots, a_3 — переменные во времени параметры, определенные по значениям математического ожидания, стандарта и коэффициента асимметрии в соответствующий момент времени.

Универсальность распределения позволяет использовать его для описания снеговой нагрузки в различных географических районах.

В зависимости от характера нагрузок и целей расчета используются расчетные значения: эксплуатационное, квазипостоянное, предельное.

Снеговая нагрузка является переменной повторной нагрузкой, для которой установлены три расчетные значения:

$$\text{предельное расчетное значение} - S_m = \gamma_{fm} S_0 C;$$

$$\text{эксплуатационное расчетное значение} - S_e = \gamma_{fe} S_0 C;$$

$$\text{квазипостоянное расчетное значение} - S_p = (0.4 S_0 - S) C.$$

Предельное расчетное значение нагрузки соответствует экстремальной ситуации, которая может возникнуть не более одного раза в течение срока эксплуатации конструкции, и используется для проверки предельных состояний первой группы, выход за границы которых эквивалентен полной утрате работоспособности конструкции.

Эксплуатационное расчетное значение нагрузки характеризует условия нормальной эксплуатации конструкции, используется для проверки предельных состояний второй группы, связанных с затруднением нормальной эксплуатации (возникновение недопустимых перемещений конструкции, чрезмерное раскрытие трещин в железобетонных конструкциях, недопустимая вибрация и т.п.).

Квазипостоянное расчетное значение нагрузки используется для учета геологических процессов, протекающих под действием переменных нагрузок.

К основным факторам, определяющим величину снеговой нагрузки на покрытия зданий, относится: количество выпадающего в зимнее время снега; плотность снега; форма покрытия; ссыпание снега с наклонных поверхностей; перенос снега на покрытиях, приводя-

щий к их неравномерным отложениям на поверхностях покрытий и к сносу некоторой части выпавшего снега с покрытия; таяние снега на теплых покрытиях, покрытиях зданий с тепловыделениями; влияние средней температуры наиболее холодного зимнего месяца на распределение снеговой нагрузки; защита покрытий соседними зданиями.

Снеговая нагрузка на покрытия зданий и сооружений создается весом снегового покрова, эквивалентному запасу воды в его толще. Учет полной снеговой нагрузки на покрытия производится там, где снег на них накапливается в течение всей зимы. Для зданий с тепловыделениями учитывается возможность частичного подтаивания снега на покрытии. Следует отметить, что не представляется возможным учесть нагрузку от одного снегопада на тепловыделяющих покрытиях. Для покрытий такого типа возможна ситуация, при которой скорость таяния снега может превышать интенсивность снегопада.

При формировании снеговой нагрузки на покрытиях однопролетных зданий наблюдается неравномерное отложение снега на двухскатных покрытиях, а также ссыпание и сдувание снега с поверхности покрытий. Именно эти явления учтены приведенными в нормах большинства стран коэффициентами μ , зависящими в основном от уклонов покрытий. Коэффициент сдувания снега μ из [1] достаточно близок к соответствующим значениям из [3], хотя здесь имеются и заметные различия (рис. 1 и 2).

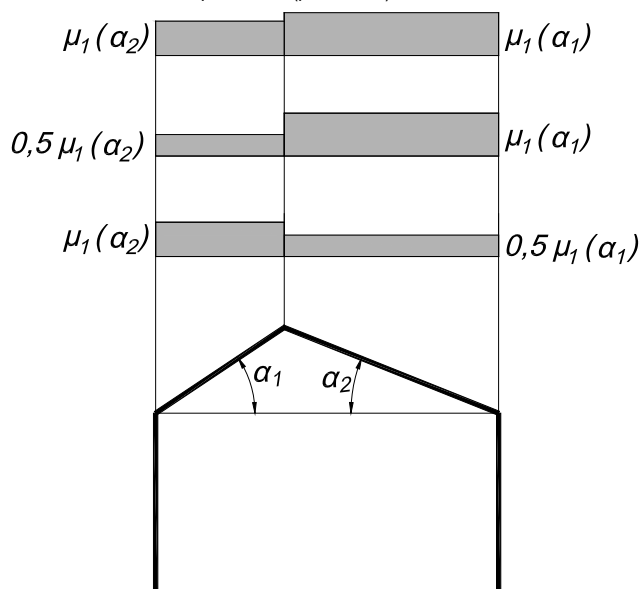


Рис. 1. Варианты распределения снеговой нагрузки на двухскатной кровле по EN 1991-1-3

Значение коэффициента μ по [1] не зависит от расположения относительно склона. Предложения по назначению значения коэффициента μ в зависимости от угла наклона кровли отличаются значительным разбросом в различных нормативных документах (рис. 3 и 4).

Схемы отложения снега, приведенные в приложении 3 [1], охватывают лишь ограниченный набор наиболее распространенных профилей покрытий. При анализе распределения снеговой нагрузки для однопролетных зданий с углом $\alpha \leq 15^\circ$ (рис. 5), значение коэффициента μ для разных стран изменяется (табл. 1).

При определении веса снегового покрова на земле в нормах плотность снега принята постоянной для всей территории. Известно, что плотность снега увеличивается во времени за счет уплотнения при нарастании толщины снега, сжимающего нижний слой. Удельный вес свежеснеговывпавшего снега колеблется от 0,5 до 1 кН/м³, а к концу зимы он увеличивается до 2 – 5 кН/м³.

В отличие от сдувания, ссыпание снега вызывается действием силы тяжести, а не ветра. При решающей роли уклона покрытия оказывают влияние и другие факторы. Вероятность сползания слоя снега зависит от шероховатости поверхности и теплопроводности кровли (подтаявший снег на поверхности покрытия играет роль своеобразной смазки), а также от состояния самого снежного покрова, которое в значительной степени определяется температурой воздуха во время его залегания (рис. 6, 7, 8).

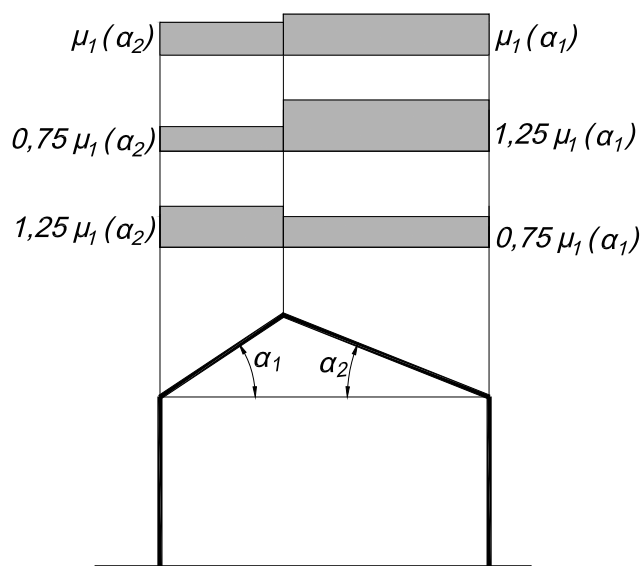
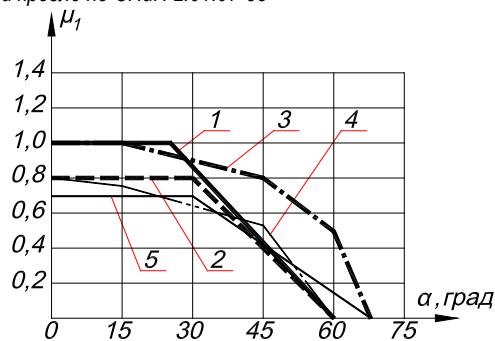
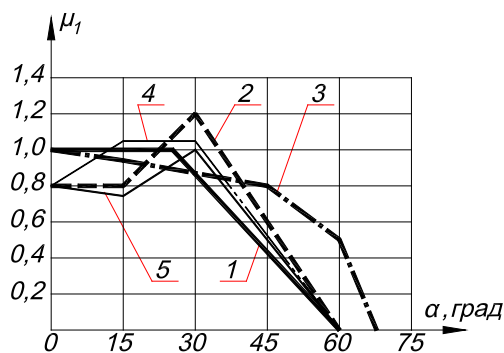


Рис. 2. Варианты распределения снеговой нагрузки на двухскатной кровле по СНиП 2.01.07-85



1 — СНиП; 2 — Еврокод; 3 — Испания; 4 — Стандарт ISO; 5 — Австрия

Рис. 3. Коэффициент распределения снеговой нагрузки по разным нормам для наветренного склона



1 — СНиП; 2 — Еврокод; 3 — Испания; 4 — Стандарт ISO; 5 — Австрия

Рис. 4. Коэффициент распределения снеговой нагрузки по разным нормам для подветренного склона

Эффект ссыпания снега с поверхности покрытия учтен в нормах [1] совместно с явлением сдувания от действия ветра при разработке схем распределения снега по поверхности покрытия. В соответствии с

Таблица 1. Коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие для разных стран

Страна	СНиП 2.01.07-85 [1]	Еврокод EN 1991-1-3 [3]	Испания [2]	Стандарт ISO [5]	Австрия [2]	Британский стандарт [2]	Польша PN-80/B-02010 [6]
Коэффициент μ	1,0	0,8	1,0	0,75	0,7	0,8	0,8

приложением 3 (схемы 1, 2, 3), снеговая нагрузка отсутствует на скатных покрытиях при уклонах свыше 60° (рис. 9) и на участках сводчатых покрытий с углом наклона свыше 50° . Аналогичным образом эта проблема решена в [3]. Кроме того, в [3] введено понятие «дрейфа» снега по покрытию, что дало возможность более полно учесть осыпание снега в ендовы и на примыкающие покрытия.

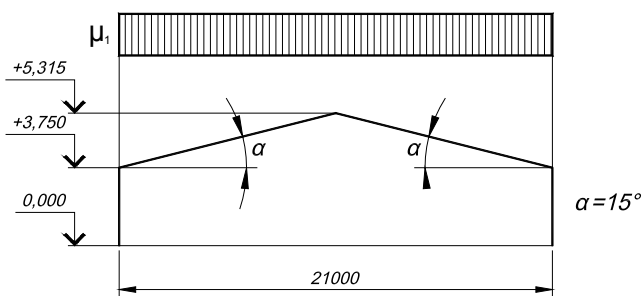


Рис. 5. Схема распределения снеговой нагрузки



Рис. 9. Распределение снеговой нагрузки на скатных покрытиях при угле $\geq 60^\circ$



Рис. 6. Распределение снега на кровле



Рис. 7. Распределение снега на кровле с уклоном $\leq 45^\circ$



Рис. 8. Эффект сползания снега

При проектировании покрытий с тепловыделениями используется особый подход к определению снеговой нагрузки. Как правило, учитывается не полная величина снеговой нагрузки, накопленная в течение всей зимы, а нагрузка от одного снегопада, ибо в промежутке между снегопадами снег на покрытии должен полностью растаять. Часто скорость таяния снега на покрытиях с тепловыделениями превышает интенсивность умеренных снегопадов, в результате чего отложение снега на покрытии вообще не образуется. Отключение отопления и снижение температуры покрытия до минусовых значений во время снегопада следует рассматривать отдельно как аварийный режим эксплуатации.

Подтаивание снега на поверхностях покрытий в нормах проектирования учитывается дополнительными понижающими коэффициентами. Нормы [1] требуют снижать снеговую нагрузку на неутепленных покрытиях цехов с повышенными тепловыделениями на 20%. Это возможно при уклонах кровли свыше 3% и обеспечении надлежащего отвода талой воды. Общеевропейские нормы [3] позволяют учитывать подтаивание снега на кровлях при интенсивности теплового потока свыше $1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Конкретные значения понижающих тепловых коэффициентов устанавливаются национальными дополнениями к общим нормам.

Подтаивание снега происходит и на утепленных покрытиях. Это свидетельствует о возможности расширения области применения понижающего коэффициента учитываемого в [1], и может регулироваться теплоизолирующими свойствами покрытий.

Перенос снега под влиянием ветра является основным фактором, вследствие которого уровень снеговой нагрузки не одинаков по площади покрытия. В результате переноса снега возникают места, откуда снег выносится, и места со скоплением снега (так называемые снеговые мешки). Расположение снеговых мешков определяется конфигурацией поверхности покрытия (его профилем) и направлением ветров. Эти явления изучались экспериментально с помощью моделирования в аэродинамической трубе, а также путем натуральных наблюдений за отложениями снега на эксплуатируемых кровлях. Результаты исследований приведены в нормах коэффициентами перехода от нагрузки на поверхности земли, к нагрузке на покрытие.

Выводы. Информация в нормах о распределении снеговой нагрузки на двускатных покрытиях зданий, и факторах, на нее влияющих, получена эмпирическим путем. Моделирование распределения снеговой нагрузки с использованием продувки объектов в аэродинамических трубах может привести к результатам, наблюдаемым в действительности весьма приближенно. Аппарат, позволяющий выполнять численное моделирование распределения снеговых нагрузок, даже на покрытиях простейшей формы, неизвестен.

В документе [3] наиболее полно учитываются факторы, влияющие на распределение снеговой нагрузки на кровлях: географическое расположение и его особенности; окружающий рельеф; форма кровли; "тепловая инерция" конструкций кровли; шероховатость поверхности покрытия; избыточные тепловыделения кровли здания; расположение окружающих зданий и сооружений. Косвенно учитывается характер снеговых осадков.

В нормах [1], применяемых в Республике Беларусь, величины, характеризующие распределение снеговой нагрузки на двускатных кровлях, превышает значение, принимаемое по [3] на 20-25 %, и зависит только от следующих факторов: географического расположения и его особенности; формы и высоты расположения кровли; избыточного тепловыделения кровли здания.

В нормах некоторых стран учтено влияние срока эксплуатации объекта на величину снеговой нагрузки. Ни в одном источнике не рассматривается влияние на снеговые нагрузки климатических изменений, которые происходят в настоящее время, хотя имеются научно обоснованные прогнозы этих изменений на 50-100 лет.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия/ Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 36 с.

2. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. Под общей редакцией д.т.н. Перельмутера А.В. Издательство Ассоциации строительных вузов. Москва, 2007. – 476 с.
3. EN 1991-1-3, Eurocode 1 – Actions on structures – Part-1-3: General actions – Snow loads.
4. Шпете Г. Надёжность несущих строительных конструкций. М.: Стройиздат, 1994. – 287 с.
5. ISO 4355: 1997 Basis for design of Structures – Determination of Snow loads.
6. PN-80/B-02010 Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie śniegiem.
7. Изменение №1 к СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия» от 1.07.2004г.
8. Изменение 2 к СНиП 2.01.07-85. «Нагрузки и воздействия» от 29.05.2003г.
9. ДБН В.1.2-2006 Нагрузки и воздействия.- Киев: Минстрой Украины, 2006.
10. NBCC-85, National Building Code of Canada.
11. Тур В.В. ХД-06/521 "Провести исследования и разработать методы определения снеговых нагрузок, определить нормативные снеговые нагрузки на конструкции зданий и сооружений. Разработать рекомендации по назначению нагрузок от снегового покрова". Гос. регистрация № 2007689 от 26.03.2007г.

Материал поступил в редакцию 14.01.08

MATUICH S.A., MUCHIN A.V. Features of forming snow load on coatings of cantilever buildings

The factors, defining allocation and magnitude of snow load on two-slope coatings of buildings and buildings in norms of different countries are reviewed in the paper. It has been defined, that they comprise: the shape of coating, amount and density of snow, pouring and carrying of snow from acclinal surfaces, thaw of snow on coatings, the influence of average temperature of the most cold winter month, shape of the surrounding relief and the location of the building on it, the influence of adjacent constructions. The comparison of factors in all the reviewed norms for the two-slope coating is presented in the article.

УДК 642.042.41

Базенков Т.Н., Лебедь В.А., Матюх С.А., Мухин А.В.

ОБЗОР МАТЕРИАЛОВ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НАГРУЗОК ОТ СНЕГА НА КУПОЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Введение. Возможности современных расчетных комплексов позволяют смоделировать более реалистическую модель пространственной работы купольных сооружений. Нагрузка от веса снегового покрова на поверхности купольных покрытий, как правило, является определяющей среди временных нагрузок. Возникает необходимость в более достоверном описании пространственных схем распределения снегового покрова по поверхности купольных сооружений.

Порядок определения полного нормативного значения снеговой нагрузки на покрытия сооружений в анализируемых нормативных материалах европейских государств одинаков: полное нормативное значение принимается равным произведению нормативного значения веса снегового покрова на 1 кв.м горизонтальной поверхности земли на коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие (в действующих на территории Республики Беларусь и России нормативных документах коэффициент перехода обозначается буквой μ). Определенный практический интерес представляют вероятные схемы распределения снегового покрова по поверхности купольных покрытий, которые определяются значениями коэффициента μ .

При определении нагрузок от веса снегового покрова на территории Республики Беларусь руководствуются изменением №1 к СНиП 2.01.07-85 [1]. Данные нормативные материалы ориентированы в большей степени на здания со сводчатыми и близкими к ним очертаниям покрытия (аналогичный подход по определению полного нормативного значения снеговой нагрузки на покрытия осуществлен в анализируемых европейских документах: EN 1991-1-3, Eurocode 1

– Actions on structures – Part-1-3: General actions – Snow loads [3]; ISO 2394: 1998(E) British Standard: General principles on reliability for structures [4]; PN-80/B-02010 Obciążenia w obliczeniach statycznych – Obciążenie śniegiem [5]).

Рекомендуемые схемы распределения снегового покрова по покрытиям куполов, в описанных выше нормативных документах, целесообразно применять только для определенных конструктивных решений купольных сооружений (например, ребристые купола), расчет которых может быть сведен к расчету отдельных арок, составляющих пространственную конструкцию купола.

При определении усилий, действующих в конструкциях купольных покрытий иного конструктивного решения (где, помимо арок, в работу активно включаются другие конструктивные элементы и конструкции; например, система связей, настил купола и т.п.), – требуется учитывать пространственную схему работы купольных сооружений. Учет пространственной работы позволяет описать более реалистичную схему работы купола, особенно это важно при рассмотрении несимметричных схем распределения снегового покрова по поверхности купольного покрытия. Несимметричные схемы нагружения купола ведут к существенному возрастанию изгибающих моментов в арочных элементах, и зачастую являются определяющими при подборе сечения основных несущих элементов. Возможность учета пространственной работы системы связей, настила – позволяет учесть действительное (более реалистичное) перераспределение усилий в ходе работы купольного покрытия и, как следствие, снижение уровня изгибающих моментов в основных несущих элементах.

Базенков Тимофей Николаевич, кандидат технических наук, профессор, зав. кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики Брестского государственного технического университета.

Лебедь Виталий Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.