

**Тур В.В.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, **Жураньски Е.**, доктор технических наук, профессор, Институт строительной техники (ITB), Варшава, Польша, **Дереченник С.С.**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой, **Черноиван А.В.**, магистр технических наук, аспирант, Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

## **О РАЗРАБОТКЕ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ К ЧАСТЯМ ЕН 1991–1–3, ЕН 1991–1–4 ЕВРОКОДА 1 "ОБЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ", УСТАНОВЛИВАЮЩИМ ТРЕБОВАНИЯ К НОРМИРОВАНИЮ ЗНАЧЕНИЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

*В настоящей статье в краткой форме представлены подходы, которые были приняты при назначении национально устанавливаемых параметров (NDP), использованных для составления Национальных приложений к частям ТКП ЕН 1991–1–3 и ТКП ЕН 1991–1–4, устанавливающим правила нормирования климатических воздействий на строительные конструкции зданий и сооружений.*

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время на территории Республики Беларусь активно реализуется программа внедрения европейских строительных норм (Еврокодов).

В соответствии с принятым регламентом введения евро-норм в качестве национальных технических нормативно-правовых актов предполагается, что каждое государство-участник процесса составляет к идентичному тексту перевода (ITD) Еврокода Национальное приложение (NA), в котором приводятся значения национально установленных параметров (National Determined Parameters – NDP), выбор которых допускают соответствующие разделы базового текста евро-норм. Так, применительно к рассматриваемым частям Еврокода 1, относящимся к нормированию климатических воздействий, следует принять национальные параметры по 24 пунктам при составлении приложения к ЕН 1991–1–3 [4] и по 54 пунктам соответственно для Национального приложения к ЕН 1991–1–4 [5].

Следует отметить, что при составлении Национальных приложений к ЕН 1991-1-3 [4] и ЕН 1991-1-4 [5], устанавливающим требования к нормированию климатических воздействий на строительные конструкции, целый ряд вопросов требует детального изучения и в настоящее время на некоторые из них не могут быть даны обоснованные ответы без проведения соответствующего объема исследовательских работ.

Можно выделить основные проблемы, которые требуют первоочередного решения и без которых составление Национальных приложений не имеет смысла.

1. В связи с тем, что базовые нормативные документы, регламентирующие установленный уровень надежности строительных конструкций, СТБ ИСО 2394 и СТБ ЕН 1990 требуют выполнять нормирование климатических воздействий с годовой вероятностью превышения  $0,02$  (что соответствует периоду повторяемости  $T = 50$  лет), необходимо пересмотреть как собственно характеристические значения климатических воздействий, так и национальные карты районирования. Здесь следует отметить, что в приложении С к ЕН 1991-1-3 [4] представлены карты районирования Европы по снеговым нагрузкам на грунт, которые предназначены, главным образом, для "*...оказания помощи национальным комитетам при переработке национальных норм и карт и установлении гармонизированных процедур составления карт*".

2. Переход к нормируемым показателям надежности, установленным в СТБ ИСО 2394 и СТБ ЕН 1990, требует выполнения калибровки системы коэффициентов безопасности и коэффициентов сочетаний воздействий (эффектов от воздействий), применяемых в детерминистических неравенствах метода частных коэффициентов безопасности (как разновидности метода предельных состояний).

3. Необходимо выполнить адаптацию расчетных моделей воздействий (в частности, ветровых нагрузок) применительно к климатическим и орографическим условиям Республики Беларусь.

Как было показано ранее в наших работах [1-3], увеличение периода повторяемости при обеспеченности характеристических значений  $0,98$ , безусловно, приводит к возрастанию кли-

матических нагрузок на конструкции зданий и сооружений. В таких условиях для обеспечения эффективного проектирования, а также адекватной оценки состояния существующих конструкций, следует разработать методы, позволяющие корректировать значения климатических воздействий при других периодах повторяемости, отличных от 50 лет, но связанных с проектным сроком эксплуатации здания или сооружения, подобно тому, как это сделано в приложении D к ЕН 1991–1–3 [4].

## 1. НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ К ЕН 1991–1–3 "ОБЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ. СНЕГОВЫЕ НАГРУЗКИ"

При составлении Национального приложения к ЕН 1991–1–3 [4] базовыми пунктами, требующими внесения национально установленных параметров (NDP), являются следующие:

1. Составление карты характеристических нагрузок от снега на грунт в соответствии с требованиями СТБ ИСО 2394, СТБ ЕН 1990 для периода повторяемости  $T = 50$  лет (вероятность превышения среднегодовых максимумов  $0,02$ ).

2. Разработка методов корректировки (перерасчета) снеговых нагрузок на грунт для других периодов повторяемости, отличных от принятого при оценивании характеристических значений.

3. Калибровка коэффициентов сочетаний  $\psi_0, \psi_1, \psi_2$ , изменяемых при расчете конструкций с назначенным уровнем надежности согласно СТБ ЕН 1990 [7].

### 1.1. ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ГРУНТ

В рамках исследовательской работы [12] было выполнено статистическое прогнозирование и районирование снеговых нагрузок на грунт для периода повторяемости  $T = 50$  лет. Уточненная карта районирования характеристических значений снеговой нагрузки на грунт показана на рис. 1.

Построение карты выполнялось с использованием оригинального нового метода гридинга, разработанного С.С. Дереченником и А.В. Дмитриевой.

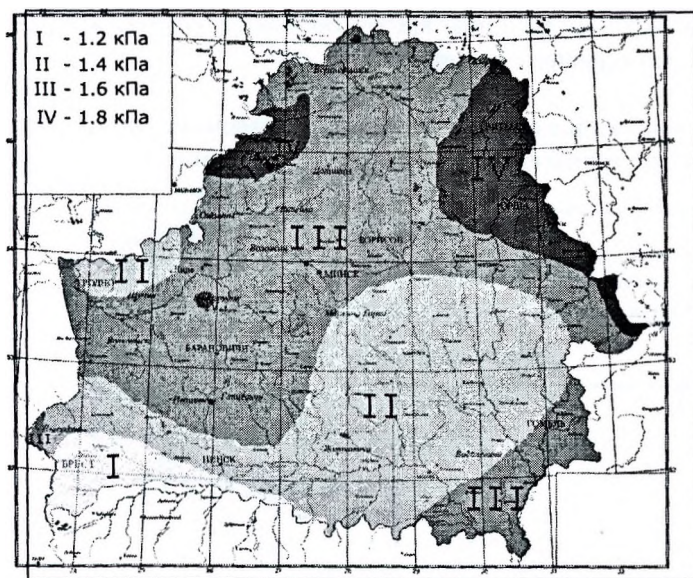


Рис. 1. Уточненная карта районирования характеристических значений снеговой нагрузки (период повторяемости 50 лет)

Исследованиями [12] было установлено, что хвостовые части эмпирических распределений снеговой нагрузки в Беларуси описываются различными типами (семействами) степенных законов распределения: типом I (Гумбеля или Фишера-Типпета), типом II (Фреше) либо типом III (Вейбулла). В связи с этим, пересчет нормативных снеговых нагрузок с обеспеченностью 0.98 (для периода повторяемости 50 лет), на меньшие или большие значения обеспеченности (соответственно, меньшие или большие периоды повторяемости), выполняемый стандартными методами (по зависимости Гумбеля), не может быть корректным для всей территории Беларуси. В связи с этим, была поставлена задача районирования территории по типу (закону) распределения хвостовой части эмпирических распределений снеговой нагрузки.

При этом следует отметить, что даже в случае использования одного типа распределения пересчет нормируемых значений нагрузок снега на грунт по станциям приводит к смещению

границ снеговых районов. На это обстоятельство в ряде случаев просто не обращают внимания.

Таблица 1

**Зависимости и коэффициенты для пересчета характеристических значений снеговой нагрузки на периоды повторяемости  $T$ , отличные от 50 лет**

Тип вероятностного распределения и вид зависимости для пересчета	Значение коэффициента пересчета $k$ для снеговых районов			
	I ( $s_{50} = 1,2$ кПа)	II ( $s_{50} = 1,4$ кПа)	III ( $s_{50} = 1,6$ кПа)	IV ( $s_{50} = 1,8$ кПа)
Гумбеля, $s_T = s_{50} + k \cdot (x_T - x_{50})$	0,20	0,20	0,23	0,23
Вейбулла, $s_T = s_{50} + k \cdot \ln(x_T/x_{50})$	-	0,60	0,60	0,60
Фреше, $s_T = s_{50} \cdot \exp[k \cdot (x_T - x_{50})]$	-	-	0,25	0,25

$x_T = -\ln[-\ln(1 - 1/T)]$ ,  $T = 10 \dots 100$  [лет],  
 $x_{50} = -\ln[-\ln(1 - 1/50)] \approx 3,902$

## 1.2. МЕТОДИКА ПЕРЕСЧЕТА ПРОГНОЗНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ГРУНТ ДЛЯ ДРУГИХ ПЕРИОДОВ ПОВТОРЯЕМОСТИ

Задача пересчета прогнозных значений снеговой нагрузки для периодов повторяемости  $T_{RET}$ , отличных от 50 лет, в исследовании [12] решалась следующим образом.

1. Территория Республики Беларусь разбивалась на ряд подрайонов по признаку принадлежности их к одному и тому же снеговому району (рис. 1) и тому же типу вероятностного распределения максимумов нагрузки (рис. 2). В результате такого разбиения, представленного на рисунке 13, получено 9 различных подрайонов (всего было возможно 12 комбинаций «снеговой район – тип распределения», однако некоторые из комбинаций не имели места).



гнозное значение имело достаточную обеспеченность расчетных значений снеговой нагрузки для любой из метеостанций, попадающей в данный подрайон. Общий вид зависимости (линейная, экспоненциальная или логарифмическая) при этом должен соответствовать типу распределения максимумов нагрузки для данного района (соответственно, Гумбеля, Фреше или Вейбулла). Расчетные значения определяются путем умножения характеристического значения на коэффициент безопасности по нагрузке 1,4 (2,0 для подрайонов 1,6Ф и 1,8Ф). Пример определения искомой зависимости для подрайона 1,4В, в который попадает четыре метеостанции (Василевичи, Житковичи, Пружаны, Лида), представлен на рисунке 3, где оси абсцисс соответствует параметр  $x_T = -\ln[-\ln(1 - 1/T_{RET})]$ .

В приведенном примере искомая зависимость имела вид  $y = a + k \cdot \ln x$ . Однако, поскольку для района установлено характеристическое значение нагрузки, положение кривой по вертикали фиксировано, в данном случае – точкой с координатами (1,4; 3,90), так как  $x_{50} = -\ln[-\ln(1 - 1/50)] = 3,90$ . Конкретная зависимость для подрайона, таким образом, будет определяться единственным коэффициентом ( $k$ ).

Указанный коэффициент варьировали таким образом, чтобы достичь наилучшей обеспеченности расчетных значений снеговой нагрузки во всем диапазоне  $T_{RET} = 10..100$  лет. Соответствующий период повторяемости расчетных значений должен не менее чем в пять раз превышать период повторяемости характеристических значений (составлять, для  $T_{RET} = 10$  лет и  $T_{RET} = 100$  лет, соответственно, 50 и 500 лет, или, иначе, достигать обеспеченности не менее 0,98 и 0,998). Например, на рис. 3 видно, что для периода повторяемости 100 лет итоговая зависимость проходит несколько ниже индивидуальной зависимости для метеостанции Василевичи. Однако, расчетное значение найденной зависимости (прогнозное значение, умноженное на коэффициент безопасности по нагрузке 1,40), имеет обеспеченность более 1000 лет. Аналогично, для всех остальных подрайонов были, как правило, достигнуты весьма высокие значения обеспеченности, и, во всяком случае, никак не меньшие значений 0,98 и 0,998, принятых для границ диапазона  $T_{RET} = 10..100$  лет (что определено СТБ ЕН 1990 и СТБ ИСО 2394).

3. Найденные для всех подрайонов итоговые зависимости были сведены в таблицу, пригодную для практического использования, и внесены в Национальное приложение К. Прочерки в трех графах таблицы означают, что на территории Республики Беларусь соответствующие подрайоны отсутствуют.

### 1.3. АНАЛИЗ ЧАСТЫХ ЗНАЧЕНИЙ СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ И КАЛИБРОВКА КОЭФФИЦИЕНТА СОЧЕТАНИЙ НАГРУЗОК (ДЛЯ СНЕГОВЫХ НАГРУЗОК В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ)

**Представление и предварительный анализ исходных данных**

Исходными данными для определения частых значений являются эмпирические временные ряды анализируемой нагрузки (в случае снеговой нагрузки – результаты подекадных замеров веса снегового покрова земли на данной метеостанции за период 30..60 лет). На рисунке 4 приведен пример временного ряда запаса воды в снеге для метеостанции Барановичи с интервалом наблюдения  $\tau = 10$  дней = 1 декада. Контрольный период  $T_c$  данного ряда включает в себя только сезонные периоды – с ноября по март, и в отдельных случаях – также до 3-х декад октября и/или апреля.

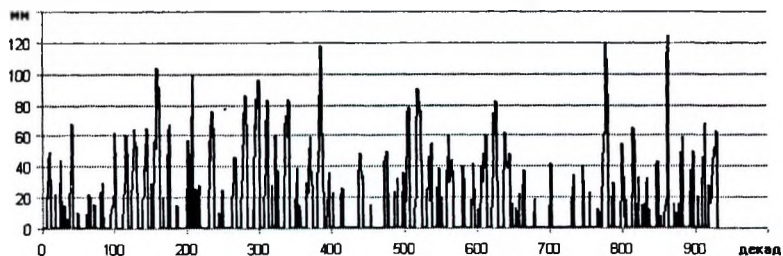


Рис. 4. Временной ряд подекадного наблюдения запаса воды в снеге (мм) за период 1944..2006 г.г. на метеостанции Барановичи (контрольное время включает сезонные периоды ноябрь-март)

В результате анализа данных по 18 метеостанциям Беларуси установлено, что для всех регионов в течение контрольного периода  $T_c$  весьма часто наблюдаются нулевые значения веса снегового покрова, т.е. «бесснежные» интервалы. В таблице 2 приведена зональная градация метеостанций по вероятности



ненулевых значений запаса воды (метеостанции в перечне каждой зоны ранжированы по возрастанию вероятности).

Таблица 2

**Вероятность ненулевых значений запаса воды в снеге в течение сезонных периодов на метеостанциях Республики Беларусь**

Зона	Метеостанции	Вероятность ненулевого значения запаса воды в снеге (интервал значений)
А	Брест, Пинск, Гродно	0,26 ... 0,33
Б	Барановичи, Василевичи, Житковичи, Гомель, Лида, Марьина Горка	0,34 ... 0,50
В	Новогрудок, Костюковичи, Верхнедвинск, Могилев, Езерище, Лынтупы, Борисов, Минск, Горки	0,51 ... 0,66

Заметим, что закономерность увеличения анализируемой вероятности в целом соответствует возрастанию нормативных значений годовых максимумов снеговой нагрузки согласно предложенной ранее карте районирования территории Республики Беларусь.

Для задач нормирования метеорологических нагрузок была использована модель Ferru Borges-Castanheta, основанная на аппроксимации временного процесса прямоугольными импульсными воздействиями, ширина которых соответствует постоянному интервалу наблюдения  $\tau$  (в данном случае – 1 декада), а высота – зафиксированному в этом интервале значению веса снегового покрова. Данное приближение является, по сути, аппроксимацией ступенчатыми функциями и имеет наименьшую вычислительную сложность. С целью сравнительного анализа, наряду с вышеуказанной моделью, применяли также кусочно-линейную аппроксимацию временных рядов, которая также достаточно проста в реализации (фактически ряд представляется в виде полигона – ломаной линии, соединяющей последовательные точечные отсчеты). Рисунок 5 иллюстрирует оба названных типа аппроксимации.

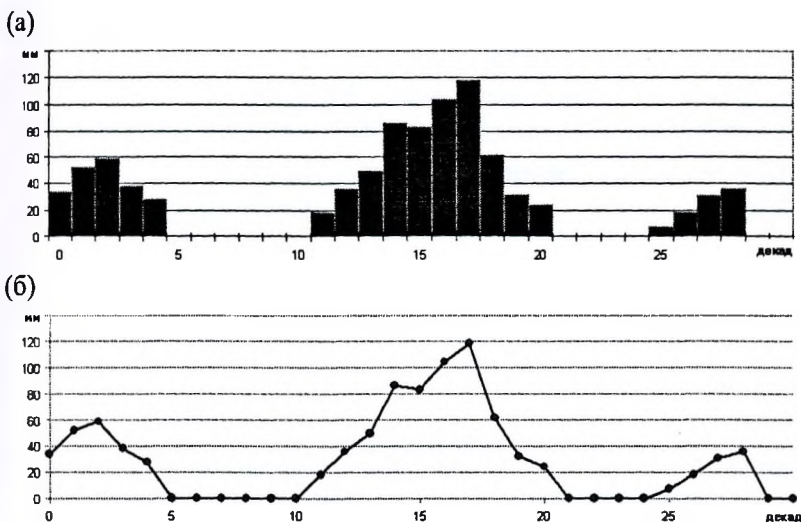


Рис. 5. Аппроксимация фрагмента временного ряда подекадного наблюдения запаса воды в снеге – моделью Ferry Borges-Castanheta (а) и кусочно-линейная (б)

### Методики установления частых значений нагрузки

В соответствии с СТБ ИСО 2394 [6] определены два способа установления частых значений.

Согласно первому способу, определяются продолжительности  $t_1, t_2, t_3, \dots$  интервалов (в рамках выбранного контрольного периода  $T_r$ ), в течение которых превышает некоторый заданный уровень воздействия  $Q_1$ . Таким образом, частое значение  $Q_1 = \Psi_1 Q_k$  (здесь  $\Psi_1$  – искомый коэффициент сочетаний, т.е. коэффициент снижения установленного ранее нормативного значения воздействия  $Q_k$ ) превышает в течение установленной относительной продолжительности

$$\eta = \sum t_i / T_r. \quad (0.1)$$

Для эргодического процесса с известной функцией вероятности  $F_Q(Q)$  вероятность  $p^*$  превышения воздействия  $Q_1$  составляет  $p^* = F_Q(Q_1)$ , а упомянутая относительная продолжи-

тельность:  $\eta = p^*q$ , где  $q$  – вероятность ненулевого значения  $Q$ . Значения  $\eta$  обычно не превышают  $0,1$ .

Таким образом, если известны функция вероятности  $F_Q(Q)$  и вероятность  $q$ , то, задаваясь значением  $\eta$ , величина частого воздействия вычисляется как

$$Q_1 = Q_1(\eta) = F_Q^{-1}\left(1 - \frac{\eta}{q}\right), \quad (0.2)$$

а снижение воздействия (коэффициент сочетаний) составляет при этом

$$\Psi_1 = \Psi_1(\eta) = \frac{Q_1(\eta)}{Q_i}. \quad (0.3)$$

Второй способ основан на определении (например, непосредственно из аппроксимированного временного ряда наблюдений) количества превышений установленного уровня  $Q_1$  в расчете на единицу времени, т.е. частоты превышений процессом заданного уровня. Возможно также вычисление этой частоты с использованием функции спектральной плотности анализируемого процесса.

Оба указанных способа теоретически равноценны, однако при практическом их применении могут проявляться некоторые особенности. Так, количество превышений установленного уровня (второй способ) – величина исключительно целочисленная, поэтому фактически получаемая в результате анализа зависимость  $\Psi_1 = \Psi_1(\eta)$  окажется ступенчатой. Сходная проблема возникает и в первом способе, если применять ступенчатую аппроксимацию отсчетов временного ряда, поскольку в этом случае интервалы  $t_1, t_2, t_3 \dots$  могут быть измерены только с дискретностью  $\tau$ .

Кусочно-линейная аппроксимация позволяет избежать ступенчатости функции  $\Psi_1(\eta)$  благодаря непрерывной зависимости длины  $t_i$  секущей каждого треугольного фрагмента временного ряда от устанавливаемого уровня  $Q_1$  (правда, полученная функция все же будет негладкой).

В дальнейшем анализе нами использован первый способ установления частых значений (и коэффициента сочетаний) с

применением обоих типов аппроксимаций процесса согласно рисунку 5. Общий алгоритм анализа заключается в следующем:

1) построение вариационного ряда отсчетов анализируемого параметра  $Q_{(1)} \leq Q_{(2)} \leq \dots \leq Q_{(N)}$  за контрольный период  $T$ ;

2) пошаговое уменьшение устанавливаемого уровня:  $Q_1 = Q_{(N)}$ ,  $Q_2 = Q_{(N-1)}$ ,  $Q_3 = Q_{(N-2)}$ , ... (вплоть до достижения значений  $\eta \geq 0,1 \dots 0,15$ );

3) вычисление интервалов  $t_1, t_2, t_3 \dots$  как длин секущих исходного временного ряда, определение  $\eta$  согласно (1.1).

### **Результаты анализа частых значений и коэффициента сочетаний снеговой нагрузки**

В соответствии с изложенной выше методикой выполнен анализ временных рядов запаса воды в снеге по 18 метеостанциям Республики Беларусь. Коэффициент сочетаний рассчитывался согласно (1.3), причем величина  $Q_k$  выбиралась в соответствии с картой районирования нормативных значений (0,98 – квантиль распределения) годовых максимумов снеговой нагрузки. Так, например, I снеговому району (метеостанция Брест) с нормативной снеговой нагрузкой  $S_k = 1,2$  кПа соответствовало значение  $Q_k = 120$  мм и т.д. Так как величины  $Q_k$  и  $S_k$  линейно пропорциональны, коэффициент сочетаний для обоих параметров идентичен. В связи с тем, что нормативные значения  $Q_k$  (120, 140, 160 и 180 мм) обычно не совпадают с наибольшими отсчетами временных рядов  $Q_{(N)}$ , значение коэффициента сочетаний при относительной продолжительности превышения  $\eta = 0$ , как правило, несколько отличается от единицы (в ту или другую сторону).

Результаты группировались по зонам различной вероятности ненулевых значений запаса воды в снеге. Для метеостанций зоны А (Брест, Пинск, Гродно) применялись оба типа аппроксимации временных рядов – ступенчатая и кусочно-линейная. Визуальное сравнение полученных результатов, представленных на рисунке 6 позволяет заключить, что кусочно-линейное приближение временного ряда, как и предполагалось, дает более гладкую зависимость  $\Psi_1(\eta)$ , поэтому для остальных метеостанций применялся только

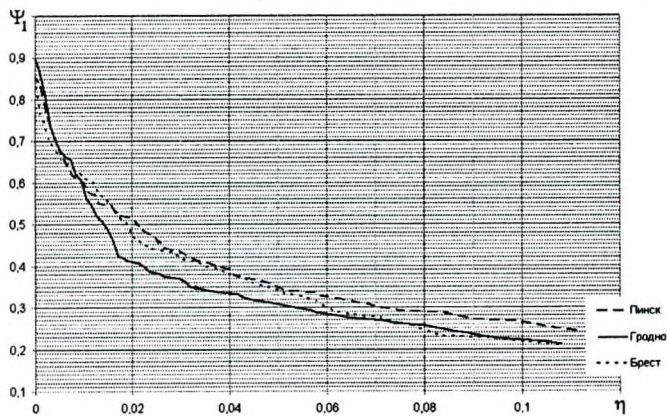
такой тип аппроксимации. Результаты анализа по зонам Б и В представлены, соответственно, на рисунках 7 и 8. На всех диаграммах названия метеостанции перечислены сверху вниз в том же порядке, в каком расположены (на уровне  $\eta = 0,10$ ) соответствующие им зависимости.

Рассчитанный коэффициент сочетаний  $\Psi_1$  имеет явно выраженную прямую зависимость от вероятности ненулевого значения запаса воды в снеге, и обратную зависимость от скоса (выборочной характеристики) эмпирического ряда годовых максимумов снеговой нагрузки.

Дополнительно, была предварительно оценена возможность оценки коэффициента сочетаний непосредственно по обобщенным (типовым) функциям  $F_S(S)$ , установленным нами ранее путем анализа годовых максимумов и нормирования снеговых нагрузок в Республике Беларусь. Определялись периоды повторяемости (в годах), с которыми превышает комбинационное значение снеговой нагрузки (нормативное значение для данного снегового района, умноженное на коэффициент сочетаний по данным рисунков 6, 7 и 8). Результаты сведены в таблице 3.

Отмечен значительный, примерно 2,5-кратный разброс периода повторяемости превышения комбинационных значений снеговой нагрузки – от 1,32 до 3,38 лет (разброс уровня квантили распределения  $F_S(S)$  – соответственно от 0,24 до 0,7). Таким образом, было выявлено, что адекватное определение коэффициента сочетаний  $\Psi_1$  непосредственно по рассматриваемым эмпирическим распределениям годовых максимумов снеговой нагрузки не представляется возможным.

(a)



(б)

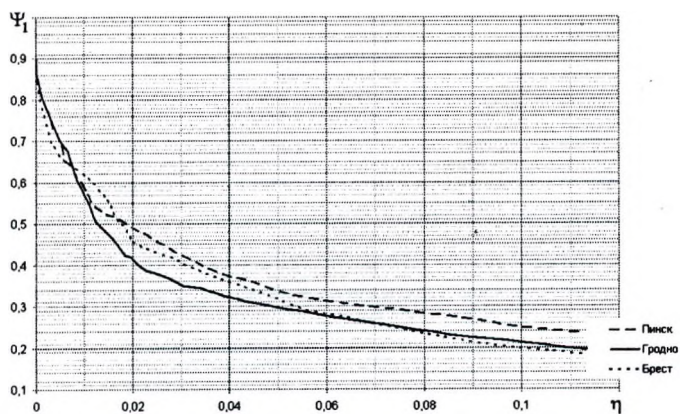


Рис. 6. Коэффициент сочетаний снеговой нагрузки для метеостанций зоны А при использовании модели Ferry Borges-Castanheta (a) и кусочно-линейной аппроксимации (б) временных рядов

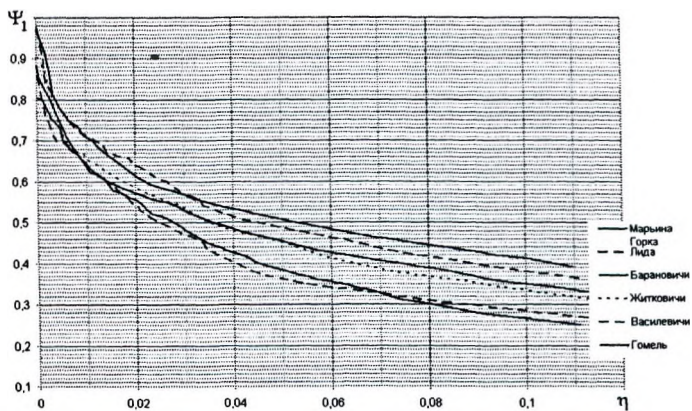


Рис. 7. Коэффициент сочетаний снеговой нагрузки для метеостанций зоны Б (кусочно-линейная аппроксимация временного ряда)

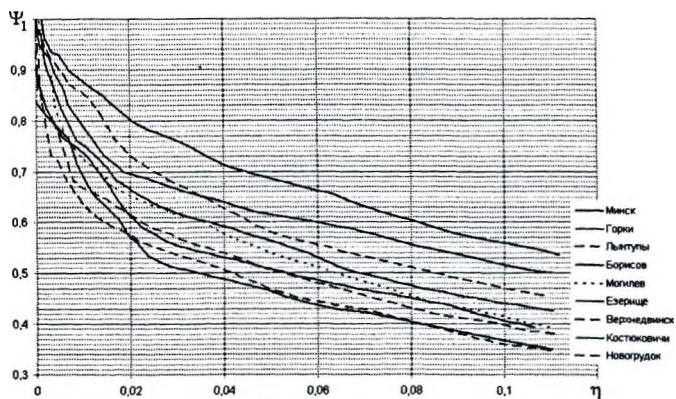


Рис. 8. Коэффициент сочетаний снеговой нагрузки для метеостанций зоны В (кусочно-линейная аппроксимация временного ряда)

Таблица 3

**Период повторяемости превышения комбинационных значений**

Метеостанция	Снеговая нагрузка, кПа		Период повторяемости, лет	Метеостанция	Снеговая нагрузка, кПа		Период повторяемости, лет
	нормативная	комбинационная			нормативная	комбинационная	
Брест	1,20	0,24	1,57	Борисов	1,60	0,62	2,44
М. Горка	1,40	0,66	3,28	Верхнедвинск	1,60	0,64	2,42
Пинск	1,40	0,35	1,94	Езерище	1,60	0,66	2,09
Лида	1,40	0,55	2,73	Горки	1,60	0,83	2,52
Барановичи	1,40	0,49	2,64	Гродно	1,60	0,33	1,71
Житковичи	1,40	0,48	3,38	Гомель	1,80	0,49	2,15
Василевичи	1,40	0,42	3,16	Костюковичи	1,80	0,67	2,37
Минск	1,40	0,78	2,38	Лынтупы	1,90 *	0,85	2,75
Могилев	1,60	0,66	2,93	Новогрудок	2,00 *	0,76	1,32

Звездочкой отмечены локальные нормативные значения для северо-западной части районов II и III.

**Уточнение методики расчета частых значений снеговой нагрузки**

Из результатов предыдущего параграфа следует, что нормирование коэффициента  $\Psi_1$  для условий Республики Беларусь сильно осложняется по причине повышенного, почти трехкратного разброса его расчетного значения. Логичным, с точки зрения обеспечения надежности проектируемых конструкций, представляется принятие данного коэффициента на уровне наибольших значений (Горки, Минск), т.е. 0,5...0,55. Тем не менее, в условиях особых воздействий на строительные конструкции и эта величина может оказаться недостаточной.

Так, из сути примененной нами для анализа методики следует, что в течение времени  $\sum t_i = \eta T$ , варьируемое значение  $Q_1(\eta) = \Psi_1(\eta) Q_k$  практически всегда превышает, причем иногда весьма существенно. По нашему мнению, для расчетов на особые воздействия частые значения нагрузок ни в коем случае не должны занижаться, поэтому, в качестве частого значения снеговой нагрузки, действующего в течение времени  $\eta T$ , следует принимать математическое ожидание (или



выборочное среднее) анализируемой функции  $Q$ , найденное на временных отрезках  $t_i$ :

$$Q_i^*(\eta) = M Q |_{Q \geq Q_i} = M Q(t) = \frac{1}{T_r} \int_{t \in t_i} Q(t) dt. \quad (0.4)$$

Соответственно, уточненная величина комбинационного коэффициента:

$$\Psi_1^*(\eta) = Q_i^*(\eta) / Q_k > \Psi_1(\eta). \quad (0.5)$$

С применением соотношений (1.4), (1.5) нами был выполнен повторный анализ эмпирических данных о запасе воды в снеге на 18 метеостанциях Республики Беларусь (использовалась кусочно-линейная аппроксимация временных рядов).

Результаты, сгруппированные по зонам А, Б и В различной вероятности ненулевых значений запаса воды (см. таблицу 1), приведены, соответственно, на рисунках 9, 10 и 11, и показывают существенное повышение коэффициента частой снеговой нагрузки по сравнению с предыдущим расчетом.

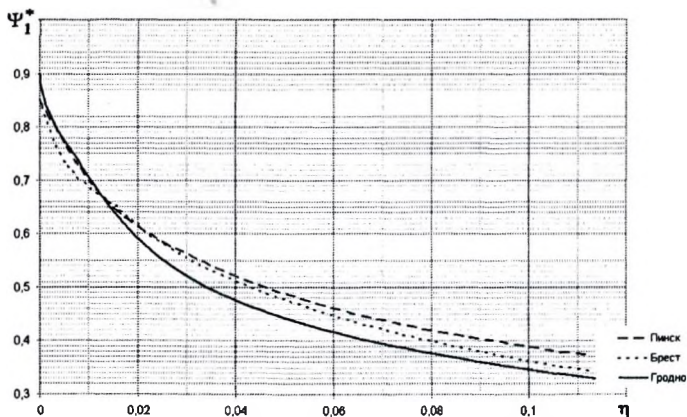


Рис. 9. Уточненный коэффициент частой снеговой нагрузки для метеостанций зоны А

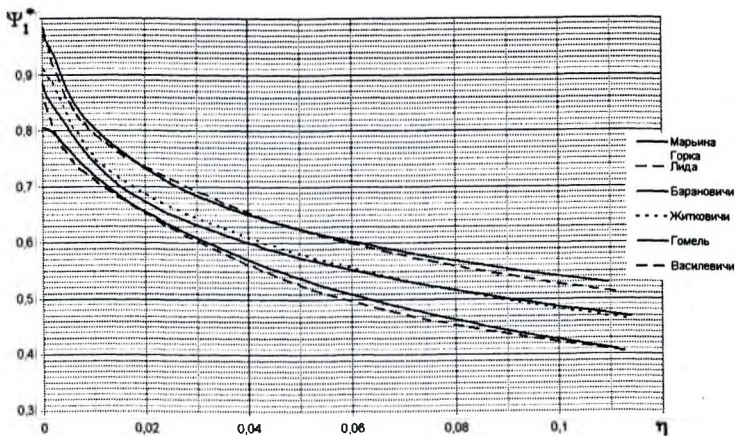


Рис. 10. Уточненный коэффициент частой снеговой нагрузки для метеостанций зоны Б

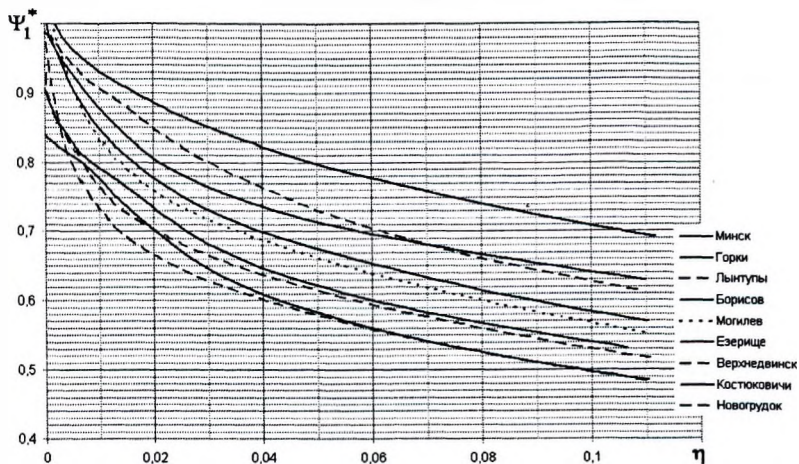


Рис. 11. Уточненный коэффициент частой снеговой нагрузки для метеостанций зоны В

Сравнительный анализ величины коэффициента частой снеговой нагрузки по всем метеостанциям сведен в таблицу 4. Здесь же указаны значения  $\eta^*$ , позволяющие находить коэффициент  $\Psi_1^*$  из ранее полученных зависимостей  $\Psi_1(\eta)$ , т.е. удовлетворяющие условию:

$$\eta^* = \arg \{ \Psi_1(\eta) \mid \Psi_1(\eta^*) = \Psi_1^*(0,10) \}. \quad (0.6)$$

Таблица 4

**Сравнительный анализ исходного и уточненного коэффициентов частой снеговой нагрузки**

Зона вероятности ненулевого значения снеговой нагрузки	Метеостанция	Снеговой район	Коэффициент частой снеговой нагрузки ( $\eta = 0,10$ )		Соотношение $\frac{\Psi_1^*}{\Psi_1}$	Приведенная относительная длительность по (1.6) $\eta^*$
			$\Psi_1$	$\Psi_1^*$		
А	Гродно	III	0,21	0,35	1,667	0,031
	Брест	I	0,20	0,37	1,850	0,038
	Пинск	II	0,25	0,39	1,560	0,036
Б	Василевичи *	III	0,29	0,43	1,483	0,037
	Гомель	IV	0,27	0,43	1,593	0,040
	Житковичи	II	0,34	0,48	1,412	0,040
	Барановичи	II	0,35	0,49	1,400	0,039
	Лида	II	0,39	0,53	1,359	0,036
	Марьина Горка	II	0,41	0,54	1,317	0,038
В	Новогрудок *	II	0,36	0,50	1,389	0,042
	Костюковичи	IV	0,37	0,50	1,351	0,034
	Верхнедвинск	III	0,40	0,53	1,325	0,043
	Езерище	III	0,41	0,54	1,317	0,037
	Могилев	III	0,42	0,57	1,357	0,041
	Борисов	III	0,44	0,59	1,341	0,040
	Лынтупы *	III	0,47	0,62	1,319	0,041
	Горки	III	0,52	0,64	1,231	0,040
	Минск	II	0,56	0,71	1,268	0,041

Метеостанции северо-западной части районов II, III отмечены звездочкой.

Полученные значения приведенной относительной длительности практически для всех метеостанций лежат в достаточно узком диапазоне:  $\eta^* = 0,036 \pm 0,005$ . Этот факт позволяет утверждать, что, для условий Республики Беларусь, некоторое значение снеговой нагрузки, которое на данной станции превышает в течение 3,5...4 % контрольного периода, можно считать частым, т.е. в среднем действующим в течение 10 % этого же периода.

Сформулированное общее правило, однако, неудобно в практическом применении, поскольку по-прежнему предполагает исследование эмпирических данных (временных рядов) по каждой конкретной метеостанции. Для анализа и обеспечения надежности строительных конструкций в условиях особых воздействий необходимо установление единой величины комбинационного коэффициента  $\Psi_1$  (точнее  $\Psi_1^*$ ) частой снеговой нагрузки для всей территории Беларуси. На основании изложенных результатов исследования предлагается принять  $\Psi_1^* = 0,7$ . В этом случае, как следует из приведенных выше диаграмм (см. рисунки 3...5), продолжительность  $\Sigma t_i = \eta T$ , действия частого значения нагрузки, определяемого из нормативного для каждого из снеговых районов значения как  $S_i = 0,7S_k$ , составляет от 1 до 6 % (для района Минска – до 11 %) контрольного периода  $T$ , что в целом согласуется с общими принципами стандарта СТБ ИСО 2394 в части диапазона  $0 < \eta \leq 0,1$ .

Анализ, выполненный в рамках исследований [12], позволяет рекомендовать для внесения в Национальное приложение к ТКП ЕН 1991–1–3 "Общие воздействия. Снеговые нагрузки" следующую систему коэффициентов  $\psi_n$ , представленную в табл. 5.

Таблица 5

Система коэффициентов  $\psi_n$  для снеговых нагрузок

$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
0,7	0,7	0

## 2. НАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ К ЕН 1991–1–4 "ОБЩИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ. ВЕТРОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ"

### 2.1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ НАЦИОНАЛЬНО ПРИНЯТЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА

Для учета общих воздействий ветра на конструкции и их элементы необходимы численные значения параметров, приведенных в табл. 5.1 Eurocode 1991-1-4:2004 [5]. Настоящий нормативный документ предполагает принятие данных величин в рамках конкретного Национального приложения с учетом климатических особенностей региона.

Исходными данными для принятых на территории Республики Беларусь величин основного значения базовой скорости ветра  $v_{b,0}$ , коэффициента, учитывающего направление ветра  $c_{dir}$  и конструкционного коэффициента  $c_{f,c}$ , стали данные, предоставленные ГУ «Республиканский Гидрометеорологический центр».

В настоящее время систематические измерения основных величин и качественные оценки метеорологических явлений, представляющие собой различные физические процессы в атмосфере, по полной программе проводятся на 50 пунктах наблюдений и сокращенные метеорологические наблюдения на 77 метеорологических постах Республики Беларусь, входящих во Всемирную метеорологическую организацию.

Под ветром при наблюдениях на метеорологических станциях понимают только горизонтальную составляющую вектора скорости ветра, а при определении средних значений осредняют отдельно скорость и направление (угол относительно географического меридиана, откуда направлен вектор). Согласно единой методике измерений [9] регламентируется определение следующих характеристик ветра:

- средней скорости ветра (м/с);
- среднего направления ветра (угловой градус, румб);
- максимальной скорости ветра в срок (скорость ветра при порывах, м/с);
- максимальной скорости ветра между сроками наблюдений (максимальный порыв за три часа, м/с).

Таким образом, исходными данными для национально принятых значений параметров ветра стали следующие величини-

ны, зафиксированные на 46 метеорологических станциях и постах Республики Беларусь за период 1966-2008 гг.:

- максимальная средняя скорость ветра с 10-минутным осреднением (м/с);
- среднее направление ветра (угловой градус), соответствующее максимальным средним значениям скорости;
- значения максимальных порывов ветра, соответствующих максимальным средним значениям скорости (м/с);
- значения основных параметров однородного микрометеорологического ряда.

## 2.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАЦИОНАЛЬНО ПРИНЯТЫХ ЗНАЧЕНИЙ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА

### Приведение скорости ветра к микрометеорологическому однородному ряду

Для обеспечения пригодной информацией о ветровых климатических условиях заданной местности данные о скоростях ветра, зарегистрированные в этой местности, должны составлять микрометеорологический однородный ряд. Ряд данных о скорости ветра принято называть микрометеорологически однородным, если все относящиеся к нему результаты наблюдений можно рассматривать как полученные в одинаковых или эквивалентных микрометеорологических условиях. Эти условия определяются следующими факторами:

- высотой над поверхностью земли;
- временем осреднения;
- шероховатостью поверхности окружающей местности (экспозицией);
- сроками и количеством наблюдений в сутки;
- изменением ветроизмерительных приборов.

#### Высота над поверхностью земли

С высотой скорость ветра возрастает тем интенсивнее, чем быстрее затухают приземные возмущения. Для характеристики профиля ветра по вертикали предложены различные формулы. Наиболее распространена степенная зависимость скорости ветра с высотой

$$V_z = V_a (z/z_0)^{\delta} \quad (0.7)$$

и логарифмическая

$$V_z = V_a \frac{\ln z/z_0}{\ln z_a/z_0} \quad (0.8)$$

где  $V_a$  – скорость ветра на высоте анемометра или другого измерительного прибора;

$z$  – высота над поверхностью земли;

$z_a$  – высота анемометра или другого прибора, чаще около 10 м;

$z_0$  – параметр шероховатости (условная) поверхности или высота, на которой скорость равна нулю;

$\alpha$  – показатель, принимаемый равным 0,08 - 0,4.

Необходимо также учитывать, что высота установки анемометра могла изменяться на протяжении периода наблюдений.

#### Время осреднения

При использовании данных о скорости ветра необходимо знать, к какому времени осреднения относятся результаты наблюдений, т.к. величина средней скорости ветра зависит от данного параметра: при уменьшении продолжительности интервала осреднения максимальное значение средней скорости, соответствующее этому интервалу, увеличивается. Если за время регистрации наблюдений интервалы осреднения были различны, то полученные данные должны быть приведены к общему времени осреднения.

Результаты наблюдений, характеризуемые осреднением на коротких интервалах времени, такие как наивысшие скорости порывов ветра или максимальные скорости ветра, в ряде случаев могут оказывать более сильное влияние, чем влияние обычной локальной турбулентности, и таким образом до некоторой степени искажать картину интенсивности средних ветров. Поэтому желательно, чтобы исходные данные, используемые для описания ветрового режима, были осреднены на относительно длинных интервалах времени около 10 мин.

#### Шероховатость поверхности окружающей местности

Ветер – один из наиболее зависимых от условий наблюдений метеозлемент. Однако во многих случаях местонахождение анемометров изменялось за время проведения наблюдений, и соответствующие записи необходимо привести к общей шеро-

ховатости подстилающей поверхности. На практике также часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда анемометр может оставаться на месте, а шероховатость поверхности окружающей местности значительно изменяется за истекшие годы в результате интенсивной застройки земельных участков.

#### Сроки и количество наблюдений в сутки

До 1936 г. в ночное время метеорологические наблюдения вообще не проводились, а в период с 1936 до 1966 г. велись 4-срочные наблюдения каждые 6 часов. В результате чего средние скорости ветра до 1936 г. оказались завышены из-за отсутствия наблюдений в ночное время, когда ветер, как правило, ослабевает. Чтобы устранить этот фактор, исходя из данных 4-срочных наблюдений за длительный период времени, был получен поправочный коэффициент. Переход на восьмисрочные наблюдения, осуществленный в 1966 г., практически не отразился на средней скорости и распределении ветра по направлениям, о чем свидетельствуют исследования, проведенные в середине 60-х годов [13].

#### Изменение ветроизмерительных приборов

В начале семидесятых годов прошлого века произошла смена ветроизмерительных приборов. Вместо флюгеров Вильда с 2-минутным осреднением скорости ветра наблюдателем, стали использоваться анеморумбометры с 10-минутным автоматическим осреднением скорости. При этом выяснилось, что при скоростях менее 7 м/с изменение типа прибора на однородность микрометеорологических рядов почти не повлияло [20]. Однако при скоростях ветра, превышающих 10 м/с, флюгер давал завышенные значения скорости примерно на 12%. Таким образом, характеристики данных скоростей при использовании должны быть уточнены необходимыми поправками, т.е. умножены на коэффициент 0,88.

**Оценка соответствия предоставленных данных метеорологических станций и постов РБ основным значениям базовой скорости ветра**

Основное значение базовой скорости ветра  $v_{b,0}$  согласно [5], численно равно характеристической скорости ветра, соответствующей 10-минутному интервалу осреднения независимо от времени года и направления ветра на уровне 10 м над поверхностью



земли для открытого типа местности с низкой растительностью (например, как трава) и изолированными отдельно стоящими преградами, расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот, что соответствует типу местности II (табл. 6).

Таблица 6

Типы местности и параметры шероховатости		
Тип местности	$z_0$ , м	$z_{min}$ , м
<i>0</i> Моря или открытые побережья морей	0,003	1
<i>I</i> Озера или плоская местность с незначительной растительностью без препятствий	0,01	1
<i>II</i> Открытая местность с низкой, как трава растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми составляет как минимум 20 их высот	0,05	2
<i>III</i> Местность с равномерной растительностью или зданиями или преградами, расстояние между которыми не превышает 20 их высот (типа деревень, пригородных зон, протяженные лесных массивов)	0,3	5
<i>IV</i> Территорий, в пределах которых, по крайней мере, 15% поверхности покрыто зданиями, высота которых превышает 15 м	1,0	10

С учетом перечисленных выше основных параметров однородного микрометеорологического ряда и анализа предоставленных статистических данных, можно сделать вывод, что для приведения скорости ветра к ее базовой величине необходимо учесть высоту установки над поверхностью земли, тип используемых ветроизмерительных приборов и шероховатость местности. В соответствии с [5], учет высоты установки ветроизмерительных приборов и шероховатость местности следует выполнять согласно выражениям:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \text{ при } z_{min} \leq z \leq z_{max}; \quad (0.9)$$

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z_{min}) \text{ при } z \leq z_{min}; \quad (0.10)$$

где  $z$  – высота установки над поверхностью земли ветроизмерительных приборов;

$z_0$  – параметр шероховатости;  
 $k_r$  – коэффициент местности, зависящий от параметра шероховатости  $z_0$ , вычисляется по формуле:

$$k_r = 0,19 \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}, \quad (0.11)$$

где  $z_{0,II} = 0,05$  м (тип местности II, табл. 6);  
 $z_{min}$  – минимальная высота, определяемая по табл. 6;  
 $z_{max} = 200$  м.

Учет завывшения зафиксированных с помощью флюгера скоростей ветра, превышающих 10 м/с, как уже говорилось выше, следует выполнять с помощью понижающего коэффициента, равного 0,88.

### Определение основных значений базовой скорости ветра

Для определения годовых и месячных максимумов скорости ветра был использован способ псевдошумовой модуляции (обратная задача). Выполненный анализ позволил заключить, что наилучшее согласие со статистическими данными имеет распределение Вейбулла, функции которого для месячных и годовых максимумов скорости ветра с высокой достоверностью аппроксимации приводят к одинаковому значению скорости, превышаемому в среднем один раз в 50 лет.

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы «Расчет скорости», созданной в математическом пакете *MathCAD* (разработчик магистр Черноиван А.В.).

Данная программа позволяет использовать документ с исходными статистическими данными, созданный при помощи электронных таблиц *Microsoft Excel*. Результатом расчета будут являться график зависимости скорости ветра с учетом псевдошумового квантования, логарифмическая линия тренда  $y = a \cdot \ln(x) + b$  ( $y(x)$ ) и линейная линия тренда  $y = b + a \cdot x$  ( $y_1(x)$ ). Кроме графического отображения функций программа позволяет получить численные значения коэффициентов  $a$  и  $b$ , и величин достоверности аппроксимации  $R^2$  (коэффициент детерминированности) для линий тренда, а также величину основного значения базовой скорости ветра (*skorost*) для периода повторяемости 50 лет.

Обработка полученных данных метеонаблюдений позволила принять величины скоростей ветра с достоверностью аппроксимации, превышающей 0,98, что соответствует периоду повторяемости не менее 50 лет, а также рассчитать периоды повторяемости для скоростей 22 м/с и 24 м/с с учетом коэффициента безопасности по нагрузкам, равного 1,5 [6, 7].

Карта ветровых районов и соответствующие им основные значения базовой скорости ветра приведены на рис. 12.

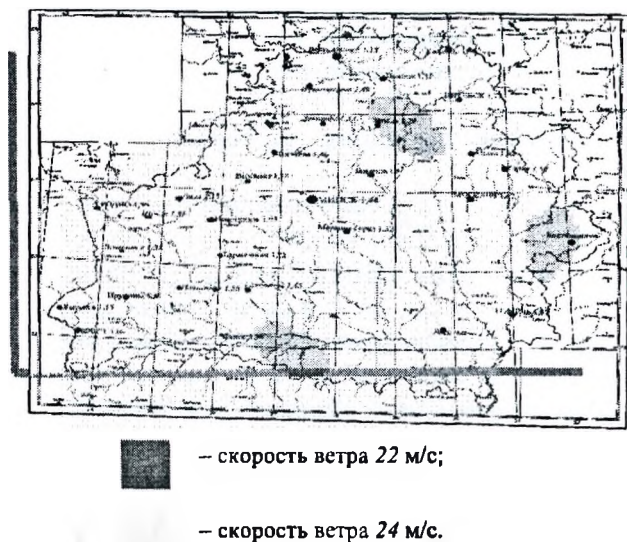


Рис. 12. Карта ветровых районов и соответствующие им основные значения базовой скорости ветра  $v_{b,0}$  (м/с)

### Общие положения методики по учету случайного направления ветра

Ветровой поток характеризуется не только случайным изменением величины скорости, но и случайным изменением направления. Для учета в вероятностном расчете сооружений случайного характера изменения направления ветра можно использовать следующие два способа.

Первый способ базируется на предположении о том, что все горизонтальные направления ветра равновероятны.

Предположение о равновероятности направлений максимального ветра допустимо по причине того, что сооружение ориентируется в пространстве обычно не по розе ветров, а в соответствии с принятой планировкой с учетом рельефа местности и т.п.

Отличие второго способа, от первого состоит в том, что здесь не используется гипотеза о равновероятности направлений ветра, а используется роза ветров.

Окружность разворачивается в отрезок с границами  $[0, 1]$ , который разбивается на  $8$  ( $16$ ) участков по числу румбов.

Если перемешаться по розе ветров от северного направления по часовой стрелке, то тогда длина первого участка соответствующего северному направлению ветра, будет численно равна повторяемости данного направления, выраженной в относительных единицах.

Аналогично поступают с остальными участками отрезка, имеющими длину равную повторяемости соответствующего направления ветра.

**Определение значений коэффициентов, учитывающих направление ветра**

Для определения коэффициентов  $c_{dir}$  был использован первый способ учета случайного характера изменения направления ветра. Согласно ему, результаты метеорологических наблюдений, включающие величины максимальных месячных значений скоростей ветра с 10-минутным осреднением, значения максимальных порывов, соответствующих им, а также дату явления в зависимости от направления ветра, были разделены на 12 секторов по  $30^\circ$  каждый. Первый сектор соответствовал северному направлению ветра, т.е.  $0^\circ$  ( $360^\circ$ )  $\pm 15^\circ$ .

Статистическая обработка данных выполнялась с помощью программы «Расчет коэффициента направления», созданной в математическом пакете *MathCAD*.

Значения коэффициента, учитывающего направление ветра, применяемого для всей территории Республики Беларусь, приведены в табл. 7.

Таблица 7

Значения коэффициента, учитывающего направление ветра

Сектор	$c_{dir}$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Направление, град	35	20	50	80	11	14	17	20	23	26	29	32
	0-	-	-	-	0-	0-	0-	0-	0-	0-	0-	0-
	10	40	70	0	10	13	16	19	22	25	28	31
				0	0	0	0	0	0	0	0	0
$c_{dir}$	0,8	0,	0,	0,	0,7	0,8	0,7	0,7	0,9	1,0	0,9	0,9
	0	71	78	78	9	4	6	7	5	0	4	6

### Общие положения методики определения значений конструкционного коэффициента

Для определения значений коэффициента  $c_{d,c}$ , был использован метод, изложенный в приложении С к Eurocode 1991-1-4:2004 [5]. Согласно ему значение конструкционного коэффициента определяется выражением:

$$c_s \cdot c_d = \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_v(z_e) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_v(z_e)} \quad (0.12)$$

где  $z_e$  – базовая высота;  
 $k_p$  – пиковый коэффициент;  
 $I_v(z_e)$  – интенсивность турбулентности на высоте  $z = z_e$ .

Коэффициент  $B^2$  определяется по формуле:

$$B^2 = \frac{1}{1 + \frac{3}{2} \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L(z_e)}\right)^2 + \left(\frac{h}{L(z_e)}\right)^2 + \left(\frac{b}{L(z_e)} \cdot \frac{h}{L(z_e)}\right)^2}}, \quad (0.13)$$

где  $b, h$  – ширина и высота здания;  
 $L(z_e)$  – масштаб длины турбулентности на базовой высоте  $z_e$ , определяемый для зданий высотой до 200 м по формуле:

$$L(z) = L_1 \left( \frac{z}{z_1} \right)^a \quad \text{при } z \geq z_{min}; \quad (0.14)$$

$$L(z) = L_1 (z_{min}) \quad \text{при } z < z_{min}. \quad (0.15)$$

Рекомендуется также использовать в расчетах безопасное значение  $B^2 = 1,0$ .

Значение пикового коэффициента  $k_p$  определяется в соответствии с формулой:

$$k_p = \sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)} + \frac{0,6}{\sqrt{2 \cdot \ln(v \cdot T)}}, \quad \text{но не более } 3,0, \quad (0.16)$$

где  $T$  – период осреднения,  $T = 600$  сек;

$v$  – частота, определяемая выражением:

$$v = n_{1,x} \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}; \quad v \geq 0,08 \text{ Гц}, \quad (0.17)$$

здесь  $n_{1,x}$  – собственная частота изгибных колебаний конструкции, определяемая для многоэтажных зданий высотой более 50 м по формуле:

$$n_{1,x} = \frac{46}{h}, \text{ Гц} \quad (0.18)$$

Значение коэффициента  $R^2$  определяется по формуле:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_r, n_{1,x}) \cdot K_s(n_{1,x}), \quad (0.19)$$

где  $K_s$  – функция дробления величины размера.

$$K_s(n) = \frac{1}{1 + \sqrt{\left( G_y \cdot \varphi_y \right)^2 + \left( G_z \cdot \varphi_z \right)^2 + \left( \frac{2}{\pi} \cdot G_y \cdot \varphi_y \cdot G_z \cdot \varphi_z \right)^2}}, \quad (0.20)$$

$$\varphi_y = \frac{11,5 \cdot b \cdot n}{v_m(z_r)}; \quad \varphi_z = \frac{11,5 \cdot h \cdot n}{v_m(z_r)}, \quad (0.21)$$

здесь  $G_y, G_z$  – константы, зависящие от модальной формы колебаний вдоль горизонтальной и вертикальной осей соответственно. Для зданий с равномерной горизонтальной модальной формой и линейной вертикальной модальной формой:

$$\varphi(y, z) = \frac{z}{h}; \quad G_y = \frac{1}{2}; \quad G_z = \frac{3}{8}; \quad K_y = 1; \quad K_z = \frac{3}{2}.$$

### Определение значений конструкционного коэффициента

Исходными данными для построения графиков зависимости конструкционного коэффициента  $c_d c_s$  от ширины и высоты поверхности зданий и сооружений, перпендикулярной направ-

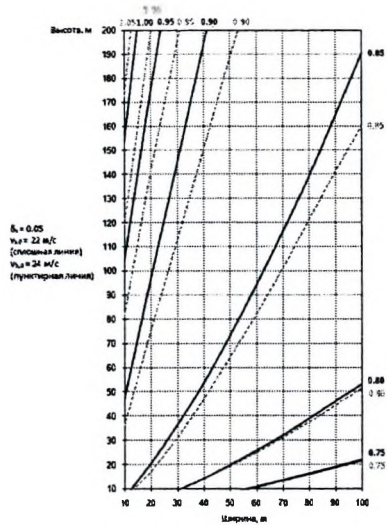
лению действия ветра стали полученные основные значения базовой скорости ветра, а также учет основных типов материалов конструктивных элементов зданий и сооружений.

Значение конструкционного коэффициента  $c_d c_s$ , следует принимать по графикам, приведенным на рис. 13–14, для криволинейной зависимости, соответствующей ближайшему большему значению коэффициента.

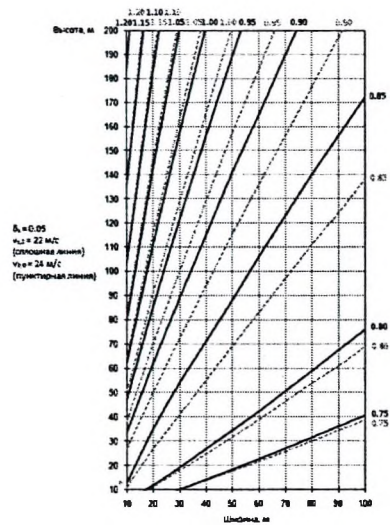
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены основные подходы, принятые при оценивании нормируемых параметров климатических воздействий, вносимых в Национальные приложения к ЕН 1991 (Еврокод 1. Воздействия на конструкции), части ЕН 1991–1–3, ЕН 1991–1–4. Показано, что использование гармонизированных процедур оценивания климатических воздействий при установленном уровне надежности вызывает необходимость корректировки как собственно характеристических воздействий, так и карт районирования для территории Республики Беларусь.

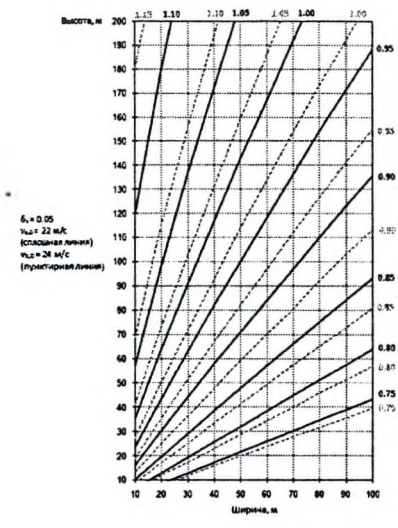
а)



б)



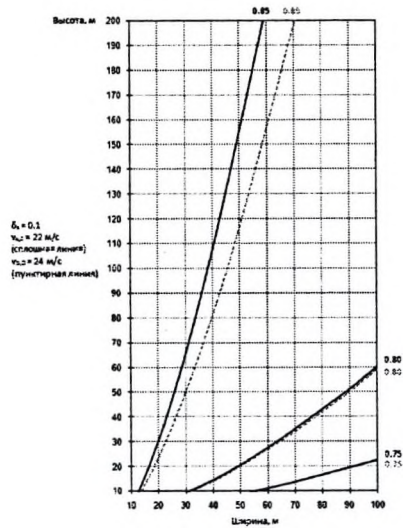
в)



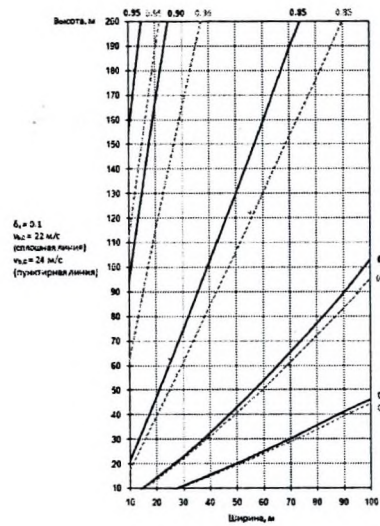
а – II тип местности; б – III тип местности; в – IV тип местности  
 Рис. 13. Значения коэффициента  $c_{st}c_s$  для зданий со стальным каркасом



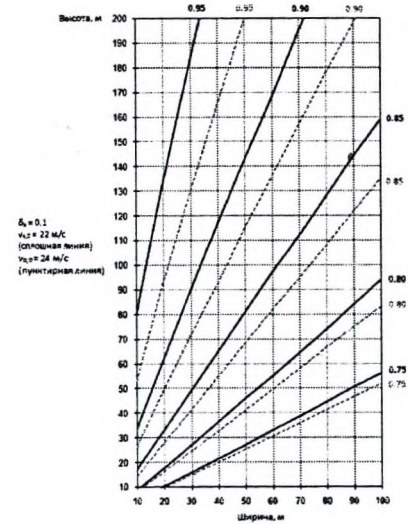
а)



б)



в)



а – II тип местности; б – III тип местности; в – IV тип местности

Рис. 14. Значения коэффициента  $c_d c_s$  для с железобетонным каркасом

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Tur, V., Valuev, V., Derechennik, S. Ground Snow Loads in Belarusian Code// Environmental Effects of Building Structures, Materials and Oeople/ Edited by A. Flaga, Lublin Tech Univer., 2007 – p. 131–139.
2. Тур, В.В., Дереченник, С.С., Валуев, В.Е. Снеговые нагрузки для территории Республики Беларусь// Строительная наука и техника. - 2008.- № 2.– С. 14–24.
3. Zurański, J., Tur, W., Lebedewa, I. Obciążenie sniegiem konstrukcji budowlanych dla tereków polski, Białorusi, Rosji i Litwy/ Problemy naukowo-badawcze budownictwa, Krypnica, 2008.
4. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–3. Общие воздействия. Снеговые нагрузки (EN 1991–1–3:2003. General Actions. Snow Loads: EUROCODE 1).
5. Еврокод 1. Воздействия на конструкции. Часть 1–4. Общие воздействия. Ветровые воздействия (EN 1991–1–4:2003. General Actions. Wind Actions: EUROCODE 1).
6. СТБ ИСО 2394 (ISO 2394). Общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций.– Минск, 2007. – 97 с.
7. Еврокод. Основы проектирования: СТБ ЕН 1990 (EN 1990:2001. EUROCODE 1 – Basis of Structural Design – IDT).
8. Loading for buildings – Part 2: Code of practice for wind loads: BS 6399-2. – BSI, 2002.
9. Wind actions on structures – ISO 4354: 1997. – Switzerland: International Organization for Standardization, 1997.
10. Żurański, J.A. Metodyka oceny wartości charakterystycznych prędkości wiatru w Polsce / J.A. Żurański // Inżynieria i budownictwo. – 2008. – № 2.
11. Żurański, J.A. Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcji budowlanych / J.A. Żurański. – Warszawa: Wydawnictwa Instytutu Techniki Budowlanej, 2005.
12. Исследовать поведение каркасных систем зданий при особых воздействиях и разработать разделы рекомендаций по расчету устойчивости монолитных каркасных систем к прогрессирующему обрушению применительно к условиям Республики Беларусь: отчет о НИР, заключительный. – ХД – 08/76.