

УДК 924.012

Виктор Владимирович ТУР,
доктор технических наук,
профессор,
проректор по научной работе
Брестского государственного
технического университета

Владимир Егорович ВАЛУЕВ,
кандидат технических наук,
профессор
Брестского государственного
технического университета

**Станислав Станиславович
ДЕРЕЧЕННИК,**
кандидат технических наук,
доцент
Брестского государственного
технического университета

Олег Павлович МЕШИК,
инженер
Брестского государственного
технического университета

**Игорь Сергеевич
ВОСКОВОЙНИКОВ,**
аспирант Брестского
государственного
технического университета

НОРМИРОВАНИЕ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

STANDARDIZATION OF SNOW LOADS IN THE REPUBLIC OF BELARUS

В настоящее время на территории Республики Беларусь нормирование снеговых нагрузок осуществляется по Изменению № 1 к СНиП 2.01.07. Вместе с тем, с 1 января 2008 года действуют СТБ ЕН 1990 и СТБ ЕН 1991, соответствующие концепции надежности СТБ ИСО 2394. Изменение № 1 к СНиП 2.01.07 не только входит в противоречие с требованиями СТБ ЕН, но и обладает целым рядом несовершенств.

К основным недостаткам действующего СНиП 2.01.07 следует отнести несовершенство методики определения нормативных значений снеговых нагрузок, в частности для районов с неустойчивым и изменчивым снежным покровом, а также неопределенность временных интервалов, для которых выполняется проектирование зданий. Сложившаяся ситуация приводит к тому, что в процессе эксплуатации на протяжении заданного срока службы покрытия зданий на территории Республики Беларусь в среднем до восьми раз испытывают превышения заданных нормативных нагрузок и как минимум один раз — расчетных. Все это свидетельствует о недостаточной надежности действующих норм.

В статье представлены результаты специальных исследований по нормированию снеговых нагрузок для Республики Беларусь и разработанные на их основе предложения для внесения в качестве национального приложения к СТБ ЕН 1991 в части снеговых нагрузок.

Nowadays in the Republic of Belarus the standardization of snow loads is carried out in accordance with Amendment 1 to SNIP 2.01.07. At the same time STB EN 1990 and STB EN 1991, corresponding to the reliability concept of STB ISO 2394, have been being in force from January 1, 2008. Amendment 1 to SNIP 2.01.07 not only contradicts the requirements of STB EN but also has a number of imperfections.

As the main drawbacks of SNIP 2.01.07 one can point out an imperfection of the methods for determining characteristic values of snow loads, particularly in regions with unstable and unsteady snow cover, and uncertainty of time intervals. The established situation leads to the problem that building cover systems experience excess of the characteristic loads eight times on average and excess of the designed loads one time as a minimum during their designed service life in the Republic of Belarus. All this indicates that the rules being in force are not reliable.

This paper gives the results of the special analysis of standardization of snow loads in the Republic of Belarus and presents the proposals for consideration as a national amendment to STB EN 1991 in the part for snow loads.

ВВЕДЕНИЕ

Как было показано в работах [15, 16, 29–31], в течение последнего десятилетия многие европейские страны подвергли существенной переработке нормативные документы, устанавливающие требования к назначению нагрузок и воздействий на здания и сооружения, в частности нагрузок от снега. Это связано, с одной стороны, с накоплением новой статистической информации, касающейся климатических воздействий, совершенствования

методов их оценивания и разработкой на этой основе единой европейской карты снеговых районов, внесенной в EN 1991-1-3 [5], построенного на основе концепции надежности, декларированной ISO 2394 [6] и EN 1990 [4], с другой — участвовавшими случаями отказа строительных конструкций при действии нагрузок от снега.

Нормирование снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь в настоящее время осуществляется в соответствии с Изменением № 1 к СНиП 2.01.07 [2, 3]. В Изменении №1 к СНиП 2.01.07 при районировании

территории Республики Беларусь выделено два снеговых района с нормативными значениями снеговых нагрузок (s_k) 800 и 1200 Па, причем границы снеговых районов проходят практически строго по линии "запад-восток". Такое разделение кардинально противоположно районированию, использовавшемуся до июля 2004 года, когда границы снеговых районов (в рамках общей карты СССР) проходили преимущественно по линиям "север-юг". Следует отметить, что в доступной научнотехнической литературе принятые подходы не обоснованы, равно как и не представлены для широкого обсуждения сведения об объемах исходных выборок метеоданных, о методах статистического оценивания и т. д., использованные при составлении Изменения № 1 [3]. Предварительные результаты оценивания снеговых нагрузок, представленные в научном отчете, подготовленном Республиканским гидрометеорологическим центром [20], коренным образом отличаются от нормируемых величин, содержащихся в Изменении № 1 к СНиП 2.01.07 [3]. Если обратиться к рис. 1, представляющему объединенную карту снеговых районов (с нанесенными значениями характеристических нагрузок) для сопредельных с Республикой Беларусь государств, несложно заметить, что для обозначенных территорий не только не совпадают границы снеговых районов, но и существенно разнятся нормативные значения снеговых нагрузок. Так, величины нормативных снеговых нагрузок для Республики Беларусь значительно ниже, чем для пограничных районов Украины, Литвы, Польши.

Причины таких различий были частично описаны в [16]. Детальный анализ, выполненный в работах [15, 21], позволяет утверждать, что подобная ситуация сложилась по причине целого ряда несовершенств, характерных СНиП 2.01.07 [2]. Основными из них можно назвать следующие:

- несовершенство методики определения нормативных значений снеговых нагрузок, в соответствии с которой их превышение в районах с неустойчивым и изменчивым снежным покровом (например, юго-западная часть Республики Беларусь) наблюдается каждые 5–7 лет;

- недостаточно детальное и практически ничем не обоснованное территориальное районирование, которое приводит к значительному огрублению при определении нормативных и расчетных значений снеговых нагрузок;

- некорректность в нормировании длительной составляющей снеговой нагрузки. Как показано в [15], эта ошибка проистекает из представлений о некой "долгой" зиме. Между тем, наблюдения показывают, что максимум веса снежного покрова (для которого выполняются статистические оценки) в течение рассматриваемой зимы для территории Республики Беларусь имеет место в течение одной-двух(!) недель, при этом зима с нормативным весом снежного покрова появляется в среднем один раз в 10–20 лет;

- невозможность учета сроков службы конструкций зданий и сооружений, что приво-

дит к проектированию их на неопределенные сроки службы (эксплуатации).

В [15] представлен развернутый анализ обеспеченности снеговой нагрузки по СНиП 2.01.07 [2]. В настоящее время в России выполняется переработка СНиП "Нагрузки и воздействия" (вторая редакция) [17].

Следует отметить, что в проекте [17] при разработке раздела, посвященного нормированию снеговых нагрузок, сделана попытка исправить некоторые из перечисленных несовершенств. Так, при нормировании расчетных нагрузок от веса снежного покрова расчетные значения связывают с периодом повторяемости. В примечании к таблице 5.1 [17] содержится запись: "... в качестве расчетного значения S_g следует принимать превышаемый в среднем один раз в 25 лет ежегодный максимум веса снежного покрова, определяемый на основе данных маршрутных снегосъемок о запасах воды на защищенных от прямого воздействия ветра участках за период не менее 20 лет". Несложно заметить, что подобная запись входит в противоречие с положениями метода расчета по предельным состояниям, т. к. допускает превышение уровня расчетных нагрузок. Обеспеченность расчетных нагрузок принимается на уровне 0,96, что является весьма сомнительным утверждением. Безусловно, такой подход противоречит требованиям надежности, содержащимся в нормативных документах [4–9].

Учитывая то обстоятельство, что с 1 января 2008 года на территории Республики Беларусь действуют два европейских нормативных документа (СТБ ЕН 1990-2007 "Еврокод: Основы проектирования несущих конструкций" [7] и СТБ ЕН 1991-1-1-2007 "Еврокод 1: Воздействия на несущие конструкции" [8], утвержденные Постановлением Госстандарта № 38 от 18.07.2007), концепция нормирования снеговых нагрузок должна строиться на основе применения их базовых принципов. Так, в соответствии с процедурой введения общеевропейских документов к СТБ ЕН 1991 [8] должно быть составлено Национальное приложение, содержащее требования по

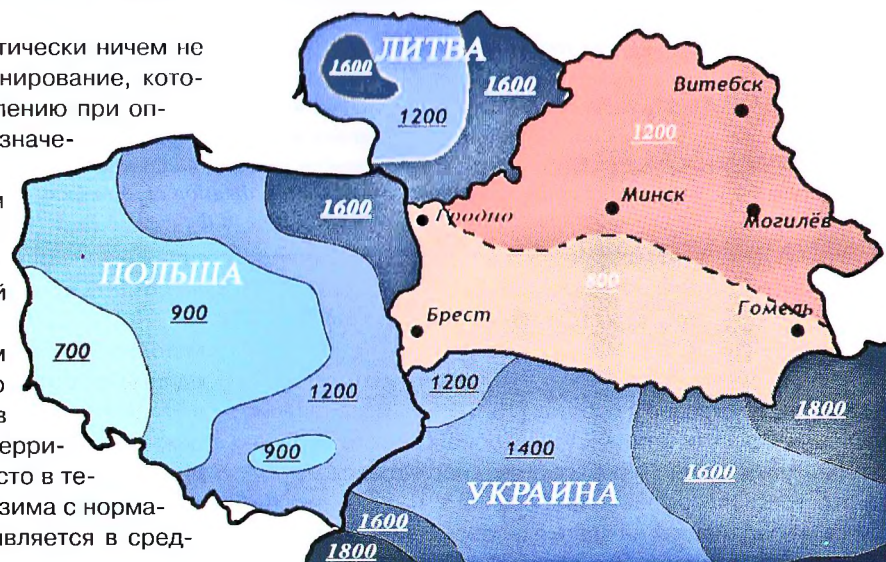


Рис. 1. Актуальная карта снеговых районов и нормативные значения снеговых нагрузок (в Па) для Беларуси, Украины, Польши, Литвы по данным норм [3, 11, 12, 14]

нормированию климатических воздействий для территории Республики Беларусь. В 2006–2007 гг. Брестский государственный технический университет совместно с РУП "Институт БелНИИС" и Республиканским гидрометеорологическим центром выполнили специальные исследования, целью которых являлась разработка комплексной научно-обоснованной методики оценивания веса снегового покрова на территории Республики Беларусь и получения на ее основе исходных данных для нормирования снеговых нагрузок на здания и сооружения с учетом требований нормативных документов [7–9].

В настоящей статье представлены основные результаты исследований по нормированию снеговых нагрузок для территории Республики Беларусь и разработанные на их основе предложения для внесения в качестве Национального приложения к СТБ ЕН 1991 [8].

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК В СООТВЕТСТВИИ С КОНЦЕПЦИЕЙ СТБ ЕН 1990

В соответствии с требованиями [7] и [8] характеристическое (нормативное) значение снеговой нагрузки s_k (кПа) определено как значение нагрузки от слоя снега на 1 м^2 поверхности земли, установленное с годовой вероятностью превышения среднегодовых максимумов, равной 0,02 (за исключением особых снеговых нагрузок), или, другими словами, нагрузки, установленной с вероятностью превышения 0,02 для периода отнесения, равного одному году.

В качестве периода отнесения t_{ref} (англ. reference period, согласно [7]) рассматривают период времени, принятый как основа для установления нормируемых значений статистически переменных воздействий, а если возможно — то и особых воздействий.

Период повторяемости t_{ret} (англ. return period¹) — период времени, равный в среднем количеству лет, которые проходят между очередными превышениями нормируемого значения снеговой нагрузки s , случайным процессом $s(t)$, или период времени, в течение которого установленное значение случайного климатического воздействия (в нашем случае — снеговой нагрузки) превышает в среднем один раз. Здесь следует сделать одно важное замечание. При оценивании характеристических значений снеговых нагрузок принято допущение о том, что процесс нагружения снегом является стационарным или эргодическим. Это означает, что для всех моментов времени t , стохастическая переменная $X(t + \tau)$ имеет то же самое вероятностное распределение, что и $X(t)$. При этом предполагается, что t и $(t + \tau)$ находятся в рамках установленного периода повторяемости. Если процесс эргодический, то, по крайней мере, среднее значение переменной X в заданной временной точке и усредненное значение за весь контрольный период времени t будут одинаковы.

¹В некоторых случаях обозначается MRI (англ. Mean recurrence period).

Таким образом, с учетом принятых допущений связь между периодом повторяемости t_{ret} и вероятностью превышения нормируемого значения снеговой нагрузки p в общем случае можно записать

$$t_{ret} = \frac{1}{1-p} \quad (1)$$

Выбор конкретного значения t_{ret} равнозначен выбору допустимого риска, связанного с превышением соответствующего значения воздействия и определяемого в зависимости от социальных, экономических, экологических последствий разрушения конструктивной системы.

Для определения характеристического значения снеговых нагрузок СТБ ЕН 1990 [7] рекомендует принимать период повторяемости не менее 50 лет, что следует из определения, приведенного выше.

Для установления особых значений снеговых нагрузок, в частности при проектировании большепролетных конструкций покрытий, рекомендуется принимать период повторяемости не менее 100 лет.

Несложно заметить, что периоды повторяемости для определения характеристических значений снеговых нагрузок близко соотносятся со сроком службы (эксплуатации) зданий и сооружений. При этом нормы СТБ ЕН 1990 [7] допускают перерасчет нормативных значений снеговых нагрузок для нормируемых сроков службы зданий t_n , которые приняты: 10; от 10 до 25; от 15 до 30; 50 или 100 лет. Пересчет периодов повторяемости снеговой нагрузки, соотносимых со сроками службы, отличных от 50 лет, рекомендовано производить по формуле

$$s_n = s_k \left\{ \frac{1 - v \cdot \frac{\sqrt{6}}{\pi} \cdot [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0.57722]}{(1 + 2.5923v)} \right\}, \quad (2)$$

где s_k — характеристическое значение веса снегового покрова на поверхности земли (установленное для периода повторяемости 50 лет); s_n — значение веса снегового покрова на поверхности земли для периода повторяемости в n лет; P_n — среднегодовая вероятность превышения (приблизительно эквивалентно $1/n$, где n — соответствующий период повторяемости (в годах));

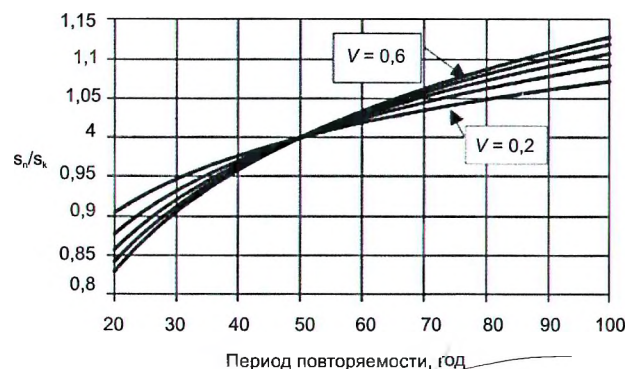


Рис. 2. Графическое представление зависимости формулы (2) [5]

Таблица 1. Перечень "характерных" пунктов наблюдений на территории Беларуси для исследования параметров снегового покрова

1 Брест	8 Житковичи	15 Борисов	22 Верхнедвинск
2 Барановичи	9 Гомель	16 Марьина Горка	23 Езерище
3 Пинск	10 Василевичи	17 Вилейка	24 Лынтупы
4 Пружаны	11 Гродно	18 Могилев	25 Шарковщина
5 Высокое	12 Лида	19 Горки	26 Лепель
6 Ивацевичи	13 Новогрудок	20 Костюковичи	27 Полоцк
7 Ганцевичи	14 Минск	21 Витебск	

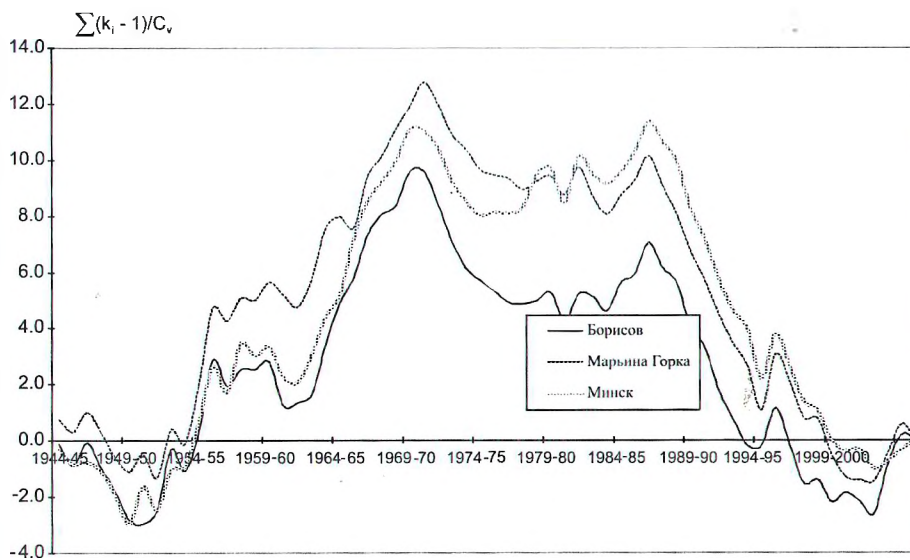


Рис. 3. Нормированные разностные интегральные кривые максимальных снегозапасов ($X_{\text{ср}}$, мм) для метеопунктов Минской области (здесь и далее $K_i = X_{\text{ср},i} / X_{\text{ср},\text{ср}}$ — модульный коэффициент максимальных снегозапасов за период 1945–2006 гг.; C_v — коэффициент вариации снегозапасов)

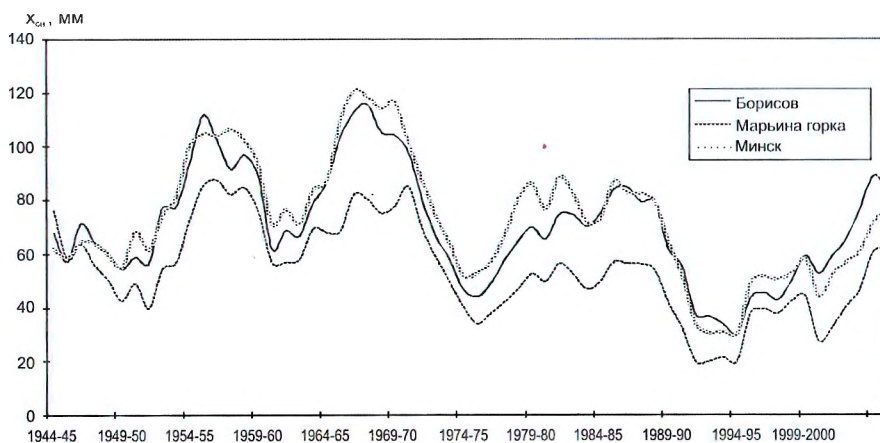


Рис. 4. Кривые скользящих пятилетних средних максимальных снегозапасов ($X_{\text{ср}}$, мм) для метеопунктов Минской области

ν — коэффициент вариации среднегодовых максимумов снеговой нагрузки, определяемый по результатам статистического оценивания результатов метеонаблюдений.

Графическое представление выражения (2) изображено на рис. 2.

Следует подчеркнуть, что представленная выше зависимость (2) получена для случая, когда данные метеорологических наблюдений подчиняются распределению Гумбеля. В случае использования других типов распределений вероятностей для перерасчета нормативных значений s_n следует использовать соответствующие им аппроксимирующие зависимости.

Таким образом, введенные в Республике Беларусь СТБ ЕН 1990 [7] и СТБ ЕН 1991 [8] имеют целый ряд отличий от СНиП 2.01.07 [2] в нормировании снеговых нагрузок, главными из которых применительно к вопросам, рассмотренным в статье, являются следующие:

- вместо нормативного используется характеристическое значение снеговой нагрузки, соответствующее среднему периоду повторяемости $t_{\text{рет}} = 50$ лет. При этом допускается перерасчет нормативных значений снеговых нагрузок для других периодов повторяемости, соотносимых со сроком службы объекта;

- дополнительно вводятся т. н. комбинационные значения снеговых нагрузок, которые определяются через характеристическое значение снеговой нагрузки.

Особо следует отметить использование в концепции СТБ ЕН 1190 [7] характеристических значений снеговой нагрузки со средним периодом повторяемости 50 лет.

Принципиальное методологическое значение такого подхода заключается в том, что в качестве базовой величины используется не весьма часто превышаемый средний годичный максимум, как в СНиП 2.01.07 [2], а достаточно редко реализуемое характеристическое значение с периодом повторяемости 50 лет, близким к обычным срокам службы зданий и сооружений.

Такой подход, как показано в [15], не только учитывает реальную метеорологическую ситуацию и информацию о снеговом покрове, но и существенно снижает возможные погрешности при переходе к расчетным значениям снеговой нагрузки.

**КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСЛОВИЙ
ФОРМИРОВАНИЯ СНЕГОВОГО ПОКРОВА
НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
ПО ДАННЫМ МЕТЕОНАБЛЮДЕНИЙ**

В выполненных исследованиях были использованы экспериментальные данные за период наблюдений с 1945 по 2006 год по 27 "характерным" пунктам Беларуси (таблица 1).

Анализ межгодовой изменчивости характеристик снегового покрова указывает на проявление строгой периодичности в рядах запаса воды в снеге, высоты снегового покрова и его плотности. Пример динамики максимальных снегозапасов для метеопунктов Минской области представлен на рис. 3, 4 в виде нормированных разностных интегральных кривых годовых сумм снегозапасов и кривых скользящих средних пятилетних сумм.

Анализ цикличности проявления максимальных значений снегозапасов по всем пунктам Беларуси позволяет заключить, что на фоне долгопериодических колебаний доминирует, прежде всего, одиннадцатилетний цикл. Нормированные разностные интегральные кривые показывают, что фактически для всех рассматриваемых пунктов наблюдений, кроме Горок и, возможно, Василевичей, нельзя выделить полные законченные циклы колебаний максимальных снегозапасов. Многие исследователи отмечают, что законченный цикл колебаний величин снегозапасов обнаружить затруднительно даже на длиннорядных материалах (более 100 лет наблюдений). В этой связи, пока экспериментальных материалов недостаточно, можно лишь декларировать понятие "норма снеговых нагрузок" на

фоне незаконченного цикла колебаний снегозапасов. На рис. 3 представлена преимущественно положительная фаза полного цикла.

Так как статистическая структура полей твердых и жидких атмосферных осадков непостоянна в течение года, для выявления характера внутригодовых соотношений между мелкомасштабной и крупномасштабной составляющими были выполнены исследования их значений по каждому месяцу, сезону и в целом за год.

Для этих интервалов осреднения исследованы пространственные корреляционные функции (ПКФ) в диапазоне расстояний между пунктами наблюдений за осадками на территории Беларуси до 600 км. Аналитическая аппроксимация ПКФ осуществлена нелинейной зависимостью. При этом расстояния разбиты на градации с оптимальным шагом $h = 20$ км. По эмпирическим коэффициентам корреляции (r_{jk}) и соответствующим им попарным расстояниям между пунктами наблюдений за осадками (ρ_{jk}) получены эмпирические ПКФ.

Поля изокоррелят максимальных снегозапасов в январе и феврале, полученные по результатам выполненного исследования, приведены на рис. 5, где пунктирными окружностями изображены эмпирические ПКФ для территории Беларуси в целом, без учета ориентации поля, т. е. в предположении изотропности твердых атмосферных осадков. Поля изокоррелят, ориентированные по направлениям перемещения воздушных масс, представляют собой линии неправильной формы (близкой к эллиптической). Большая ось полей направлена в сторону преобладающего переноса воздушных масс. Полученные результаты хорошо согласуются с фактическими данными по снегонакоплению и снеготранспорту в условиях существующей опорной метеосети.

Как показал анализ, выполненный в работе [21], продолжительность залегания снегового покрова на территории Беларуси в среднем составляет от 75 дней на юго-западе до 125 — на северо-востоке. В течение холодного периода снеговой покров может многократно

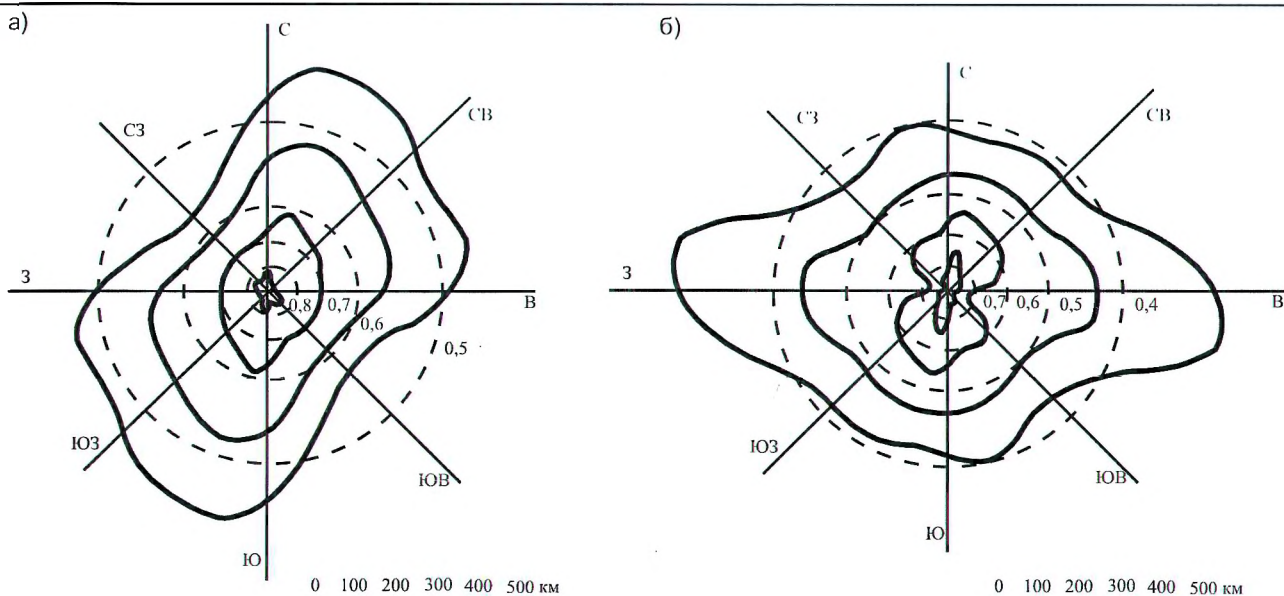


Рис. 5. Поля изокоррелят атмосферных осадков:
а — для января;
б — для февраля

разрушаться под воздействием оттепелей (особенно в начале и в конце зимнего периода). Более 50 % оттепелей дней имеют положительную среднесуточную температуру, что часто приводит к полному разрушению снежного покрова. Например, в декабре до 10 % оттепелей формируется при средней суточной температуре воздуха более 4 °С. Устойчивый снеговой покров, залегающий более месяца, образуется: на северо-востоке — в первой декаде декабря; на юго-западе — в третьей декаде декабря. Разрушение снегового покрова происходит в марте: на северо-востоке — в последней декаде; на юго-западе — в первой декаде. В проведенном исследовании учитывалось, что в течение холодного периода помимо жидких и твердых осадков, в чистом виде, выпадают смешанные осадки, составляющие в среднем 10 %–15 % в год, которые влияют на структуру снеготопливных запасов, определяющих снеговые нагрузки (высокая плотность смешанных осадков, их замерзание и образование ледяной корки). Сильные гололедно-изморозевые отложения в Беларуси отнесены к стихийным гидрометеорологическим явлениям (их средняя повторяемость 3 %–9 %).

Важной характеристикой снегового покрова является его плотность. В Беларуси плотность свежевыпавшего снега составляет от 0,08–0,12 г/см³ на северо-востоке до 0,12–0,17 г/см³ на юго-западе. С течением времени происходит уплотнение снега в результате оседания, подтаивания. Средняя многолетняя величина плотности снега в конце января составляет 0,23–0,28 г/см³, в феврале — 0,25–0,30 г/см³, в марте — 0,29–0,36 г/см³. В отдельные годы, при быстром таянии, плотность снега может превышать 0,50 г/см³. Плотность таяющего, пропитанного водой снега, отмечается на уровне 0,80 г/см³.

В таблице 2, в качестве примера, представлены результаты обобщения данных по снеговому покрову за период (1944–1945)–(2005–2006) гг. и их внутригодовая динамика по метеостанции Минск.

Как видно из таблицы 2, максимальные значения практически всех характеристик снегового покрова приходятся на конец февраля — март.

Расчет величин снеговых нагрузок на сооружения выполняется по величине запасов воды в снеге, получаемой на основе измерений высоты снегового покрова и его плотности. При этом величина снеговой нагрузки (Па) численно равна запасам воды (мм). Пространственное распределение запасов воды в снеге следует отмеченным выше закономерностям, т. е. возрастает по направлению юго-запад — северо-восток и на возвышенностях.

Таблица 2

Наименование параметра и его величина		Месяц																
		Ноябрь			Декабрь			Январь			Февраль			Март			Апрель	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Высота, см	Среднее	1	2	4	6	8	10	12	14	16	17	19	19	18	14	6	2	0
	Максимальное	15	18	23	25	28	33	34	36	38	37	45	49	53	47	47	23	6
Плотность, г/см ³	Среднее	0,15	0,19	0,20	0,20	0,23	0,21	0,24	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,29	0,31	0,32	0,32	0,13
	Максимальное	0,24	0,26	0,28	0,30	0,43	0,31	0,42	0,38	0,38	0,39	0,37	0,45	0,44	0,45	0,38	0,42	0,13
Запас воды, мм	Среднее	1	3	6	11	16	21	27	35	41	44	50	53	50	41	19	5	0
	Максимальное	22	34	51	55	64	81	86	95	105	123	147	135	140	141	137	88	8

Пространственно-временная изменчивость твердых и жидких атмосферных осадков (годовых, сезонных, месячных величин) за период 1944–2006 гг. авторами статьи охарактеризована коэффициентом пространственно-временной изменчивости (C_v). С учетом фактического состояния осадкомерной сети и при использовании дополнительных материалов теоретических разработок [22, 24], период 1944–2006 гг. принят за расчетный (репрезентативный). Установлена тенденция к увеличению C_v годовых сумм осадков по направлению с северо-запада на юго-восток (0,14–0,25), в отдельные сезоны установлены несколько большие значения C_v (0,17–0,27 — для теплого периода; 0,34–0,80 — для месячных сумм, включая холодный период). Дифференцированная оценка временной (C_{v0}) и пространственной (C_{vi}) составляющих изменчивости атмосферных осадков показала, что ее результирующая укладывается в пределы $0 \leq C_v \leq (C_{vi} + C_{v0})$. Величины пространственной изменчивости атмосферных осадков C_{vi} плавно переходят от месяца к месяцу при росте их значений в холодный (декабрь–март) период. В сравнении с временной, пространственная изменчивость атмосферных осадков значительно выше. С увеличением периода осреднения осадков происходит снижение значений коэффициентов их пространственно-временной изменчивости (C_v).

Более точные обобщения экспериментальных величин твердых и жидких атмосферных осадков, безусловно, возможны, но в условиях оптимальной плотности метеорологической сети на исследуемой территории. Поэтому назначение расстояний между опорными метеостанциями, в принципе, должно осуществляться с учетом комплекса физико-географических и экономических факторов.

В процессе атмосферной циркуляции имеет место перераспределение тепла и влаги по земной поверхности Беларуси, где образуются районы, имеющие наиболее четко выраженный общий признак. Например, признак синхронности в колебаниях твердых атмосферных осадков в январе, феврале (рис. 6), а также атмосферных осадков в другие внутригодовые периоды.

Помесячное количество районов синхронного колебания атмосферных осадков на территории Беларуси представлено в таблице 3.

Наименьшее количество характерных районов в Беларуси приходится на март, апрель и октябрь. В эти месяцы наблюдаются фазовые изменения осадков (твердая — жидкая — твердая) при наименьшей амплитуде месячных норм.

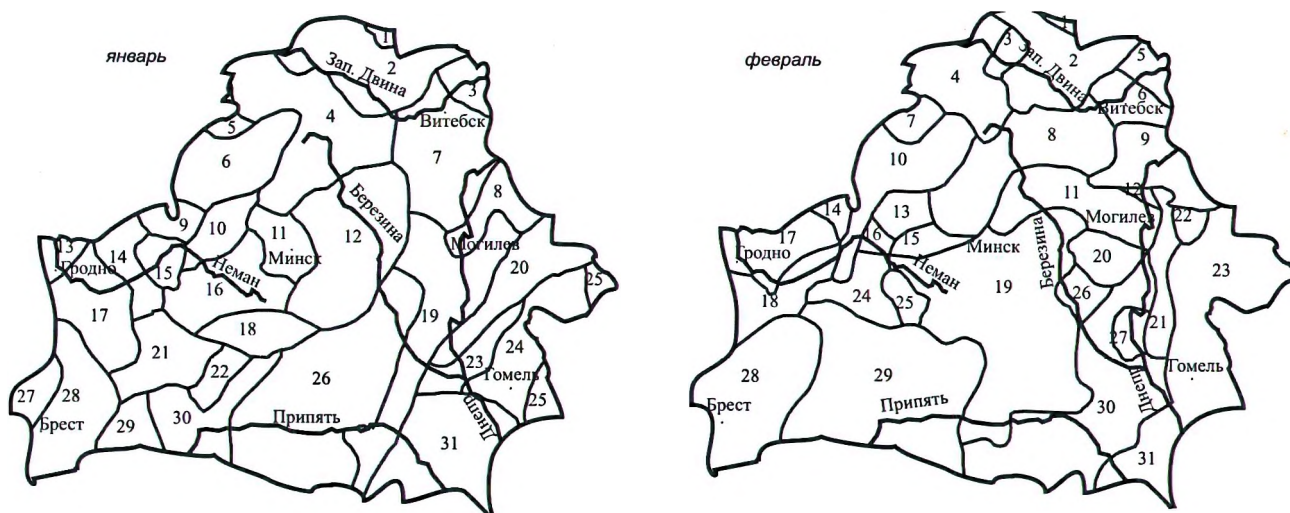


Рис. 6. Схема районирования территории Беларуси по синхронности выпадения атмосферных осадков

Таблица 3. Количество районов синхронного колебания атмосферных осадков (твердых и жидких) на территории Беларуси

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
Район, шт.	31	31	19	27	39	34	42	46	40	25	31	39	37

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ
ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ
ПРОГНОЗА СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ**

Как было показано выше, современные требования к обеспечению надежности проектируемых зданий и сооружений [7–9] обуславливают необходимость принимать во внимание, помимо первого предельного распределения Гумбеля [18, 19, 26], также и иные, в том числе степенные законы распределения экстремальных метеорологических величин [27]. Так, например, нормы МАГАТЭ при оценке площадок для атомных станций по безопасности рекомендуют проверять соответствие эмпирических метеорологических данных одному из типов (семейств) законов распределения: типу I (Гумбеля, или Фишера-Типпета), типу II (Фреше) либо типу III (Вейбулла) [28]. Аналогичный подход реализован при нормировании снеговых нагрузок в США, Японии, Германии и ряде других стран [21].

Математической моделью функции распределения экстремальных величин (в нашем случае — годовых максимумов снеговой нагрузки s) является общее асимптотическое распределение [28]

$$F(s) = \begin{cases} \exp\left[-\exp\left(-\frac{s-\xi}{\alpha}\right)\right], & k=0 \\ \exp\left[-\left(1-k\cdot\frac{s-\xi}{\alpha}\right)^{1/k}\right], & k \neq 0, \end{cases} \quad (3)$$

где ξ и α — масштабирующие параметры, k — коэффициент, определяющий тип распределения (Гумбеля, Фреше или Вейбулла — соответственно, при $k=0$, $k < 0$ и $k > 0$).

Модель (3) является адекватной для больших значений параметра s , т. е. в "хвостовой" части распределения, и потому допускает анализ в логарифмических координатах. Так, для распределения Гумбеля можно записать

$$\xi = s + a \{\ln[-\ln F(s)]\} = s + ax. \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что график s по параметру x представляет собой прямую линию. Аналогичным образом (в соответствующих координатных шкалах) могут анализироваться и два других типа распределений.

Распределение (4) является асимптотической (при увеличении s) моделью обобщенного распределения Парето

$$G_{k,\alpha}(s) = \begin{cases} 1 - \exp(-s/\alpha), & k=0 \\ 1 - (1 - ks/\alpha)^{1/k}, & k \neq 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $\alpha > 0$, $s \geq 0$, когда $k \geq 0$, и $0 \leq s \leq (-\alpha/k)$, когда $k < 0$. Параметр k характеризует форму функции $G_{k,\alpha}(s)$.

В определение этой функции также может быть введен дополнительный параметр локализации (масштабирующий параметр) ξ , тогда распределение (5) примет вид

$$G_{k,\alpha,\xi}(s) = G_{k,\alpha}(s - \xi). \quad (6)$$

Если исследуемое эмпирическое распределение максимальных годовых значений s снеговой нагрузки аппроксимировать одной из функций вида (3)–(6), то задача прогнозирования экстремального значения сводится к вычислению квантили S_p функции распределения; при этом уровень p квантили, принимающий значения порядка 0.98–0.9999, определяется требованиями к

обеспеченности прогноза m и периоду повторяемости t_{ret} (числу лет)

$$S_p = F^{-1}(p) = \inf\{s \in R, F(s) \geq p\}. \quad (7)$$

С распределениями рассматриваемого типа связана существенная проблема, состоящая в том, что моменты достаточно высокого порядка у них могут расходиться. Так, для распределения Парето с $k \leq 1$ бесконечно (не существует) уже среднее значение. По этой причине стандартные способы оценки параметров эмпирического распределения (например, метод моментов) здесь неприменимы. Однако, поскольку для целей прогнозирования экстремальных значений решающую роль играет асимптотика "хвоста", задача анализа сводится к численной аппроксимации хвостовой части эмпирического распределения.

Авторами статьи разработана методика оценивания прогнозных значений снеговых нагрузок, основанная на статистических свойствах экстремальных событий и заключающаяся в анализе хвостовой части эмпирического распределения с привлечением аппарата порядковых статистик. Исходными данными для расчета прогнозных (характеристических либо расчетных) значений снеговой нагрузки (веса снегового покрова) в районе конкретной метеостанции являются:

- корректный временной ряд S_1, S_2, \dots, S_N годовых максимумов веса снежного покрова на поверхности земли (результаты наблюдений на протяжении N лет);
- заданная обеспеченность достоверности прогноза $m < 1$;
- заданный период повторяемости (число лет) t_{ret} .

Предварительная обработка исходных данных включает:

- 1) Нахождение выборочных характеристик распределения наблюдаемых значений — среднего S , медианы $med S_N$, среднеквадратичного отклонения σ_s , коэффициента вариации v_s , скоса δ_s .
- 2) Построение вариационного ряда

$$S_{(1)} \leq S_{(2)} \leq \dots \leq S_{(N)}. \quad (8)$$

- 3) Построение эмпирической функции распределения с использованием точечных оценок (снизу) квантилей p функции распределения справа от медианного значения (в хвостовой части распределения, где $p \geq 0.5$). В качестве таковых оценок фиксируются порядковые статистики $S_{(R)}$ ранга $R \geq c$

$$\bar{F}(s) = \bar{F}(S_{(R)}) = R / (N + 1). \quad (9)$$

При необходимости могут использоваться и иные известные способы непараметрической оценки квантилей — нахождение доверительных непараметрических интервалов с использованием неполной бета-функции Пирсона, алгоритм толерантных пределов, полисегментная оценка и др. [29, 30].

Для нахождения типа хвостовой части эмпирического распределения и ее асимптотического приближения выполняются следующие действия:

- 4) Выделение хвостовой части исследуемой эмпирической функции, представляющей собой правую

часть ряда (8) длиной от $1/4$ до $1/3$ длины всего ряда и нанесение отсчетов хвостовой части в координатах $x = \ln[-\ln F(s)]$ (ось абсцисс) и s (ось ординат). Параллельно оси абсцисс могут быть построены удобные для анализа шкалы параметров m (обеспеченности прогноза) и t_{ret} (периода повторяемости).

5) Аппроксимация нанесенных выборочных отсчетов одной из зависимостей: прямой линией $s = ax + b$ аналогично (4), что соответствует принадлежности исследуемой функции распределению типа I (Гумбеля); зависимостью вида $s = b \exp(ax)$, свидетельствующей о распределении типа II (Фреше); зависимостью вида $s = a \ln x + b$, соответствующей распределению типа III (Вейбулла). Длина "хвоста" при этом варьируется в допустимых пределах, а из всех возможных вариантов аппроксимирующей функции фиксируется наилучший в смысле максимума достигнутой достоверности (R^2 при использовании метода наименьших квадратов).

Расчет прогнозных значений снеговой нагрузки:

- 6) Характеристическое прогнозное значение соответствует распределению наибольшей порядковой статистики гипотетического (прогнозируемого на некоторый период T) ряда $S'_{(T)}$ и вычисляется в соответствии с (8) — как квантиль заданного уровня обеспеченности m асимптотического распределения (функции аппроксимации хвостовой части), найденного на предыдущем шаге. Для этого график найденной зависимости продолжается до достижения абсциссы $x_k = \ln[-\ln F(s)] = \ln|\ln m|$, а соответствующая ей ордината $S_k = s(x_k)$ является искомым значением характеристической снеговой нагрузки. Расчетные значения прогноза S находятся аналогичным образом, отличие состоит лишь в назначаемом уровне квантили распределения $1 > p > m$. Аналогичным образом определяется и расчетное значение S снеговой нагрузки для задаваемого уровня обеспеченности $1 > p > m$. Например, если нельзя допустить ни одного превышения экстремального значения в течение периода T с вероятностью m , то $p = m^{1/T}$.

Предложенная методика статистического прогнозирования отличается наличием оригинальной процедуры проверки исходных выборок на возможное присутствие экстремальных значений — крайне маловероятных событий, произошедших за предшествующий период наблюдения. Процедура основана на решении задачи, обратной задаче расчета прогнозных значений, а именно — на оценивании уровня квантили p' для произвольного значения снеговой нагрузки S' (допуская однократное его превышение в течение соответствующего периода повторяемости $t_{ret} = 1/p'$).

- 7) Хвостовая часть исследуемой эмпирической функции, выделенной на шаге 4, укорачивается справа на один отсчет путем пробного исключения наибольшего отсчета $S_{(N)}$ и повторяется шаг 5, в результате чего находится новая аппроксимирующая зависимость (в общем случае изменятся не только коэффициенты a и b , но, возможно, и тип зависимости). Период t'_{ret} повторяемости для значения $S' = S_{(N)}$ оценивается действиями, обратными тем, что описаны в предыдущем шаге. Если период t'_{ret} невелик (не превышает некоторого разумного предела, например, 200 или 300 лет), то исходная выборка остается неизменной. В противном случае значе-

ние $S_{(n)}$ исключается из дальнейшего рассмотрения, как крайне маловероятное, выборочные характеристики, найденные на шаге 1, рассчитываются заново. Новая аппроксимирующая функция используется для дальнейшего анализа, в том числе для повторного расчета прогнозных значений (шаг 6).

С использованием изложенной методики в работе [21] был выполнен анализ эмпирических данных годовых максимумов снеговой нагрузки по 27 метеостанциям, представляющим все регионы Республики Беларусь. Для 23 станций выборочные ряды включали по 60–63 значения (наблюдения начаты в 1945 году, данные отдельных лет могли быть пропущены или забракованы), а данные четырех станций Брестской области (Пружаны, Высокое, Ивацевичи и Ганцевичи) — наблюдения с 1977 года. Поиск зависимостей, наилучшим образом аппроксимирующих хвостовую часть анализируемых распределений, осуществлялся в диапазоне длины хвостовой части 14–20 отсчетов (для упомянутых четырех станций — 9–14 отсчетов).

Установлено, что за период наблюдения на станциях Могилев, Лида и Житковичи произошли крайне маловероятные события в виде экстремальных нагрузок, которые могут случаться (статистически) не чаще чем один раз, соответственно, в 200 лет (1.68 кПа), 500 лет (1.47 кПа) и 650 лет (1.60 кПа). Данные отсчеты были исключены из дальнейшего анализа.

Обнаружено, что лишь в части территории Беларуси эмпирические распределения максимумов снеговой нагрузки соответствуют стандартному распределению Гумбеля (12 станций). Данные по 13 станциям соответствуют распределению Вейбулла (тип III с "легким хвостом"), а для станций Новогрудок и Вилейка наилучшей аппроксимацией является зависимость Фреше (тип II с "тяжелым хвостом"). Для этих станций можно применить также и аппроксимацию по Гумбелю, однако ее достоверность заметно хуже — соответственно, 0.967 (против 0.981 по Фреше) и 0.975 (0.984).

Для всех станций были определены: выборочные характеристики, тип и индивидуальная функция аппроксимации хвостовой части, нормативное (характеристическое) значение снеговой нагрузки с обеспеченностью $m = 0.98$ (период повторяемости 50 лет), а также расчетное значение с обеспеченностью $m = 0.996$ (период повторяемости 250 лет). Результаты анализа сведены в таблицы 4, 5. Рис. 7 иллюстрирует аппроксимацию эмпирических данных зависимостями различных типов, в том числе — с обнаружением экстремальных (маловероятных) снеговых нагрузок.

В связи с тем, что использование индивидуальных зависимостей аппроксимации распределения для каждой станции неудобно, был выполнен групповой анализ по типам распределений, в результате чего найдены обобщенные (типовые) приближения функций аппроксимации.

Таблица 4. Выборочные характеристики эмпирических рядов годовых максимумов снеговой нагрузки (по данным 27 метеостанций Беларуси)

Метеостанция	Выборочные характеристики эмпирического ряда						Примечание: исключенные значения, кПа (сезон)
	Размах, кПа	Медиана, кПа	Среднее, кПа	С.к.о., кПа	Вариация	Скос	
Гродно	0,08...1,45	0,365	0,446	0,308	0,69	1,36	
Лида	0,14...1,20	0,46	0,547	0,295	0,54	0,53	1,47 (1978—1979 гг.)
Новогрудок	0,08...2,07	0,70	0,774	0,426	0,55	0,67	
Витебск	0,15...1,73	0,775	0,794	0,349	0,44	0,65	
Верхнедвинск	0,08...1,60	0,555	0,619	0,336	0,54	0,75	
Езерище	0,15...1,45	0,67	0,687	0,295	0,43	0,52	
Лынтупы	0,10...1,95	0,87	0,842	0,432	0,51	0,49	
Могилев	0,18...1,39	0,62	0,671	0,332	0,50	0,59	1,68 (1955—1956 гг.)
Горки	0,18...1,63	0,81	0,792	0,366	0,46	0,38	
Костюковичи	0,17...1,60	0,60	0,656	0,328	0,50	0,77	
Минск	0,10...1,47	0,70	0,740	0,360	0,49	0,34	
Борисов	0,18...1,58	0,70	0,726	0,337	0,46	0,47	
Марьина Горка	0,18...1,36	0,45	0,538	0,300	0,56	0,67	
Брест	0...1,07	0,28	0,349	0,228	0,65	1,07	
Барановичи	0...1,24	0,525	0,553	0,284	0,52	0,56	
Пинск	0...1,37	0,345	0,407	0,292	0,72	1,24	
Пружаны	0...1,20	0,52	0,543	0,336	0,62	0,50	
Высокое	0,14...1,62	0,635	0,693	0,412	0,60	0,51	
Ивацевичи	0,11...1,36	0,565	0,599	0,322	0,54	0,58	
Ганцевичи	0...1,52	0,535	0,615	0,372	0,60	0,64	
Житковичи	0...1,18	0,41	0,487	0,272	0,56	0,92	1,60 (1969—1970 гг.)
Гомель	0,14...1,51	0,41	0,509	0,318	0,62	1,23	
Василевичи	0...1,38	0,48	0,524	0,299	0,57	1,07	
Вилейка	0,14...1,48	0,56	0,612	0,321	0,52	0,56	
Шарковщина	0,11...1,41	0,48	0,552	0,297	0,54	0,86	
Лепель	0...1,38	0,57	0,654	0,342	0,52	0,39	
Полоцк	0,14...1,58	0,64	0,680	0,336	0,50	0,47	

Таблица 5. Аппроксимация эмпирических функций распределения и прогнозные значения снеговой нагрузки (по данным 27 метеостанций Беларуси)

Метеостанция	Тип распределения	Функция аппроксимации хвостовой части распределения	Прогнозное значение, кПа	
			нормативное ($m = 0.98, 50$ лет)	расчетное ($m = 0.996, 50$ лет)
Гродно	Гумбеля	$S = 0,341 x + 0,121$	1,44	1,98
Лида	Вейбулла	$S = 0,429 \ln(x) + 0,681$	1,26	1,41
Новогрудок	Фреше	$S = 0,816 \exp(0,2224 x)$	1,94	2,78
Витебск	Вейбулла	$S = 0,722 \ln(x) + 0,724$	1,71	1,96
Верхнедвинск	Гумбеля	$S = 0,272 x + 0,487$	1,55	1,99
Езерище	Гумбеля	$S = 0,220 x + 0,603$	1,46	1,82
Лынтупы	Вейбулла	$S = 0,765 \ln(x) + 0,860$	1,90	2,17
Могилев	Вейбулла	$S = 0,546 \ln(x) + 0,783$	1,53	1,72
Горки	Гумбеля	$S = 0,210 x + 0,821$	1,64	1,98
Костюковичи	Гумбеля	$S = 0,293 x + 0,437$	1,58	2,05
Минск	Вейбулла	$S = 0,352 \ln(x) + 0,996$	1,49	1,60
Борисов	Вейбулла	$S = 0,468 \ln(x) + 0,856$	1,49	1,66
Марьяна Горка	Гумбеля	$S = 0,204 x + 0,504$	1,30	1,63
Брест	Гумбеля	$S = 0,219 x + 0,187$	1,04	1,39
Барановичи	Вейбулла	$S = 0,489 \ln(x) + 0,590$	1,26	1,42
Пинск	Гумбеля	$S = 0,2947 x + 0,1703$	1,32	1,80
Пружаны	Вейбулла	$S = 0,436 \ln(x) + 0,713$	1,31	1,46
Высокое	Вейбулла	$S = 0,644 \ln(x) + 0,817$	1,69	1,92
Ивацевичи	Гумбеля	$S = 0,261 x + 0,490$	1,51	1,93
Ганцевичи	Вейбулла	$S = 0,556 \ln(x) + 0,761$	1,52	1,71
Житковичи	Вейбулла	$S = 0,591 \ln(x) + 0,490$	1,30	1,50
Гомель	Гумбеля	$S = 0,309 x + 0,284$	1,49	1,99
Василевичи	Вейбулла	$S = 0,713 \ln(x) + 0,419$	1,39	1,64
Вилейка	Фреше	$S = 0,666 \exp(0,2026 x)$	1,47	2,04
Шарковщина	Гумбеля	$S = 0,247 x + 0,443$	1,41	1,81
Лепель	Вейбулла	$S = 0,377 \ln(x) + 0,865$	1,38	1,51
Полоцк	Гумбеля	$S = 0,235 x + 0,623$	1,54	1,92

В приведенных ниже выражениях $x = \ln[-\ln F(s)]$, а коэффициенты s_0 и k зависят от выборочных характеристик (\bar{S} , $\text{med} S_N$, σ_s , v_s и δ_s) эмпирического ряда данных:

— обобщенное приближение Гумбеля:

$$\begin{cases} s = s_0 + k \ln x \\ s_0 = \bar{S} + (1 - \delta/v) \cdot \sigma \\ k = 0.45v \sqrt{\delta/v} \cdot \bar{S}; \end{cases} \quad (10)$$

— обобщенное приближение Фреше:

$$\begin{cases} s = s_0 \exp(kx) \\ s_0 = \bar{S} + 0.1\sigma \\ k = 0.4v; \end{cases} \quad (11)$$

— обобщенное приближение Вейбулла:

$$\begin{cases} s = s_0 + k \ln x \\ s_0 = (2 - 0.84 \sqrt{\delta/v}) \cdot \bar{S} \\ k = \delta \cdot (1 + v) \cdot \text{med } S. \end{cases} \quad (12)$$

С использованием приближений (10)–(12) была выполнена коррекция (пересчет) характеристических значений снеговой нагрузки, результаты которой приведены в таблицах 6–8. Для сравнения приведены также результаты прогнозирования, выполненные с примене-

нием известного способа расчета коэффициентов α и β (s_0 и k) распределения Гумбеля по выборочным характеристикам \bar{S} и σ наблюдаемого ряда длины N без выделения его хвостовой части [19]

$$\alpha = \bar{S} - (0.45 + 0.34N^{-0.69}) \cdot \sigma, \quad (13)$$

$$\beta = (0.78 + 1.54N^{-0.75}) \cdot \sigma. \quad (14)$$

Для двух станций (Лынтупы, Барановичи) указаны также коэффициенты распределения Гумбеля, полученные путем классической аппроксимации эмпирических данных с применением критерия согласия "хи-квадрат".

Характеристические значения снеговой нагрузки, полученные с использованием обобщенных приближений, несущественно отличаются от прогнозов по индивидуальным функциям аппроксимации — отклонения не превышают $\pm 9\%$, за исключением станций Горки и Василевичи (до $+11.8\%$). Характеристические значения снеговой нагрузки, рассчитанные по распределению Гумбеля с использованием метода коэффициентов формулы (13) и формулы (14), существенно выше. Наибольшие отклонения (до $+19\%$) наблюдаются для станций, на которых хвостовая часть распределений подчиняется типу Вейбулла. Найденные таким образом значения, как правило, превышают наибольшие зафик-

сированные за 60-летний период наблюдения нагрузки. На примере станции Лынтупы видно, что классическая аппроксимация эмпирического распределения по критерию согласия "хи-квадрат" дает еще большие отклонения в сторону завышения прогнозных нагрузок.

Таким образом, анализ эмпирических данных о годовых максимумах снеговых нагрузок (рядов наблюдений за период 30–60 лет) с использованием предложенной методики позволяет получить более обоснованные, по сравнению с применяемыми ранее методами, характеристические значения прогноза. Скорректированные значения использованы далее для разработки карт районирования снеговых нагрузок Беларуси.

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕГОВОГО ПОКРОВА И ЗОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО СНЕГОВЫМ НАГРУЗКАМ

На рис. 8 приведена карта изолиний распределения характеристических значений прогноза снеговой нагрузки на территории Беларуси, построенная методом крайинга.

В обоснование границ районов характеристических (нормативных) значений снеговой нагрузки на территории Беларуси положена карта изолиний (см. рис. 8) и факторы синхронности выпадения твердых осадков (см. рис. 6). Амплитуда колебаний характеристических значений снеговых нагрузок составляет 0,85 кПа, от 1,08 кПа в Бресте до 1,93 кПа в Новогрудке. Аналогичное районирование территорий сопредельных государств показывает, что выделение снеговых районов осуществлено преимущественно с шагом интерполяции 0,1; 0,2; 0,3 кПа. В условиях Беларуси использование при районировании аналогичной карты в изолиниях с указанными шагами приводит к множеству сгенерированных замкнутых контуров, сложному очертанию границ районов и, в итоге, к дроблению и неопределенности процесса систематизации районов. Предлагаемая карта районирования снеговых нагрузок разработана с учетом имеющегося опыта, когда в пределах выделяемых снеговых районов в каждом расчетном пункте значения нагрузки в наибольшей степени отвечают районному фоновому значению.

В практике использования результатов районирования могут иметь место следующие случаи:

- а) соответствие расчетного значения районному;
- б) превышение районного значения над расчетным;
- в) превышение расчетного значения над районным.

Случай (б) наиболее вероятен, если в основе установления границ районов определяющей является граница верхнего поля. В то же время, вероятность события (б) в ходе районирования необходимо минимизировать по экономическим соображениям. Вероятность появления события (в) в принципе стремится к нулю, так как при выделении снеговых районов при наличии материалов метеонаблюдений учитываются и физико-географические особенности местности, и разрабатываются районные аналитические зависимости, корректирующие принимаемые проектировщиком нормативные значения снеговых нагрузок.

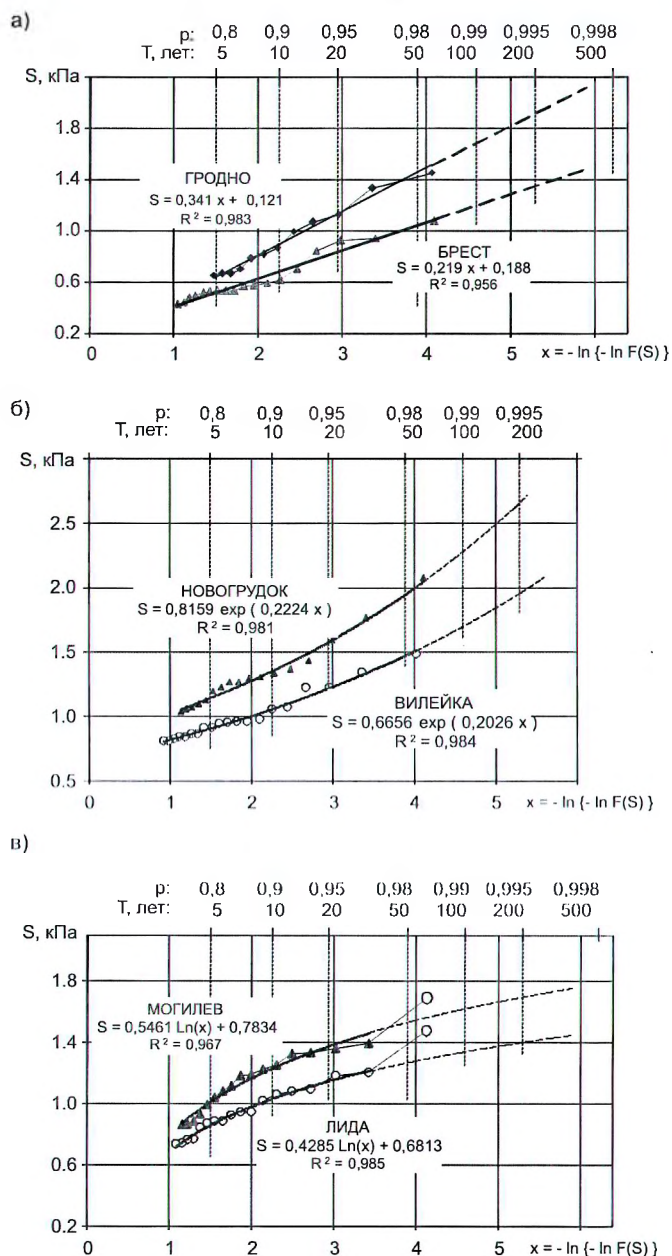


Рис. 7. Аппроксимация хвостовой части эмпирических распределений снеговой нагрузки зависимостями типа Гумбеля (тип I) (а), Фреше (тип II) (б) и Вейбулла (тип III) с проверкой вероятности появления экстремальных значений (в)

Переход от карты изолиний к фоновой карте районов с единым расчетным значением нормативной снеговой нагрузки предопределяет ведущую роль физико-географического анализа генетических составляющих процессов снегонакопления с целью уточнения количественных параметров и повышения устойчивости построения интерполяционной карты относительно исходных данных. Поэтому выделение заведомо однородных районов с учетом морфометрических, ландшафтных, климатических факторов в контексте комплексной оценки характеристик снегозапасов повышает точность проведения границ снеговых районов.

На рис. 9 приведена карта районирования территории Республики Беларусь по характеристическим значениям снеговой нагрузки. В результате проведенных

Таблица 6. Сопоставительный анализ нормативных прогнозных значений снеговой нагрузки (обеспеченность 0.98, распределение типа Гумбеля)

Метеостанция	Прогноз по индивидуальным функциям аппроксимации	Расчет по обобщенной (типовой) функции аппроксимации		Классическая аппроксимация по первому предельному распределению Гумбеля	
	Нормативное значение, кПа	Нормативное значение, кПа	Отклонение	Нормативное значение, кПа	Отклонение
Гродно	1,44	1,32	-8,4 %	1,56	+8,3 %
Верхнедвинск	1,55	1,58	+1,9 %	1,58	+1,9 %
Езерище	1,46	1,53	+4,5 %	1,45	-0,2 %
Горки	1,64	1,84	+11,8 %	1,56	-5,1 %
Костюковичи	1,58	1,59	+0,8 %	1,66	+5,2 %
Марьина Горка	1,30	1,39	+7,1 %	1,32	+1,5 %
Брест	1,04	1,00	-3,9 %	1,08	+3,7 %
Пинск	1,32	1,24	-6,1 %	1,38	+4,2 %
Ивацевичи	1,51	1,57	+4,4 %	1,38	-8,2 %
Гомель	1,49	1,41	-5,1 %	1,67	+11,8 %
Шарковщина	1,41	1,40	-0,4 %	1,49	+5,7 %
Полоцк	1,64	1,54	+6,4 %	1,45	-6,0 %

Таблица 7. Сопоставительный анализ нормативных прогнозных значений снеговой нагрузки (обеспеченность 0.98, распределение типа Фреше)

Метеостанция	Прогноз по индивидуальным функциям аппроксимации	Расчет по обобщенной (типовой) функции аппроксимации		Классическая аппроксимация по первому предельному распределению Гумбеля	
	Нормативное значение, кПа	Нормативное значение, кПа	Отклонение	Нормативное значение, кПа	Отклонение
Новогрудок	1,94	1,93	-0,8 %	1,99	+3,2 %
Вилейка	1,47	1,46	-0,5 %	1,53	+4,6 %

Таблица 8. Сопоставительный анализ нормативных прогнозных значений снеговой нагрузки (обеспеченность 0.98, распределение типа Вейбулла)

Метеостанция	Расчет по индивидуальным функциям аппроксимации	Расчет по обобщенной (типовой) функции аппроксимации		Классическая аппроксимация по первому предельному распределению Гумбеля	
	Нормативное значение, кПа	Нормативное значение, кПа	Отклонение	Нормативное значение, кПа	Отклонение
Лида	1,26	1,15	-9,1 %	1,39	+9,7 %
Витебск	1,71	1,77	+3,5 %	1,79	+4,8 %
Лынтупы	1,90	1,87	-1,8 %	2,07	+9,0 %
	По аппроксимации χ^2 :			2,49	+31,1 %
Могилев	1,53	1,47	-3,8 %	1,62	+6,1 %
Минск	1,49	1,44	-3,2 %	1,77	+18,5 %
Борисов	1,49	1,50	+0,2 %	1,69	+12,9 %
Барановичи	1,26	1,22	-2,4 %	1,36	+8,7 %
	По аппроксимации χ^2 :			1,28	+2,2 %
Пружаны	1,31	1,24	-4,7 %	1,56	+19,5 %
Высокое	1,69	1,55	-8,5 %	1,94	+14,7 %
Ганцевичи	1,52	1,45	-4,8 %	1,74	+14,7 %
Житковичи	1,30	1,25	-3,9 %	1,26	-3,0 %
Василевичи	1,39	1,54	+10,9 %	1,38	-0,9 %
Лепель	1,38	1,29	-6,1 %	1,63	+18,1 %



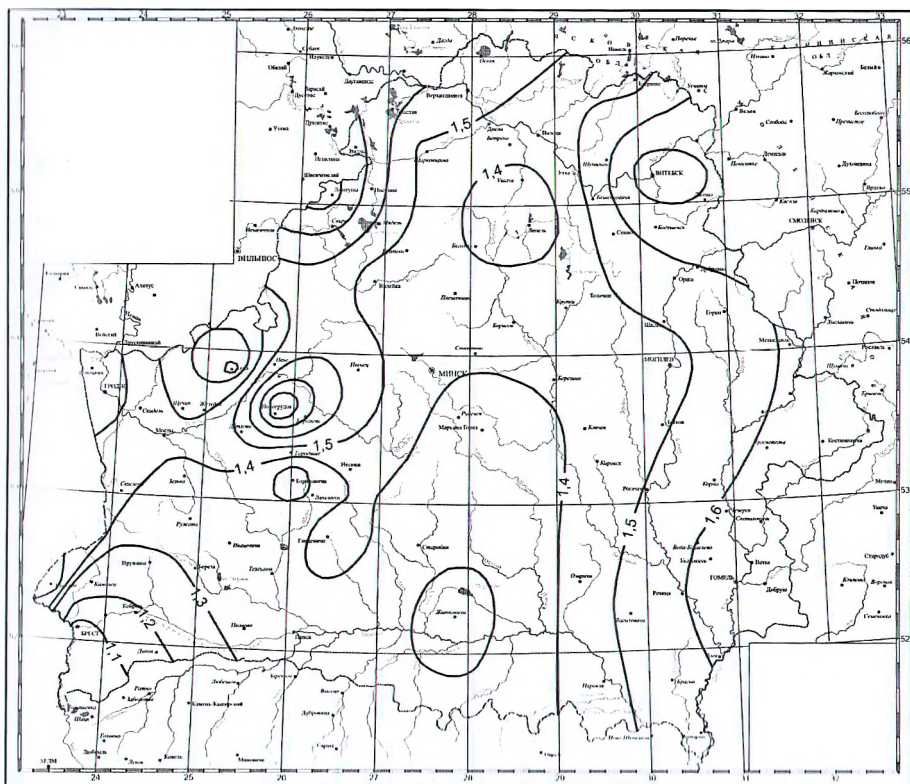


Рис. 8. Изолинии характеристических значений снеговой нагрузки на территории Республики Беларусь, кПа (обеспеченность 0.98, период повторяемости $t_{ret} = 50$ лет)

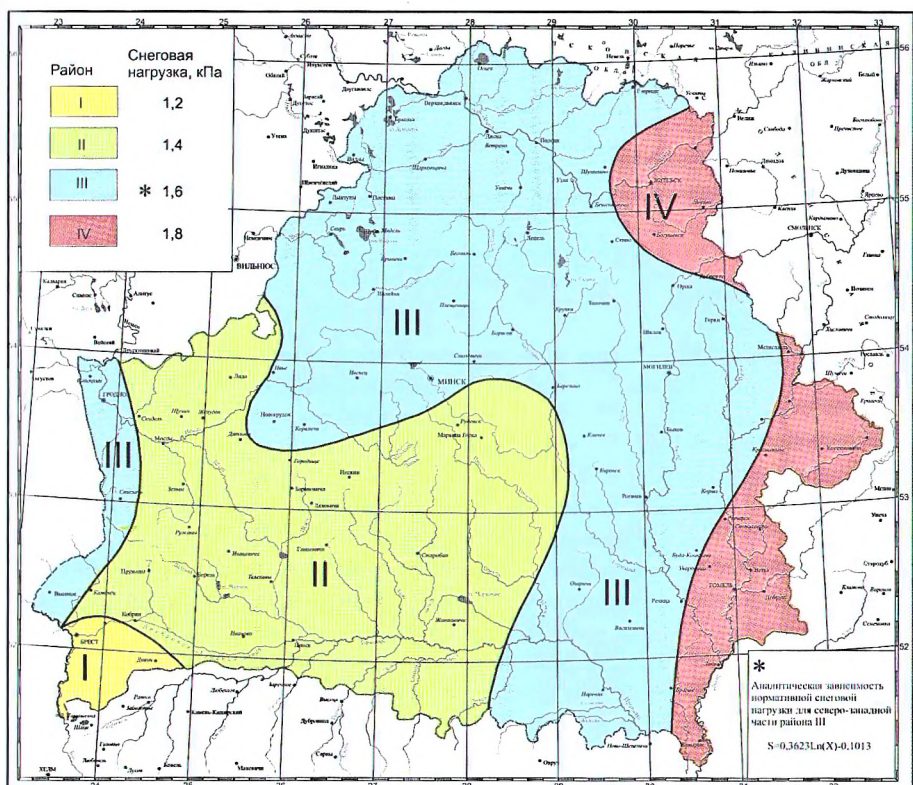


Рис. 9. Проект карты районирования характеристических значений годовых максимумов снеговой нагрузки в Республике Беларусь (0.98-квантиль распределения, период повторяемости $t_{ret} = 50$ лет)

аналитических оценок, физико-географической интерпретации величин снегозапасов на исследуемой территории выделено четыре снеговых района со следующими максимальными годовыми нагрузками: I район — 1,2 кПа; II район — 1,4 кПа; III район — 1,6 кПа; IV район — 1,8 кПа.

Анализ карты, представленной на рис. 9, показывает, что очертание границ района I соотносится с юго-западной, наиболее теплой в зимний период, частью территории Беларуси. Из общего количества дней с осадками на долю твердых осадков в виде снега здесь приходится 9%. Снеговой покров на юго-западе Беларуси характеризуется значительной неустойчивостью. Средняя дата образования снегового покрова в Бресте — 29.XII, разрушения — 5.III. При этом средняя продолжительность периода со снежным покровом не превышает 66 дней. Значительное количество оттепелей и жидких осадков в зимний период объясняет, в итоге, формирование минимальной снеговой нагрузки в этом районе.

Район II ограничен Брестским Полесьем на западе, Мозырским и Гомельским Полесьем на востоке, Центрально-Березинской равниной на северо-востоке и Копыльской грядой на севере исследуемой территории. Здесь наблюдается минимальная амплитуда колебаний отметок поверхности земли, и как следствие, — наименьшая амплитуда колебаний нормативных значений снеговых нагрузок среди четырех выделенных районов. Статистически значимая связь между снегонакоплением и высотой местности в этом районе отсутствует, так как он приурочен к орографической тени, вне пределов Волковысской, Новогрудской, Минской возвышенностей и Копыльской гряды. Это способствует равномерному распределению снегового покрова по территории, где районы синхронного колебания твердых атмосферных осадков в феврале (см. рис. 6) наибольшие по площади, в которых формируется максимальная снеговая нагрузка.

Район III имеет наибольший размер площади, включающей различные типы географического

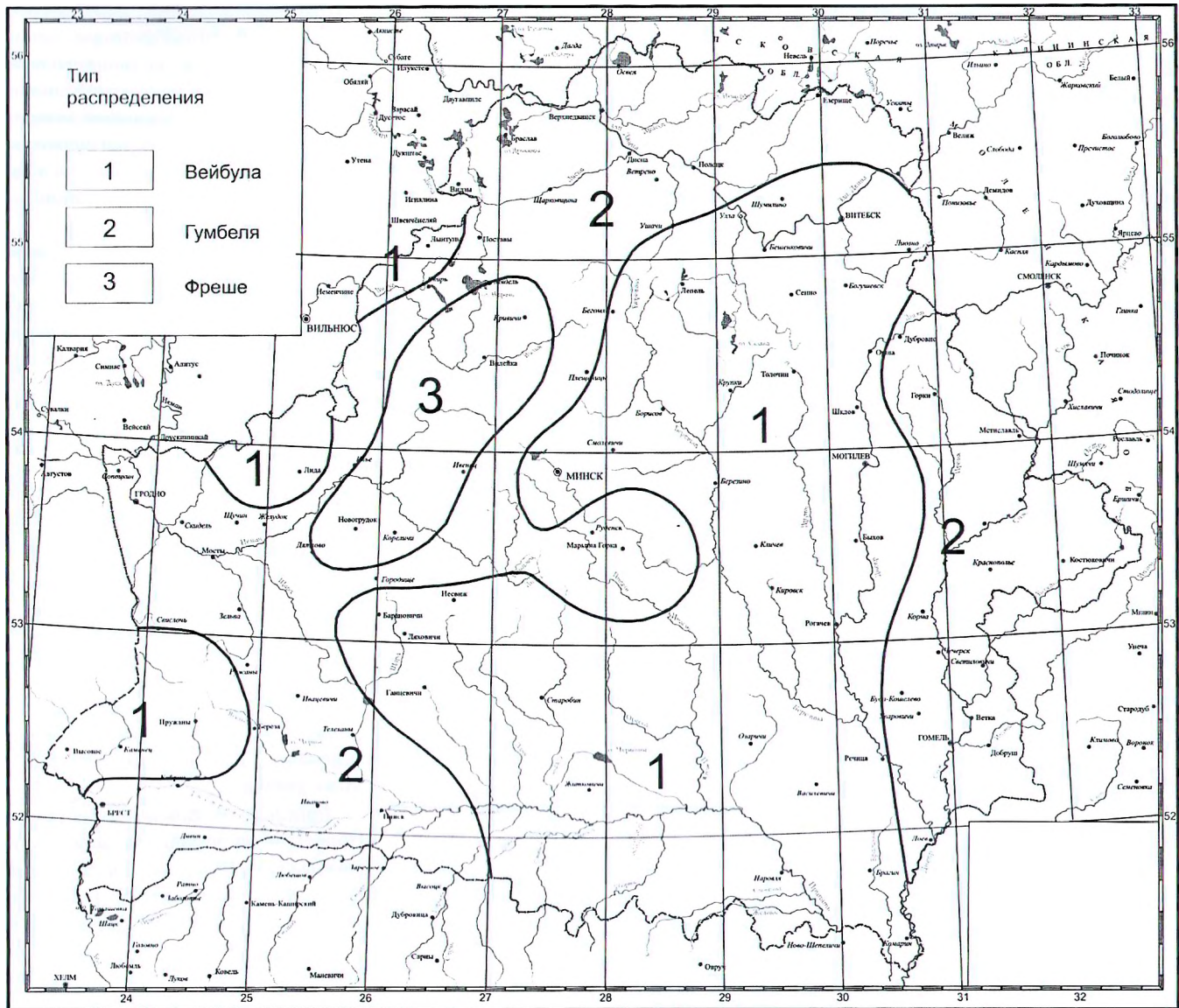


Рис. 10. Карта районирования территории Республики Беларусь по типам распределения снеговых нагрузок

ландшафта. На данной территории выделено наибольшее количество районов синхронного колебания твердых атмосферных осадков, чему способствует также неоднородность свойств подстилающей земной поверхности.

В северо-западной части на снегонакопление влияют наличие, ориентация в пространстве и абсолютные отметки рельефа Новогрудской и Ошмянской возвышенностей, Свенцянской гряды, которые являются орографическими барьерами от проникновения снегоносных воздушных масс вглубь территории Беларуси. Здесь выпадает наибольшее количество снега и, соответственно, формируются наибольшие снеговые нагрузки. В пунктах Новогрудок и Лынтупы нормативные значения снеговых нагрузок превышают районные на 0,33 и 0,27 кПа соответственно. В этой связи, для пунктов северо-западной части района III, в которой имеет место превышение нормативной расчетной нагрузки над районной 1,6 кПа, предлагается промежуточная аналитическая зависимость для определения снеговых нагрузок

$$s' = 0,3623 \ln(H) - 0,1013, \quad (15)$$

где s' — значение нормативной снеговой нагрузки, полученное аналитическим путем, кПа;
 H — отметка поверхности земли в расчетном пункте, м.

Использование зависимости (15) обязательно на начальном этапе установления нормативной снеговой нагрузки (s) в конкретном расчетном пункте северо-западной части III района в соответствии с картой (s_k) (см. рис. 9). Если $s' \leq s_k$, то принимается нормативное для III района значение расчетной снеговой нагрузки (s); при соотношении $s' > s_k$ — принимается полученное по зависимости (15) значение нормативной снеговой нагрузки (s' , кПа).

Район IV — район наибольших снеговых нагрузок, занимает восточную окраину Беларуси. Для данного района характерна ярко выраженная связь снеговых нагрузок с высотой местности.

Восточная часть территории района IV хорошо согласуется с границами синхронного выпадения твердых атмосферных осадков (см. рис. 6), и зависимость (15) здесь не используется.

Следует отметить, что выполненное районирование хорошо согласуется с границами построенных ранее подобных карт смежных территорий Польши, Украины и Литвы.

Случайные величины, представленные основными характеристиками снеготпасов по 27 метеопунктам Беларуси, образуют статистические (выборочные) совокупности, каждый член которой — варианта, в составе вариационных рядов подвергнуты обработке, включая описание вариационных кривых с помощью математических моделей функции распределения. Из-за недостаточности экспериментальных данных по снеготпасам, их неравномерности формирования по территории Беларуси, разработчики не полагались только на традиционные критерии нормального распределения. В качестве альтернативных методик, в процессе сравнительного анализа, исследовались и рекомендованы к практическому использованию известные типы аппроксимации эмпирических данных: Вейбулла, Гумбеля, Фреше.

С этой целью построена карта районирования территории Беларуси по типам распределения используемых функций в процессе нормирования снеготпасов (рис. 10).

Таблица 9. Индексы надежности $\beta_{\text{таг}}$ и коэффициенты надежности по назначению k , согласно [6]

Класс надежности по [7]	Индекс надежности $\beta_{\text{таг}}$ (при расчете по I группе предельных состояний; $t_{\text{rel}} = 50$ лет)	Коэффициент надежности по назначению k
RC3	4,3	1,1
RC2	3,8	1,0
RC1	3,3	0,9

Таблица 10. Расчетные значения коэффициентов безопасности для метеостанций наблюдения (при $\alpha_E = 0,7$; $\beta_{\text{таг}} = 3,8$)

Район	Метеостанция наблюдения	s_k , кПа ($t_{\text{rel}} = 50$ лет)		u , кПа	u/s_k	$\gamma_0 = 1 + 2,66u$
		По станции	По району			
I	Брест	1,08	1,20	0,1778	0,165	1,437
	Марьина Горка	1,32	1,40	0,2340	0,177	1,470
	Пинск	1,38		0,2277	0,165	1,438
II	Лида	1,39		0,2260	0,163	1,433
	Барановичи	1,36		0,2180	0,161	1,427
	Житковичи	1,26		0,2100	0,167	1,440
	Василевичи	1,38		0,2340	0,1695	1,450
III	Могилев	1,62(1,47)	1,60	0,2570	0,1588	1,422
	Минск	1,77(1,44)		0,2800	0,1580	1,421
	Борисов	1,69(1,50)		0,2650	0,1568	1,417
	Костюковичи	1,66		0,2560	0,1541	1,409
	Верхнедвинск	1,58		0,2620	0,1658	1,441
	Езерище	1,46		0,2300	0,1575	1,419
	Горки	1,56		0,2610	0,167	1,445
IV	Витебск	1,77	1,80	0,2730	0,154	1,410

НАЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЕЗОПАСНОСТИ И КОМБИНАЦИОННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДЛЯ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Коэффициенты безопасности

В соответствии с положениями метода предельных состояний (или метода частных коэффициентов безопасности) коэффициент безопасности по нагрузке γ_F вводится для того, чтобы учесть отклонения переменных нагрузок в неблагоприятную сторону от репрезентативных значений. В случае снеготпасов репрезентативное значение определяется исходя из характеристического значения s_k , установленного из статистического моделирования с назначенной обеспеченностью и скорректированного с учетом деления территории Республики Беларусь на климатические районы. В общем случае коэффициент безопасности для переменной нагрузки γ_0 определяется из отношения

$$\gamma_0 = \frac{s_d}{s_k}, \tag{16}$$

где s_d — расчетное значение снеготпасовой нагрузки; s_k — характеристическое значение снеготпасовой нагрузки.

Расчетное значение снеготпасовой нагрузки s_d определяется с учетом назначенного уровня надежности конструкции (индекса надежности $\beta_{\text{таг}}$ (таблица 9) или вероятности отказа по ISO 2394 [6]).

Зависимость, представляющую отклонения расчетных значений от нормативных (рассеивание относительно характеристических значений), следует записать в виде

$$s_d = s_k + \alpha_E \cdot \beta_{\text{таг}} \cdot u, \tag{17}$$

где α_E — коэффициент чувствительности, принимаемый для доминирующих нагрузок $\alpha_E = 0,7$ (для недоминирующих $\alpha_E = 0,28$ по ISO 2394 [6]);

$\beta_{\text{таг}}$ — целевой индекс надежности по таблице 9;

u — "характеристическое" отклонение, определяемое как отклонение данных ряда от характеристических значений s_k .

Согласно [7] для распределения Гумбеля можно рассматривать приближенное соотношение $u = 0,7797\sigma$ (здесь σ — стандартное отклонение).

Выполняя преобразования, получаем выражение

$$\gamma_0 = \frac{s_d}{s_k} = \frac{s_k \cdot (1 + \alpha_E \cdot \beta_{\text{таг}} \cdot u)}{s_k} = 1 + \alpha_E \cdot \beta_{\text{таг}} \cdot u, \tag{18}$$

Таблица 11. Анализ обеспеченности расчетных значений прогноза снеговой нагрузки с учетом коэффициента безопасности $\gamma_0 = 1,40$

Норма нагрузки, Па	Нагрузка с учетом коэффициента безопасности $\gamma_0 = 1,40$ Па	Метеостанция	Расчетное значение прогноза s_k , кПа		Тип распреде- ления	Обеспеченность прогноза m	
			Исх.	Корр.		при расчете по обобщенным зависимостям	при расчете по коэффициент- ному методу Гумбеля
1200	1680	Брест	1,04	1,08	Г	0,9986	0,9994
1400	1960	Марьино Горка	1,30	1,32	Г	0,9990	0,9978
		Житковичи	1,30	1,25	В	0,999(9)	0,9990
		Лида	1,26	1,15	В	0,999(9)	0,9993
		Барановичи	1,26	1,22	В	0,999(9)	0,9995
		Пружаны	1,31	1,24	В	0,999(9)	0,9946
		Ивацевичи	1,51	1,38	Г	0,9997	0,9980
		Пинск	1,32	1,38	Г	0,9971	0,9989
1600	2240	Ганцевичи	1,52	1,45	В	0,999(9)	0,9955
		Гродно	1,44	1,56	Г	0,9969	0,9994
		Василевичи	1,39	1,54	В	0,9999	0,9993
		Верхнедвинск	1,55	1,58	Г	0,9981	0,9980
		Езерище	1,46	1,46	Г	0,9995	0,9988
		Горки	1,64	1,56	Г	0,9996	0,9945
		Шарковщина	1,41	1,49	Г	0,9986	0,9993
		Полоцк	1,54	1,45	Г	0,9997	0,9975
		Лепель	1,38	1,29	В	0,999(9)	0,9975
		Могилев	1,53	1,47	В	0,999(9)	0,9977
		Минск	1,49	1,44	В	0,999(9)	0,9957
		Вилейка	1,47	1,46	Ф	0,9985	0,9995
		Борисов	1,49	1,50	В	0,999(9)	0,9971
Высокое	1,69	1,55	В	0,999(9)	0,9910		
1800	2520	Витебск	1,71	1,77	В	0,999(9)	0,9983
		Гомель	1,49	1,67	Г	0,9979	0,9997
		Костюковичи	1,58	1,66	Г	0,9988	0,9993

где $\nu = u/s_k$ — "характеристический" коэффициент вариаций, оценивающий разброс данных статистического ряда относительно характеристических значений s_k [30].

Результаты расчетов коэффициентов безопасности для рассмотренных метеорологических станций наблюдения приведены в таблице 10.

Как видно из полученных результатов, практически для всех метеостанций коэффициент безопасности может быть принят равным $\gamma_0 = 1,45$. Безусловно, полученные решения достаточно консервативны и возможно выполнить корректировку коэффициента для соответствующих (выделенных) снеговых районов. Рекомендуемые значения коэффициентов безопасности γ_0 и соответствующие обеспеченности расчетных значений приведены в таблице 11.

Как видно из результатов анализа, представленных в таблицах 11, 12, практически для всех станций метеонаблюдений на территории Республики Беларусь (за исключением Новогрудка и Лынтуп) расчетные значения, имеющие обеспеченность $m = 0,999$, могут быть получены при принятых районных характеристических значениях снеговых нагрузок s_k и коэффициентах безопасности $\gamma_0 = 1,45$. Следует отметить, что с определенным допуском на результаты наблюдений по станциям Пинск (обеспеченность 0,9971 при $t_{rel} = 343$ года) и Грод-

но (обеспеченность 0,9969 при $t_{rel} = 320$ лет) в качестве единого коэффициента безопасности для снеговых нагрузок можно было бы рекомендовать $\gamma_0 = 1,40$.

При этом необходимо обратить внимание, что характеристические значения снеговых нагрузок для Новогрудка и Лынтуп следует определять по отдельным зависимостям, связывающим величину нормативной нагрузки с отметкой пункта над уровнем моря.

Комбинационные значения снеговых нагрузок. Коэффициент ψ_0

Общий принцип сочетания воздействий, изложенный в п. 9.5 [6], предполагает, что:

— одно воздействие выбирают в качестве доминирующего и вводят его нормативным (характеристическим) значением Q_{1k} ;

— второе воздействие вводится с пониженным комбинационным значением $\psi_{02} \cdot Q_{2k}$ ($\psi_{02} \leq 1$). Коэффициент сочетания ψ_{02} зависит от характеристик как доминирующего, так и недоминирующего воздействия;

— третье воздействие вводится с дальнейшим понижением комбинационного значения $\psi_{03} \cdot Q_{3k}$ ($\psi_{03} \leq \psi_{02}$). Последовательность введения величин ψ_0 следующая: $\psi_{01} = 1$; $\psi_{01} \geq \psi_{02} \geq \psi_{03}$.

Для определения коэффициентов сочетания ψ_0 используются рекомендациями приложения F стандарта ISO 2394 [6].

Таблица 12. Анализ коэффициентов сочетаний снеговой нагрузки

Районирование метеостанций и локальные значения нормативного прогноза			Коэффициент вариации	Коэффициент сочетаний ψ_0	Выборочное среднее, кПа	Медиана, кПа	Коэффициент сочетаний ψ_1	
Метеостанция	s_k , кПа						Расчет по среднему значению	Расчет по медиане
	Исх.	Корр.						
Район 1. Норма района: 1200/1680 Па								
Брест	1,04	1,08	0,653	0,331	0,35	0,28	0,29	0,23
Район 2. Норма района: 1400/1960 Па								
Марьино Горка	1,30	1,32	0,557		0,54	0,45	0,38	0,32
Житковичи	1,30	1,25	0,558		0,49	0,41	0,35	0,29
Лида	1,26	1,15	0,540		0,55	0,46	0,34	0,29
Берановичи	1,26	1,22	0,515		0,55	0,53	0,35	0,33
Пружаны	1,31	1,24	0,619		0,54	0,52	0,39	0,37
Ивацевичи	1,51	1,38	0,537		0,60	0,56	0,37	0,35
Пинск	1,32	1,38	0,717		0,41	0,35	0,29	0,25
Ганцевичи	1,52	1,45	0,604		0,62	0,54	0,38	0,34
В среднем по району			0,581	0,347	0,536	0,476	0,357	0,317
95 % — квантиль			0,683	0,326				
Район 3. Норма района: 1600/2240 Па								
Гродно	1,44	1,56	0,690		0,45	0,37	0,28	0,23
Василевичи	1,39	1,54	0,571		0,52	0,48	0,33	0,30
Верхнедвинск	1,55	1,58	0,543		0,62	0,56	0,39	0,35
Езерище	1,46	1,46	0,430		0,69	0,67	0,43	0,42
Горки	1,64	1,56	0,462		0,79	0,81	0,49	0,51
Шарковщина	1,41	1,49	0,539		0,55	0,48	0,35	0,30
Полоцк	1,54	1,45	0,494		0,68	0,64	0,43	0,40
Лепель	1,38	1,29	0,523		0,65	0,57	0,41	0,36
Могилев	1,53	1,47	0,495		0,67	0,62	0,42	0,39
Минск	1,49	1,44	0,486		0,74	0,70	0,46	0,44
Вилейка	1,47	1,46	0,524		0,61	0,56	0,34	0,31
Борисов	1,49	1,50	0,463		0,73	0,70	0,45	0,44
Высокое	1,69	1,55	0,594		0,69	0,63	0,43	0,40
В среднем по району			0,524	0,362	0,646	0,598	0,400	0,371
95 % — квантиль			0,633	0,336				
Район 4. Норма района: 1800/2520 Па								
Витебск	1,71	1,77	0,439		0,79	0,78	0,44	0,43
Гомель	1,49	1,67	0,624		0,51	0,41	0,28	0,23
Костюковичи	1,58	1,66	0,500		0,66	0,60	0,36	0,33
В среднем по району			0,521	0,363	0,653	0,595	0,363	0,331
95 % — квантиль			0,612	0,340				
По всем районам			0,547	0,356	0,600	0,546	0,378	0,343
95 % — квантиль			0,683	0,326				

Таблица 13. Зависимости для вычисления ψ_0 при двух переменных воздействиях

Тип распределения	$\psi_0 = F_{\text{accomp}}/F_{\text{lead}}$
Общий случай	$\frac{F_s^{-1}\{\Phi(0.4\beta^*)^N\}}{F_s^{-1}\{\Phi(0.7\beta)^N\}}$, при $\beta^* = -\Phi^{-1}\{\Phi(-0.7\beta)/N_1\}$
Аппроксимация для очень больших N_1	$\frac{F_s^{-1}\{\exp[-N_1\Phi(0.4\beta^*)]\}}{F_s^{-1}\{\Phi(0.7\beta)\}}$, при $\beta^* = -\Phi^{-1}\{\Phi(-0.7\beta)/N_1\}$
Нормальное	$\frac{1+(0,28\beta-0,7\ln N_1)\cdot\nu}{1+0,7\beta\nu}$
Гумбеля	$\frac{1-0,78\nu\cdot[0,58+\ln(-\ln\Phi(0,28\beta))+\ln N_1]}{1-0,78\nu\cdot[0,58+\ln(-\ln\Phi(0,7\beta))]}$

Примечание — В таблице приняты следующие обозначения:
 $F_s(\cdot)$ — функция распределения вероятности экстремальных значений сопутствующего воздействия в период отнесения T (базовый период);
 T — базовый период отнесения;
 T_1 — больший из базовых периодов отнесения для комбинируемых воздействий;
 $N_1 = T/T_1$, с округлением до ближайшего целого;
 ν — коэффициент вариации для сопутствующего воздействия.

При калибровке комбинационного коэффициента ψ_0 согласно [6] приняты следующие допущения и условия:

- два воздействия, включенные в одну комбинацию, рассматриваются как независимые переменные;
- базовый период (T_1 и T_2) для каждого воздействия считается постоянным; T_1 — больший из базовых периодов;
- значения воздействий внутри соответствующего базового периода считаются постоянными;
- интенсивности воздействий внутри базовых периодов не коррелируются;
- оба воздействия описываются эргодическими процессами.

Зависимости для вычисления ψ_0 при двух переменных воздействиях, согласно [6], представлены в таблице 13.

Результаты расчетов комбинационного коэффициента ψ_0 представлены в таблице 12. Как видно из полученных результатов расчета для условий Республики Беларусь значение комбинационного коэффициента по расчету составляет $\psi_0 = 0,356$ при $V_m = 0,547$.

Принимая во внимание требования гармонизации с европейскими нормами EN 1990 [4] и СТБ EN 1990 [7], комбинационный коэффициент ψ_0 для Беларуси следует принять с определенным запасом $\psi_0 = 0,5$ (как для Европейских стран с отметками $H \leq 1000$ м над уровнем моря).

Коэффициент ψ_1 (для частых значений нагрузок)

Согласно [6] допускается устанавливать частое значение следующим образом. Значения воздействия во временных точках описывают как функцию времени, используя функцию процесса. Заданный уровень величин воздействия Q_1 превышает в течение некоторого времени продолжительностью t_1, t_2, t_3, \dots , т. е. в течение времени $\sum t_i$ в рамках выбранного контрольного времени t_c .

¹ Исследования выполнены в рамках темы № 78-ГФН/06 по заказу Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь. Краткая версия данного материала была опубликована в [34] и вызвала интерес специалистов [35].

Таким образом, частое значение $Q_1 = \psi_1 \cdot Q_k$ превышает в течение установленной относительной продолжительности

$$\eta = \frac{\sum t_i}{t_c} \quad (19)$$

Согласно [6] рекомендуется применять η менее 0,1. Результаты расчетов коэффициента ψ_1 представлены в таблице 12.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из результатов, полученных при выполнении исследований, сделаны следующие выводы:

- 1 Действующее на территории Республики Беларусь Изменение № 1 к СНиП 2.01.07 [3] не соответствует требованиям СТБ EN 1990 [7] и СТБ ИСО 2394 [9] и нуждается в существенных корректировках. Для районов с неустойчивым и изменчивым снеговым покровом, к которым относится территория Республики Беларусь, нормирование снеговых нагрузок, выполняемое по СНиП 2.01.07 [3], дает ненадежные результаты, что повышает риск обрушений конструкций покрытий.
- 2 Выполненный детальный анализ климатических условий Республики Беларусь с точки зрения формирования снегового покрова, разработанный метод статистического оценивания характеристических значений снеговых нагрузок и обоснованные подходы при картографическом отображении позволили выработать предложения по нормированию снеговых нагрузок на здания и сооружения, соответствующие концепции надежности, заложенной в СТБ ИСО 2394 [9] и СТБ EN 1990 [7]¹.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02. — Минск, 2003.
2. Нагрузки и воздействия: СНиП 2.01.07-85. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. — 36 с.
3. Нагрузки и воздействия: Изменение № 1 к СНиП 2.01.07-85. — Введено 1.07.2004.
4. Basis of Structural Design: EN 1990: 2002, Eurocode 0.
5. Actions on structures — Part-1-3: General actions — Snow loads: EN 1991-1-3, Eurocode 1.
6. General principles on reliability for structures: ISO 2394: 1998(E).
7. Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций: СТБ EN 1990-2007. — Минск: Госстандарт, 2007.
8. Еврокод 1. Воздействия на несущие конструкции: СТБ EN 1991-1-1-2007. — Минск: Госстандарт, 2007.
9. Общие принципы проверки надежности строительных конструкций: СТБ ИСО 2394/ПР1.
10. Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten Schneelast und Eislast: DIN 1055-5.
11. Еврокод 1. Основы проектирования и воздействия на конструкции. Часть 2–3. Воздействия на конструкции. Снеговые нагрузки: LST L ENV 1991-2-3: 2003.
12. Нагрузки и воздействия: ДБН В.1.2-2006.
13. Basis for design of Structures — Determination of Snow loads: ISO 4355: 1997.
14. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Czesc 1-3: Obciazenie sniegiem: PN-EN 1991-1-3: 2003.
15. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / Гордеев [и др.]. Под общей редакцией А.В. Перельмутера. — М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. — 432 с.
16. Тур, В.В. О нормировании снеговых нагрузок для условий Брестской области Республики Беларусь / В.В. Тур, Т.М. Пецольд, И.С. Воскобойников // Строительная наука и техника. — 2006. — № 4(7). — С. 30–35.
17. Нагрузки и воздействия (2 редакция): Проект СНиП. — М., 2007.
18. Райзер, В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций / В.Д. Райзер. — М.: Стройиздат, 1986.
19. Савельев, В.А. Положения по назначению расчетной снеговой нагрузки / В.А. Савельев [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. — 2004. — № 5.
20. Пояснительная записка к карте "Ежегодный максимум запаса воды в снеге (веса снежного покрова, кгс/м², возможный раз в 25 лет (96 %-обеспеченность)) на защищенных от воздействия ветра участках" / Республиканский гидрометеорологический центр. — Минск, 2006.
21. Научно-технический отчет "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" / В.В. Тур [и др.], № ГР 2007689. — Брест, БрГТУ. — 310 с.
22. Валуев, В.Е. Исследование синхронности колебания атмосферных осадков и их математическое моделирование (на примере Беларуси) / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик // Гидрометеорология и экология. Ежеквартальный научно-технический журнал. Алматы: Мин-во охр. окруж. среды Республики Казахстан. Респ. гос. предпр. "Казгидромет". — 2005. — № 2. — С. 42–50.
23. Каган, Р.Л. Об учете пространственной связности мелкомасштабных флуктуаций при оценке точности осреднения / Р.Л. Каган. — Тр. ГГИ, 1977, вып. 247. — С. 80–87.
24. Валуев, В.Е. Оптимизация метеорологической сети и обоснование репрезентативного периода наблюдений за атмосферными осадками / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик, В.Ю. Цилиндь // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: материалы областной научн.-техн. конф., Брест, 2001 г. / Брестский государственный технический университет; редкол. П.П. Строкач. — Брест, 2001. — С. 182–189.
25. Валуев, В.Е. Опыт картографирования физико-географических характеристик Беларуси / В.Е. Валуев, А.А. Волчек, О.П. Мешик // Рациональное использование природных ресурсов: труды Межд. конф., Брест, 20–22 окт. 1998 г. / Брестский политехнический институт; редкол.: В.Е. Валуев [и др.]. — Брест: Центр Трансфера Технологий (ЦТТ), 1998. — С. 106–115.
26. Гумбель, Э. Статистика экстремальных значений / Э. Гумбель. — М.: Мир, 1965.
27. Владимиров, В.А. Управление риском / В.А. Владимиров [и др.]. — М.: Наука, 2000. — 431 с.
28. Учет метеорологических явлений при оценке площадок для атомных электростанций // Серия норм МАГАТЭ по безопасности: Руководство № NS-G-3.4. — МАГАТЭ, Вена, 2005.
29. Дейвид, Г. Порядковые статистики / Г. Дейвид. — М.: Наука, 1979. — 336 с.
30. Микро-ЭВМ в информационно-измерительных системах / С.М. Переверткин, Н.И. Гаранин, Ю.Н. Костин, И.И. Миронов. — М.: Машиностроение, 1987. — 248 с.
31. Soukhov, D. European Snow Loads Research Program — Purposes and Tasks / D. Soukhov // Lacer. — 1997. — № 2. — P. 245–252.
32. Zuranski, J.A. Obciezenie sniegiem w ujeciu nowej normy PN-EN 1991-1-3: 2003 / J.A. Zuranski // Inzynieria i Budownictwo. — 2006. — № 2. — P. 66–69.
33. Gränzer, M. Zur Festegung der rechnerischen Schnelaste / M. Gränzer // "Bauingenieur", 58(1983) 1–5.
34. Республиканская строительная газета № 8, 2008. — С. 5.
35. Республиканская строительная газета № 12, 2008. — С. 5.

Статья поступила в редакцию 10.01.08.