

Зависимость снеговой нагрузки в Краснодарском крае и Адыгее от высоты местности над уровнем моря и от периода повторяемости расчётных значений

В.П. Починок, А.Г. Аксенов

Кубанский государственный технологический университет

Аннотация: Приведены результаты исследований зависимости снеговой нагрузки и ее обеспеченности от высоты над уровнем моря на основании статистических данных распределения годовых максимумов запаса воды в снеге, полученных на 30 метеостанциях и горных снегомерных маршрутах Краснодарского края и Адыгеи. Предложены расчетные зависимости для определения снеговых нагрузок с произвольными периодами однократного превышения в равнинной и горной зонах с высотами до 2 тыс.м над уровнем моря.

Ключевые слова: снеговая нагрузка, обеспеченность, распределение, годовые максимумы, период повторяемости, высота над уровнем моря

Нормирование снеговых нагрузок в нашей стране, как и в других странах с холодной зимой, производится с использованием карт веса снегового покрова земли (далее – ВСП). Принципы построения таких национальных карт на протяжении многих лет были весьма разнообразны, что приводило к резким различиям снеговых нагрузок по разные стороны границ сопредельных государств, например, Польши и СССР [1].

В настоящее время для представления временных нагрузок (снеговой, ветровой, сейсмической и др.) используются их вероятностные модели, построенные на статистиках экстремальных значений. При создании таких моделей снеговой нагрузки анализируются вариационные ряды измеренных на метеостанциях годовых максимумов водосодержания или толщины снежного покрова земли с последующим преобразованием ее в нагрузку умножением на расчетную плотность снега. В нашей стране начиная с зимы 1945-46 гг. производится непосредственное измерение водосодержания снега, что дает значительно более достоверные данные, чем это получается при пересчете толщины снега в его вес, как это делается в большинстве стран Западной Европы [2].

В работах группы европейских исследователей [2, 3], послуживших основой для создания карты снеговых нагрузок в Еврокоде 1 (EN 1991-1-3:2003 Eurocode 1 - Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads. Supersedes ENV 1991-2-3: 1995 Incorporating corrigendum March 2009.), показано, что в большинстве районов Европы наилучшим для использования инженерами способом представления снеговых нагрузок на карте районирования является определение областей, в которых нагрузка задается как функция высоты над уровнем моря. При этом в некоторых европейских регионах, в частности в Норвегии и Исландии, взаимосвязь снеговой нагрузки и высоты местности очень слаба, и для таких территорий нельзя найти соответствующую функцию высоты.

В отечественных общегосударственных нормативных документах по нагрузкам и воздействиям (СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. СНиП 2.01.07-85* (с изм. № 2) Нагрузки и воздействия.) вплоть до 2016 г. зависимость ВСП от высоты не была отражена в явном виде. Первым документом в нашей стране, в котором появилась зависимость снеговой нагрузки от высоты, стал разработанный нами СНКК 20-303-2002 (ТСН 20-302-2002 Краснодарского края) Нагрузки и воздействия. Ветровая и снеговая нагрузки. В эти территориальные строительные нормы для горных районов Краснодарского края восточнее Туапсе были включены две расчетные зависимости общего вида

$$s_h = s_g + k_h (h - 500), \quad (1)$$

где s_h – расчетное значение ВСП на высоте $h > 500$ м;

s_g – то же, на высоте 500 м в соответствии со снеговым районом окружающей равнинной местности;

k_h – высотный коэффициент, имеющий разные значения для южного и северного склонов Кавказского хребта.

Для горных районов России впервые почти через 15 лет после введения СНКК 20-303-2002 в нормы СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. была включена расчетная зависимость точно такой же структуры, как формула (1) с разными высотными коэффициентами для горных зон Кавказа, Восточной Сибири и Забайкалья. Для Адлерского района Большого Сочи значение высотного коэффициента $k_h = 0,0075$ кПа/м в своде правил заимствовано из СНКК. Для всех равнинных районов страны в своде правил зависимость ВСП от высоты местности над уровнем моря по умолчанию предполагается отсутствующей.

Между тем, как показано в работе И.В. Ледовского [4], в Ленинградской области имеется устойчивая связь средних значений годовых максимумов ВСП и высот местности в пределах $h = 9 - 173$ м. В этой статье приведены данные за 29-40 лет наблюдений для 14 полевых и 9 лесных снегосъемок. По нашим расчетам, коэффициенты корреляции для линейных зависимостей «высота – средний максимум ВСП» в лесу и в поле составляют по этим данным $r = 0,79$ и $0,92$, что соответствуют высокому и очень высокому уровню по Чеддоку.

Противоречивость сведений из разных источников и неполнота имеющейся информации о связи ВСП с высотой местности в нашей стране подсказывают необходимость углубленной оценки фактора высоты также и в Краснодарском крае. Для анализа использовались данные измерений ВСП на 27 метеостанциях и 3 горных снегомерных маршрутах, подвергнутые нами в 2001 г. статистической обработке при создании норм СНКК 20-303-2002 и дополненные позднее информацией за 2000-12 гг. для равнинных районов края. Подробная информация о них содержится в работах [5, 6].

Расчетные значения ВСП $S_{g,25}$ и $S_{g,50}$ с вероятностями непревышения 0,96 и 0,98 соответственно вычислены по параметрам α и β двойного экспоненциального распределения максимумов Гумбеля 1-го типа [7]

$$P(S) = \exp\{-\exp[(\alpha - S)/\beta]\} \quad (2)$$

и соответствуют среднему периоду однократного превышения $T = 25$ и 50 лет. Параметры интегрального закона (2) α и β были определены нами для всех 30 равномерно распределенных по территории края метеостанций и постов по общепринятым методикам.

Расчетные значения ВСП $S_{g,T}$ для средних периодов однократного превышения T вычислялись с учетом длин использованных вариационных рядов N (до 67 лет) по формуле

$$S_{g,T} = \bar{S} - \sigma \left\{ \frac{1}{\sigma_N} \left[\bar{y}_N + \ln \left(-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) \right] \right\}, \quad (3)$$

где \bar{S} и σ – среднее выборочное значение и стандартное отклонение для выборки из N наблюдений, равные

$$\bar{S} = \alpha + 0.5776\beta, \quad \sigma = 1.286\beta;$$

\bar{y}_N и σ_N – аналогичные параметры распределения приведенных экстремальных значений $\Phi(x) = \exp(-e^{-x})$, табулированные в [7] для выборок объемом $N = 8 \dots 1000$.

Рассмотрим отдельно данные по равнинной и горной зонам края. На рис. 1 показаны нормативные значения ВСП для населенных пунктов, расположенных на побережьях Азовского и Черного морей и отдельно – данные по равнинной зоне. Нормативные значения S_g , составляющие 0,7 от расчетных $S_{g,50}$, приняты в современной редакции СП 20.13330.2016 за основу для районирования, что позволяет разделить все наши данные по снеговым районам новых норм. Для I снегового района, к которому относятся приморские города от Ейска на севере до Туапсе на юге в диапазоне высот от 2 до 30 м совершенно очевидно отсутствие связи

снеговой нагрузки и высоты. Для равнинной зоны, относящейся ко II снеговому району, с высотами до 624 м имеется слабая по Чеддоку ($r = 0,475$) корреляция значений S_g и высоты h . Поэтому можно считать, что на равнинной и приморской территориях Краснодарского края и Адыгеи снеговая нагрузка практически не зависит от высоты местности над уровнем моря.

Совместное рассмотрение всех данных по трем снегомерным маршрутам на северном и южном склонах Западного Кавказа обнаруживает высокий уровень линейной корреляции с $r = 0,876$. Однако наш опыт создания норм СНКК 30-303-2002 показал, что на южных склонах, обращенных к Черному морю, снеговые нагрузки больше, чем на северных (СНиП 2.01.07-85* (с изм. № 2) Нагрузки и воздействия.), [6], и эти зоны следует рассматривать отдельно.

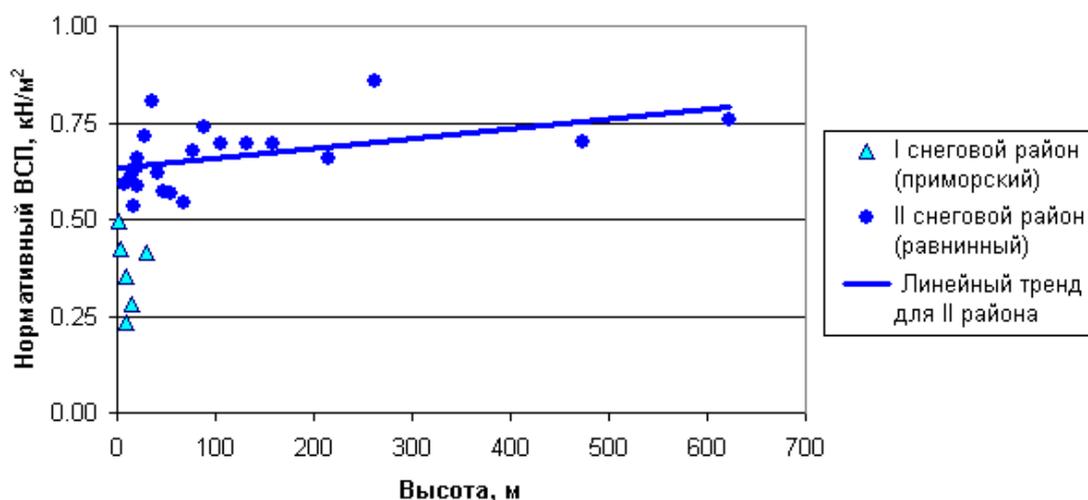


Рис. 1. – Нормативные значения веса снегового покрова S_g в равнинной и приморской зонах на разных высотах над уровнем моря

На рис. 2 и 3 показаны расчетные значения ВСП на северных и южных склонах гор, рассчитанные для периодов повторяемости 25 и 50 лет (соответственно по СНКК 20-303-2002 и СП 20.13330.2016). Во всех случаях обнаруживается очень высокий уровень корреляции: для северных склонов

гор коэффициенты корреляции r составляют 0,940 и 0,936 при периодах повторяемости 50 и 25 лет, на южных склонах связь еще сильнее ($r = 0,987$ и 0,991). Точные значения высотных коэффициентов для южных склонов гор (п. Красная Поляна) составили $k_{h,25} = 0,0077$ и $k_{h,50} = 0,0082$ кПа/м.

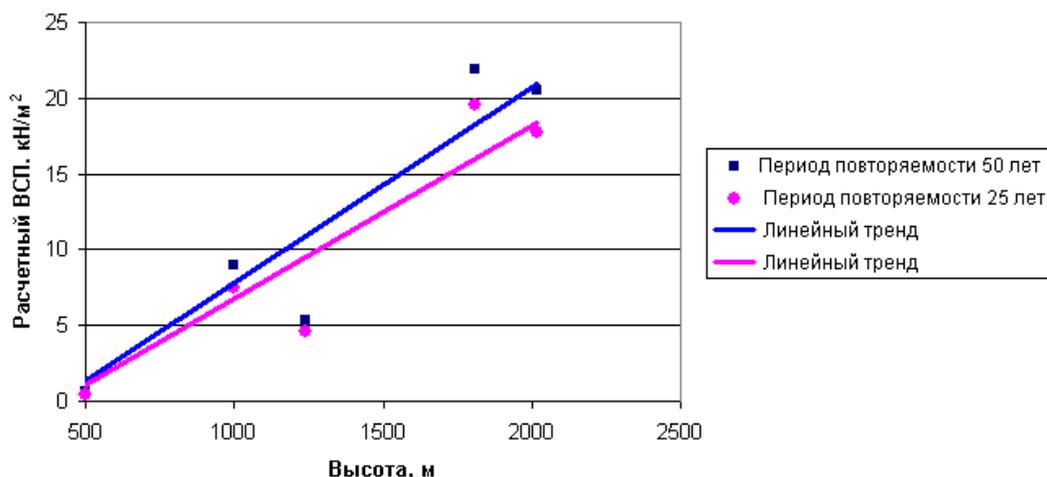


Рис. 2. – Расчетные значения веса снегового покрова на северных склонах гор

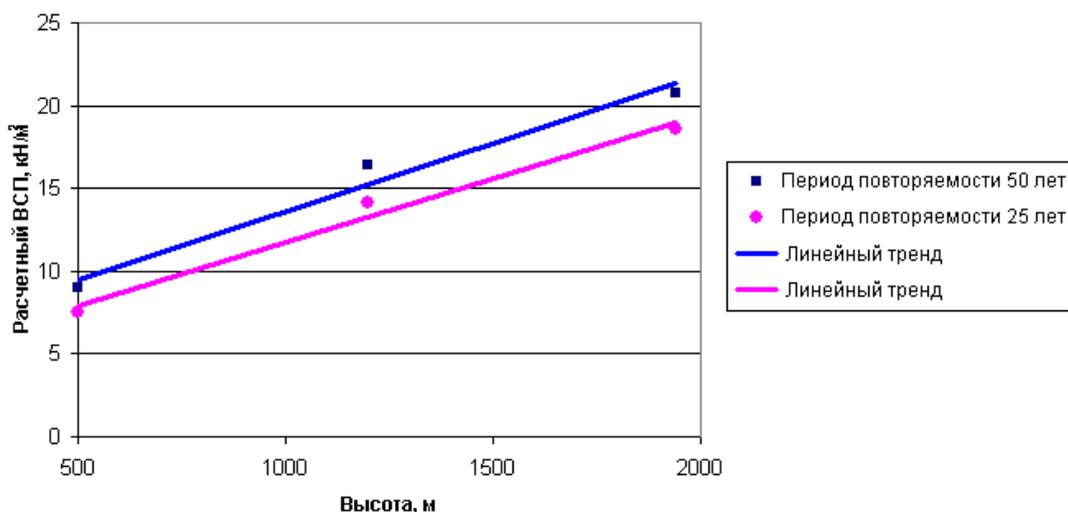


Рис. 3. – Расчетные значения веса снегового покрова на южных склонах гор

На северных склонах Главного Кавказского хребта высотные коэффициенты $k_{h,25} = 0,0113$ и $k_{h,50} = 0,0129$ кПа/м оказались бóльшими чем на южных из-за меньших расчетных значений ВСП в северных предгорьях по сравнению с ВСП у подошвы хребта на Черноморском побережье.

Учитывая, что за последние 15 лет периоды повторяемости расчетных значений ВСП в СНиП 2.01.07-85* (с изм. № 2) Нагрузки и воздействия. и

СП 20.13330.2016 Нагрузки и воздействия. изменялись дважды и возможна их последующая корректировка для унификации с Еврокодом 1, целесообразно определить зависимость высотных коэффициентов для больших периодов $T \geq 100$ лет, соизмеримых со сроками эксплуатации уникальных зданий и сооружений, что допускается ГОСТ 27751-2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения.

Нами выполнен анализ расчетных значений ВСП в Краснодарском крае и Адыгее для периодов однократного превышения расчетного значения $T = 25-200$ лет. Нижняя граница этого интервала соответствует периоду повторяемости, принятому в нормах проектирования после введения в 2003 г. изменения № 2 в СНиП 2.01.07-85* и несколько ранее в СНКК 20-303-2002. Верхняя граница 200 лет принята с учетом того, что существует известная проблема применимости любых законов распределения случайных величин на участке малых значений вероятностей их превышения за пределами области, в которой экспериментально обосновывалась применимость закона распределения и определялись его параметры.

Получены зависимости, позволяющие вычислять расчетные значения ВСП $S_{g,T}$, превышаемые 1 раз за T лет, и отношения их к нормированным значениям $S_{g,25}$, превышаемым 1 раз в 25 лет. Для Горного снегового района по СНКК 20-303-2002 Краснодарского края и для Адыгеи расчетные значения ВСП $S_{g,T}$ (в кН/м^2), превышаемые 1 раз за T лет на высоте h (м) над уровнем моря, следует вычислять по формуле общего вида

$$S_{g,T} = k_{T,h} S_{g,25}, \quad (4)$$

где: $S_{g,25}$ - значение ВСП для периода однократного превышения $T = 25$ лет

$$S_{g,25} = S_{500} + k_h (h - 500) \quad (5)$$

k_h – базовый высотный коэффициент, равный 0,0075 при периоде повторяемости $T = 25$ лет для п. Красная Поляна (Большой Сочи);

S_{500} – расчетное значение ВСП на высоте 500 м для тех же периодов T ;

$k_{T,h}$ – коэффициент повторяемости, зависящий от высоты h , вычисляемый для периодов $T > 50$ лет по формуле

$$k_{T,h} = (1,88 - 0,45 \lg h) \lg T + 0,6 \lg h - 1,5 . \quad (6)$$

Формула (2) применима при высоте $h > 500$ м и среднем периоде повторяемости $25 \leq T \leq 200$ лет. Графики значений коэффициента $k_{T,h}$ показаны на рис. 4. С ростом высоты коэффициент $k_{T,h}$ относительно снижается, что объясняется закономерным уменьшением коэффициента вариации годовых максимумов ВСП с ростом высоты.

В современной редакции норм СП 20.13330.2016 расчетные значения ВСП приняты для периода однократного превышения $T = 50$ лет. Тогда относительное увеличение расчетного ВСП для больших периодов $T > 50$ лет для $S_{g,50}$ может быть учтено скорректированным значением коэффициента $k_{T,h}$, графики которого для 75-200 лет показаны на рис. 5. Периоды времени 75, 100 и более лет приняты по аналогии с табл. 13 СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» [8], для которых нормами установлены значения коэффициента $m_{с,с}$ надежности по конкретному сроку службы T .

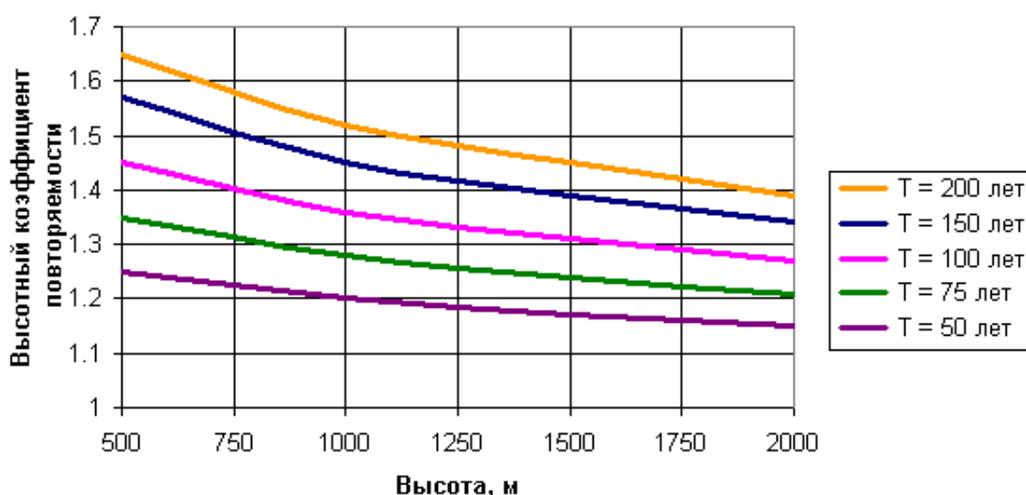


Рис. 4. – Высотный коэффициент повторяемости $k_{T,h}$ для разных периодов однократного превышения T относительно значения $S_{g,25}$

Для равнинной местности при отсутствии зависимости нагрузки от высоты выражение для соответствующего коэффициента повторяемости k_T

получается более простым. Для I и II снеговых районов СНКК 20-303-2002 расчетные значения $S_{g,25}$ следует умножить на коэффициент повторяемости

$$k_T = 0,22 + 0,56 \lg T. \quad (7)$$

Эта зависимость показана на верхнем графике рис. 6.

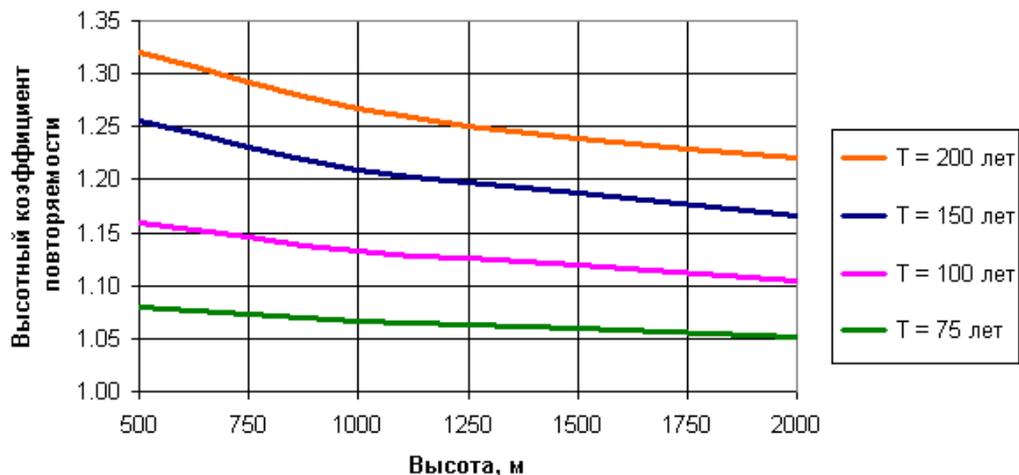


Рис. 5. – Высотный коэффициент повторяемости $k_{T,h}$ для разных периодов однократного превышения T относительно значения $S_{g,50}$

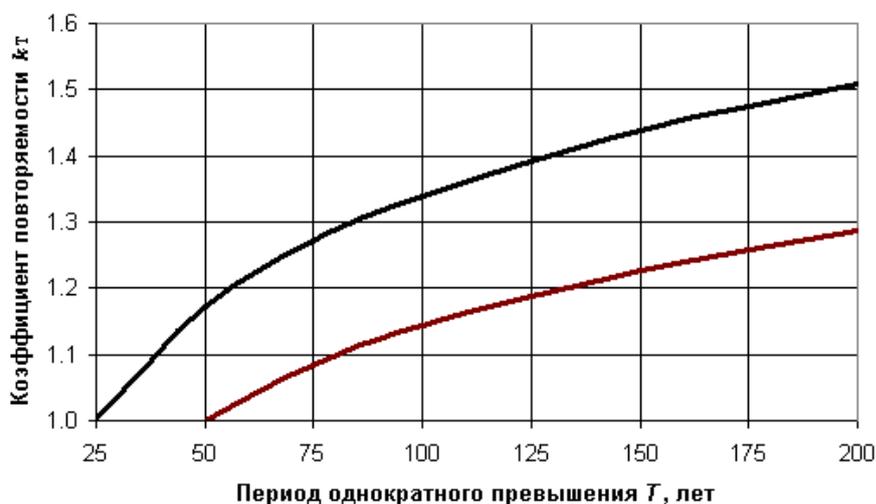


Рис. 6. – Коэффициент повторяемости k_T для разных средних периодов однократного превышения T относительно значений $S_{g,25}$ и $S_{g,50}$ на равнине

Для среднего периода повторяемости $T = 50$ лет по СП 20.13330.2016 скорректированная зависимость (6) относительно этих базовых значений $S_{g,50}$ показана на нижнем графике рис. 6.

Формулы (6) и (7) не являются универсальными. Они получены для климатических условий Краснодарского края при средних значениях коэффициентов вариации годовых максимумов ВСП $c_v = 0,85$ для равнинных и $c_v = 0,60$ для горных районов. Аналогичные зависимости нетрудно получить и при любых других значениях показателей изменчивости, и такая работа может иметь существенное практическое значение. Всякий раз, когда в нормативные документы по снеговым нагрузкам вносятся изменения по уровню обеспеченности расчетных значений, либо изменяется градация или число снеговых районов, приходится составлять новые карты для всей страны и отдельных районов с территориальными климатическими особенностями. Достаточно вспомнить, что с 1985 по настоящее время в СНИПе и сводах правил использовались 4 разные карты районирования по ВСП. В случае какой-либо корректировки СП 20.13330, связанной, например, с дальнейшей унификацией с Еврокодом, при традиционном подходе придется создавать еще одну - пятую карту и т.д.

Всего этого можно было избежать, если, например, к карте ВСП 2003 года, построенной на основе вероятностной модели расчетных значений ВСП, присовокупить расчетные зависимости, связывающие базовые значения $S_{g,25}$ и снеговые нагрузки $S_{g,T}$, для произвольного среднего периода однократного превышения $T > 25$ лет. Для этого необходимо создать карты математических ожиданий и коэффициентов вариации годовых максимумов ВСП. На актуальность такой работы указывал еще 25 лет назад руководитель лаборатории надежности ЦНИИСКА проф. В.Д. Райзер [8]: «для обеспечения соблюдения условий равнонадежности необходимо нормировать обеспеченность... расчетных значений нагрузок, их математические ожидания и показатели изменчивости, а также уровни надежности с учетом ответственности сооружения и вида конструкции». Такие карты математических ожиданий и коэффициентов вариации непременно будут созданы при

переходе от «полувероятностного» метода предельных состояний к расчету строительных конструкций и сооружений более прогрессивными методами теории надежности [8-10 и др.].

Литература

1. Райзер В.Д. Методы теории надежности в задачах нормирования расчетных параметров строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1986. - 193 с.

2. Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works: Snow loads. - Book by L. Sanpaolesi (editor) 1999. Commission of the European Communities DGIII - D3. Contract n°500269 dated December 16th 1996, Final Report. - University of Pisa, Department of Structural Engineering, March 1998. – 57 p.

3. Del Corso R., Gränzer M., Gulvanessian H., Raoul J., Sandvik R., Sanpaolesi L., Stiefel U. New European Code for Snow Loads, Background Document, University of Pisa, Report No. 264, 1995. - 76 p.

4. Ледовской И.В. Нормирование веса снежного покрова в Санкт-Петербурге // Вестник гражданских инженеров, 2012. № 3 (32). С. 122-130.

5. Починок В.П. К расчету на снеговые нагрузки с обеспеченностью, соответствующей сроку службы объекта / В.П. Починок, А.Г. Аксенов // Сб. статей. – Материалы международной научно-практической конференции «Строительство-2011». – Ростов-на-Дону, 2011. – С. 60-62.

6. Починок В.П. Снеговые нагрузки в горных районах Большого Сочи / В.П. Починок, А.Г. Аксенов // Материалы 6-й Международной научно-практической конференции, посвящённой подготовке к Олимпийским Играм 2014 года в г. Сочи «Строительство в прибрежных курортных регионах». – Сочи, 17-21 мая 2010 г. - С. 83-85.

7. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965. - 450 с.

8. Райзер В.Д. Расчет и нормирование надежности строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1995. – 352 с.

9. Пшеничкина В.А., Сухина К.Н. Вероятностный анализ ресурса конструкций покрытия промышленного здания с учетом случайного характера снеговой нагрузки // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3397

10. Сухина К.Н., Пшеничкина В.А., Журбина Е.И. К вопросу об оценке статистических характеристик снеговых нагрузок // Инженерный вестник Дона, 2015, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3398

References

1. Rajzer V.D. Metody teorii nadezhnosti v zadachah normirovaniya raschetnyh parametrov stroitel'nyh konstrukcij [Methods of reliability theory in the problems of rationing the design parameters of building structures]. М.: Strojizdat, 1986. 193 p.

2. Scientific support activity in the field of structural stability of civil engineering works: Snow loads. Book by L. Sanpaolesi (editor) 1999. Commission of the European Communities DGIII - D3. Contract n°500269 dated December 16th 1996, Final Report. University of Pisa, Department of Structural Engineering, March 1998. 57 p.

3. Del Corso R., Gränzer M., Gulvanessian H., Raoul J., Sandvik R., Sanpaolesi L., Stiefel U. New European Code for Snow Loads, Background Document, University of Pisa, Report No. 264, 1995. 76 p.

4. Ledovskoj I.V. Vestnik grazhdanskih inzhenerov, 2012. № 3 (32). pp. 122-130.

5. Pochinok V.P. K raschetu na snegovye nagruzki s obespechennost'ju, sootvetstvujushhej sroku sluzhby ob'ekta [To calculate the snow loads with security corresponding to the lifetime of the object] V.P. Pochinok, A.G. Aksenov



Sb. statej. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Stroitel'stvo-2011». Rostov-na-Donu, 2011. pp. 60-62.

6. Pochinok V.P. Snegovye nagruzki v gornyh rajonah Bol'shogo Sochi [Snow loads in mountain regions of Great Sochi] V.P. Pochinok, A.G. Aksenov Materialy 6-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvjashhjonnoj podgotovke k Olimpijskim Igram 2014 goda v g. Sochi «Stroitel'stvo v pribrezhnyh kurortnyh regionah». Sochi, 17-21 maja 2010 g. pp. 83-85.

7. Gumbel E. Statistika jekstremal'nyh znachenij [Statistics of extremes]. M.: Mir, 1965. 450 p.

8. Rajzer V.D. Raschet i normirovanie nadezhnosti stroitel'nyh konstrukcij [Calculation and rationing of reliability of building structures]. M.: Strojizdat, 1995. 352 p.

9. Pshenichkina V.A., Suhina K.N. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2015/3397

10. Suhina K.N., Pshenichkina V.A., Zhurbina E.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3398