

**Результаты испытаний системы мониторинга снеговой нагрузки зимой 2020/21 г.**

© 2022 г. В.А. Лобкина\*, А.А. Музыченко

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Россия

\*valentina-lobkina@yandex.ru

**Results of snow load monitoring system tests in winter 2020/21**

V.A. Lobkina\*, A.A. Muzychenko

Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\*valentina-lobkina@yandex.ru

*Received October 19, 2021 / Revised February 28, 2022 / Accepted April 1, 2022***Keywords:** *calculated & standard snow load, roof collapse, Sakhalin, monitoring system, snow region, snow measurement observations.***Summary**

A system of the snow load monitoring is proposed to be used for reducing the risks of damage and destruction of buildings under the influence of snow load. In the winter season of 2020/21, a variant of the snow load monitoring system being developed in the Sakhalin branch of the Far Eastern Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences was tested in the city Yuzhno-Sakhalinsk. The observation program included continuous obtaining of values of snow load on the ground during the season. The two monitoring systems were used for the observations. The snow thickness on the site of System № 1 was periodically cut along the contour, while the System № 2 worked under natural conditions of snow accumulation. Observations were carried out from December 16, 2020 to March 31, 2021. The thaw, which lasted from February 16 to 19, 2021, deteriorated the conditions of the experiment. The prolonged rise in the air temperature resulted in heating of the snow thickness down to its full depth, and the snow cover began to melt. Meltwater reached positions of the Systems, which led to a malfunction in their functioning. That is why we present here the results of observations for the period from December 16, 2020 to February 19, 2021 i.e. before the ceasing the experiment caused by the thaw. When evaluating results of the observations having been made, the average values and standard deviations of the transmitted readings were calculated and compared with the reference parameters. For the last ones, data on the amount of solid precipitation for the whole season obtained at the Yuzhno-Sakhalinsk meteorological station were used. For the observational period, the mean deviation value and the standard error of the mean of the snow load on the ground were calculated as the following: the system № 1 – (6±5%), and the system № 2 – (-1±6%). Mean deviation from the reference value was equal to 0.06 kN/m<sup>2</sup> for the System № 1 is, and 0.01 kN/m<sup>2</sup> for the System № 2, which was consistent with the error of strain gauges (tension sensors) used in the system with account for the standard deviation error. The error ±0.1 kN/m<sup>2</sup> was chosen as an acceptable error of the monitoring system, that was reasoned by the current loads standards.

**Citation:** Lobkina V.A., Muzychenko A.A. Results of snow load monitoring system tests in winter 2020/21. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2022, 62 (2): 241–250. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673422020129, edn: eozscy.

*Поступила 19 октября 2021 г. / После доработки 28 февраля 2022 г. / Принята к печати 1 апреля 2022 г.***Ключевые слова:** *расчётная и нормативная снеговая нагрузка, обрушение крыш, Сахалин, система мониторинга, снеговой район, снегомерные наблюдения.*

Для снижения рисков повреждений и разрушений зданий под воздействием снеговой нагрузки предлагается использовать систему её мониторинга. Зимой 2020/21 г. вариант системы мониторинга снеговой нагрузки тестировался в г. Южно-Сахалинск. Представлены результаты тестирования системы, которые показали хорошую корреляцию с эталонными значениями, за которые были приняты данные о количестве твёрдых осадков, выпавших на метеостанции «Южно-Сахалинск».

**Введение**

За последние 20 лет (2001–2021 гг.) в России произошло 266 случаев обрушения крыш под воздействием снеговых нагрузок. При этом 78% обрушений приходится на гражданские здания

(с преобладающей долей жилых домов), 15% – на производственные помещения и 7% – на здания сельскохозяйственного назначения [1]. Только за зимний сезон 2020/21 г. произошло 25 обрушений крыш в девяти субъектах, в том числе на территории Москвы и Московской об-

ласти зафиксировано два случая со смертельным исходом [2, 3]. Ещё один случай, приведший к гибели людей, произошёл в Калужской области при обрушении кровли здания бывшего автокомбината, используемого под автомастерскую [4]. Самое крупное обрушение последних лет произошло 29 января 2021 г. на свинокомплексе территории опережающего социально-экономического развития (ТОР) «Михайловское» (Приморский край). При обрушении было повреждено 37 тыс. м<sup>2</sup> производственных помещений, т.е. 10 из 11 корпусов, в которых содержались животные. Это обрушение полностью остановило деятельность предприятия [5]. Анализируя случаи обрушения, нельзя считать, что основная причина возникновения аварийных ситуаций – износ конструкций. В приведённых примерах аварии произошли со зданиями, которые не были ветхими или аварийными.

В 2017 г. в России был пересмотрен нормативный документ, определяющий требования по назначению нагрузок, воздействий и их сочетаний при строительстве и реконструкции зданий и сооружений [6]. В отличие от всех ранее действующих документов в нём [6] нормативное значение веса снежного покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли (снеговая нагрузка на грунт) было снижено. Уменьшение значения снеговой нагрузки на грунт, закладываемое при проектировании зданий, аварии, спровоцированные избыточными снеговыми нагрузками на кровлю, – вот причины разработки способов контроля за безопасной эксплуатацией зданий. Один из способов контроля накопления снеговой нагрузки – её непрерывный мониторинг. Такая мера имеет перспективу как для эксплуатируемых зданий, так и для возводимых объектов. Предлагаемые методы мониторинга, разрабатываемые в настоящее время, направлены главным образом на фиксацию определённого вида разовой снеговой нагрузки [7]. Ряд технических решений прошёл испытания только на стенде, например [8], что не позволяет судить о его пригодности в реальных условиях. Варианты систем измерения величины снеговосаза разрабатывались и тестировались в разных странах [9–12], но эти системы служили для получения данных гидрологических расчётов. Возможность их применения для оценки снеговой нагрузки не рассматривалась.

Задача работы – представить результаты эксплуатации системы непрерывного мониторинга снеговой нагрузки на грунт в зимнем сезоне 2020/21 г. Опыт эксплуатации системы мониторинга на кровле приведён в работе [13]. Отдельное внимание в статье уделено проблеме недооценки значения снеговой нагрузки на грунт в действующем нормативе, что подчёркивает актуальность проводимого исследования.

### Постановка проблемы

В последние 90 лет подход к получению значения снеговой нагрузки [14], а также районированию территории на снеговые районы значительно изменился. Прежде всего, вносимые изменения связаны с накоплением массива метеоданных и расширением географии наблюдательной сети. История нормирования снеговых нагрузок в СССР начинается 1 июня 1933 г. с введения Общесоюзного стандарта (ОСТ ВКС) 7626/б, который представлял собой первый нормативный документ в этой области. Значение снеговой нагрузки на грунт  $S_g$  в ОСТ ВКС 7626/б зависело от высоты снежного покрова, сведения о котором получали с ближайшей метеостанции или снегомерного пункта. Переход от высоты снежного покрова к  $S_g$  происходил с использованием единой для всей территории страны плотности снега, равной 100 кг/м<sup>3</sup>. Такой подход не позволял получить реальное значение  $S_g$ , поэтому в 1940 г. вернулись к вопросу нормирования. В ОСТ 90058–40 (1940 г.) впервые была представлена единая карта районирования территории СССР по высоте снежного покрова. Данное районирование позволяло с помощью дифференцированного значения плотности переходить к  $S_g$ . Было выделено пять снеговых районов (таблица). Отдельно предполагалось определять  $S_g$  для горных территорий.

В последующих редакциях нормативных документов по снеговому грузам основное внимание уделялось разработке более детальной карты районирования, что вызвало увеличение числа выделяемых снеговых районов, а накопление метеоданных приводило к росту значений  $S_g$ . Эволюция взглядов на районирование территории по весу снегового покрова показана на примере территории о. Сахалин (рис. 1).

Нормативные значения снеговой нагрузки на грунт по снеговым районам (кН/м<sup>2</sup>)\*

Нормативный документ (год введения)	Снеговые районы							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
ОСТ 90058–40 (1940 г.); СНиП II-Б.1 (1954 г.)	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	–		
СНиП II-А.11–62 (1962 г.); СНиП II-6–74 (1976 г.); СНиП 2.01.07–85 (1988 г.)	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	2,5	–	
СНиП 2.01.07–85* (2003 г.); СП 20.13330.2011 (2011 г.)	0,8	1,2	1,8	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6
СП 20.13330.2016 (2017 г.)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0

\*Прочерк – снеговой район в нормативном документе отсутствует.

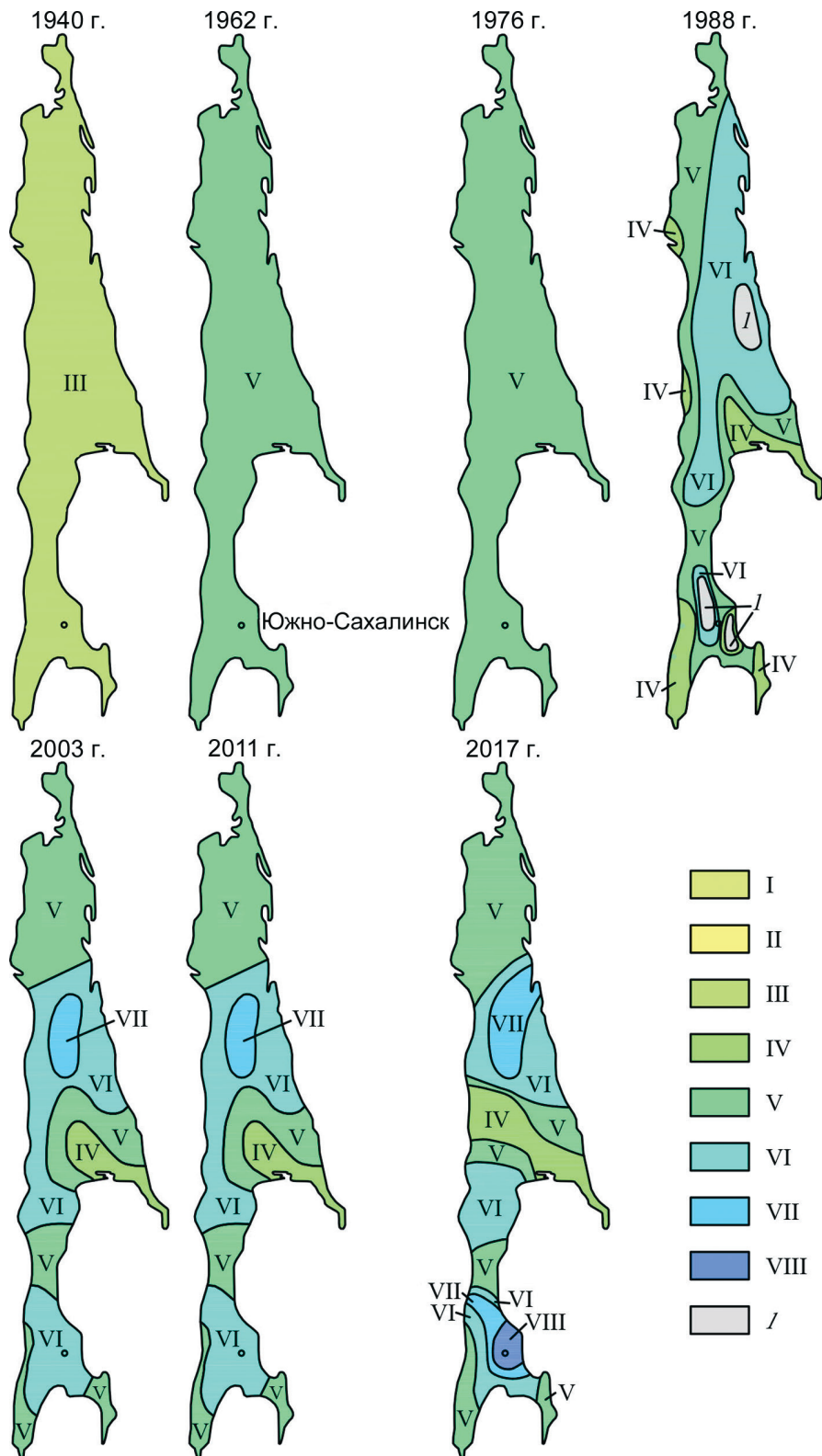
В таблице приведены нормативные документы, в разное время действующие на территории СССР/России, число снеговых районов и соответствующие им значения  $S_g$ . На карте районирования СССР по весу снегового покрова в строительных нормах и правилах (СНиП) II-Б.1 (1954 г.) (см. рис. 1) из-за недостатка метеоданных территории, находящиеся за Полярным кругом и восточнее 120° в.д., не были районированы на снеговые районы. Значение  $S_g$  для этих территорий предлагалось определять умножением максимальной высоты снежного покрова на ближайшем метеорологическом пункте за период наблюдения не менее 10 лет на два.

Восемь снеговых районов с наибольшими значениями  $S_g$  появились в СНиП 2.01.07–85\* (2003 г.). В настоящее время значение  $S_g$ , которое закладывается в расчёты при проектировании зданий, определяют по своду правил (СП) 20.13330.2016 (2017 г.) [6]. В нём изменились не только карта районирования территории России по весу снежного покрова, но и значения  $S_g$ . В зависимости от района значения  $S_g$  уменьшились на 0,2–1,6 кН/м<sup>2</sup>. Однако свод [6] был дополнен перечнем из 168 населённых пунктов, для которых приводилось уточнённое значение  $S_g$ . К сожалению, этот перечень – не полный, для большинства регионов уточнённое значение дано только для административного центра. Например, для Хабаровского края приведены значения для двух городов, тогда как аварии, вызванные снеговыми нагрузками, только за последние 20 лет произошли в девяти.

Учитывая, что  $S_g$  зависит от метеоданных и статистики обрушений крыш, рассмотрим, для всех ли снеговых районов обосновано снижение её значения. В качестве примера был выбран г. Южно-Сахалинск (о. Сахалин). Согласно карте районирования, представленной в [6], Южно-Сахалинск отнесён к VIII снеговому району с  $S_g$

4,0 кН/м<sup>2</sup>, собственно для города в [6] приведено уточняющее значение  $S_g = 3,85$  кН/м<sup>2</sup>. С зимнего сезона 2002/03 г. на снегомерном пункте, расположенном в пределах Южно-Сахалинска, сотрудники Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН (ДВГИ ДВО РАН) выполняют комплексные стратиграфические наблюдения [15]. Согласно данным наблюдений, фактическое значение  $S_g$  для снегомерного пункта в Южно-Сахалинске превышает нормативное ( $S_g = 3,85$  кН/м<sup>2</sup> [6]) в среднем один раз в 5–7 лет (рис. 2).

Превышение нормативного значения на снегомерном пункте за последние 19 лет зарегистрировано в зимние сезоны 2005/06, 2011/12 и 2017/18 гг. Если соотнести зимние сезоны, значение  $S_g$  для снегомерного пункта в которых превышало нормативное, со статистикой обрушений крыш в г. Южно-Сахалинск, то получаем, что в зимнем сезоне 2005/06 г. обрушений не было или данные не сохранились, в 2011/12 г. случилось три обрушения (металлический ангар, гараж Правительства Сахалинской области, балкон жилого дома), в 2017/18 г. – три обрушения металлических ангаров, один из которых был введён в эксплуатацию в ноябре 2017 г. Рассчитаем  $S_g$  по данным снегомерного пункта. Для этого представим фактические данные (см. рис. 2) как выборку независимых случайных значений, распределённых по закону Гумбеля [16]  $S_{g1}$ . Математическое ожидание  $m_S$  для выбранного ряда значений составляет 2,6 кН/м<sup>2</sup>, дисперсия  $D_S = 0,6$  кН<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>. Найдём стандартное отклонение  $\sigma_S = D_S^{1/2} = 0,8$  кН/м<sup>2</sup> и коэффициент вариации  $f_S = \sigma_S/m_S = 0,3$ . Параметры закона Гумбеля составили:  $a_s = 1,6$  и  $u_s = 2,3$  – коэффициенты связанные/получаемые от математического ожидания (для  $u_s$ ) и стандарта (для  $a_s$ ). Период повторяемости составляет 50 лет, следовательно, обеспеченность

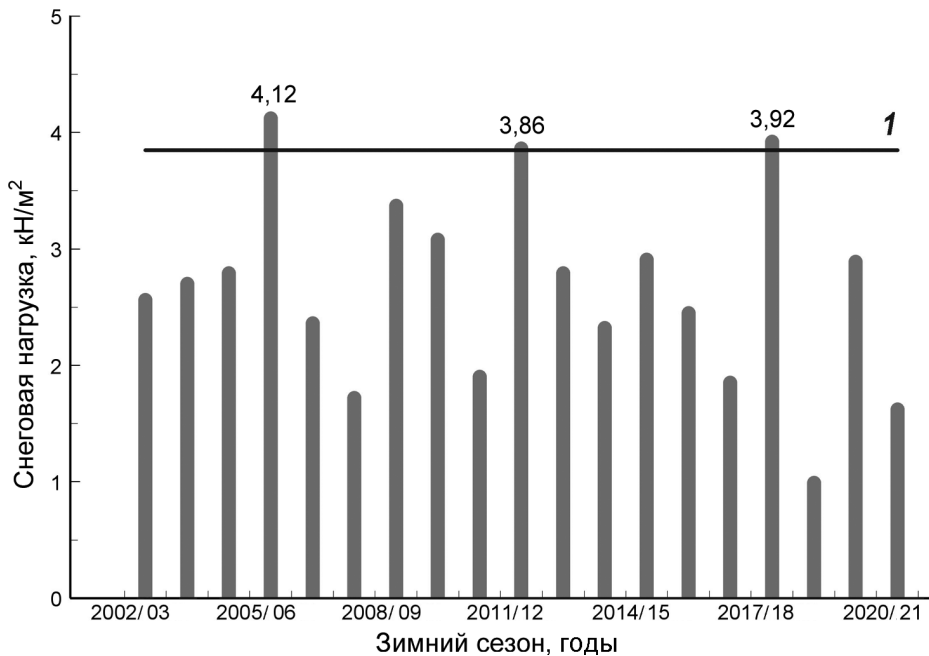


**Рис. 1.** Районирование о. Сахалин на снеговые районы по нормативному значению снеговой нагрузки на грунт в разные годы:

I–VIII – номера снеговых районов (см. таблицу); / – малоизученные районы

**Fig. 1.** The Sakhalin zoning for snow regions by standard snow load on the ground related to different years:

I–VIII – snow regions numbers (refer to Table); / – understudied regions



**Рис. 2.** Снеговая нагрузка на грунт за период 2002–2021 гг. по данным наблюдений на снегомерном пункте в г. Южно-Сахалинск:

$I$  – нормативное значение снеговой нагрузки на грунт для г. Южно-Сахалинска 3,85 кН/м<sup>2</sup> [6]

**Fig. 2.** The snow load on the ground for the period 2002–2021 according the observations data at the snow-measuring site in Yuzhno-Sakhalinsk:

$I$  – standard snow load on the ground for Yuzhno-Sakhalinsk 3,85 кН/м<sup>2</sup> [6]

снеговой нагрузки  $F(Sg_1)$  равна 0,98. Для получения нагрузки  $Sg_1$  решим следующее уравнение:

$$Sg_1 = u_s - a_s^{-1} \ln\{-\ln[F(S_n)]\} = 4,73 \text{ кН/м}^2.$$

Для снегомерного пункта значение снеговой нагрузки на грунт, превышаемое в среднем 1 раз в 50 лет, составляет  $Sg_1 = 4,73 \text{ кН/м}^2$ , т.е. на 0,88 кН/м<sup>2</sup> выше значения  $Sg$ , принятого для г. Южно-Сахалинск в своде [6]. Однако, по мнению авторов настоящей статьи, значение  $Sg$  должно зависеть не от математического ожидания (средней величины), а только от фактических максимальных значений. Расчёт с использованием фактических значений можно выполнить, применив линейную экстраполяцию  $Sg_2$ . Для расчёта на выбранном коротком ряду (см. рис. 2) используем пять наибольших значений. Рассчитаем  $Sg_2$  для каждой пары значений  $ij$  и выберем наибольшее; в данном случае наибольшее значение получено при  $S_{n-i} = 3,86 \text{ кН/м}^2$  и  $S_{n-j} = 3,37 \text{ кН/м}^2$ :

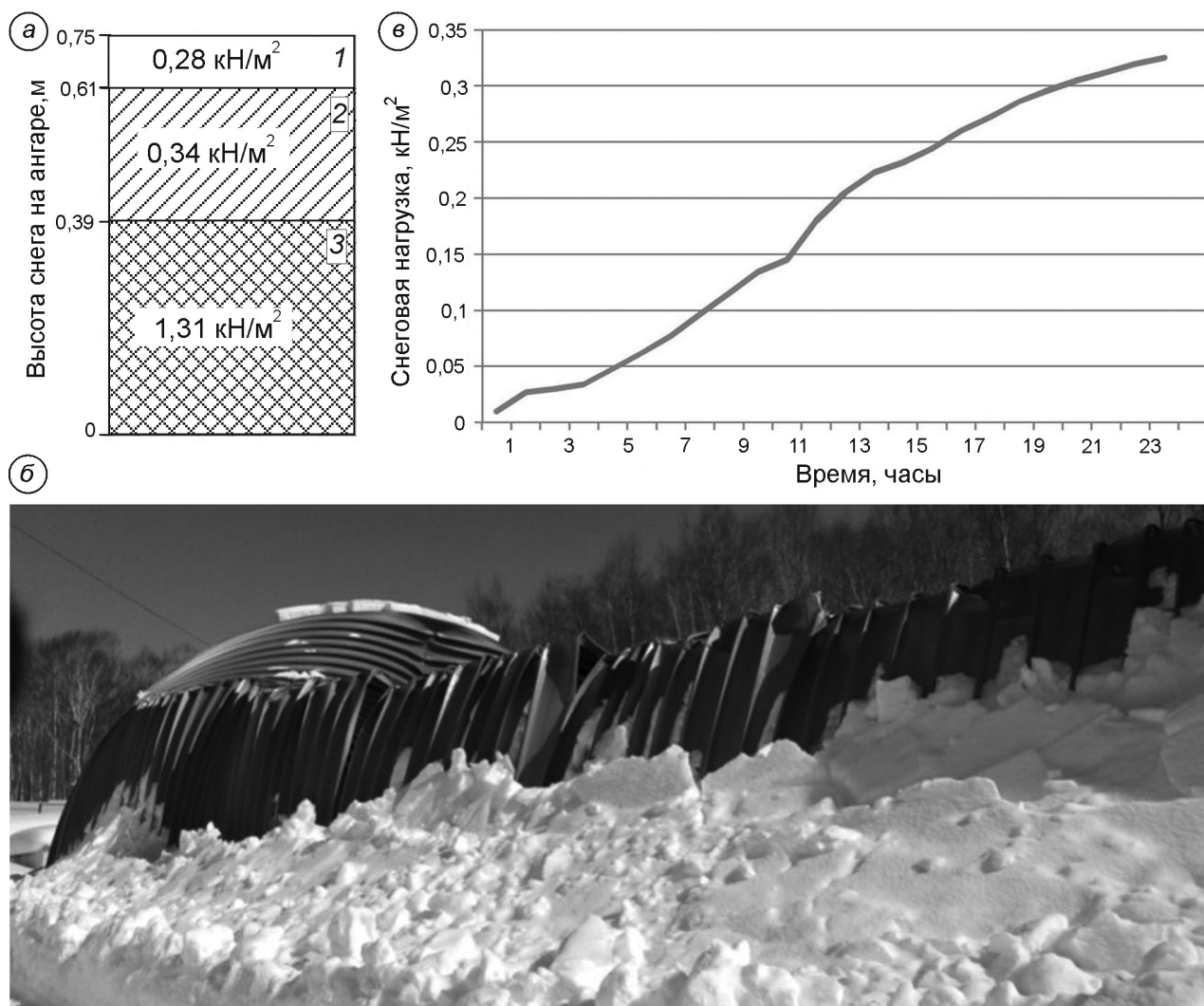
$$Sg_2 = ((j + 0,5)S_{n-i} - (i + 0,5)S_{n-j}) / (j - i) = 5,13 \text{ кН/м}^2.$$

Оба расчёта показали значение больше 3,85 кН/м<sup>2</sup>, принятых в [6]. На территории Южно-Сахалинска действует гидрометеорологическая станция (ГМС) «Южно-Сахалинск» (высота 22 м над ур. моря), для которой имеется архив данных об осадках. Согласно данным с зимнего сезона 1942/43 по 2005/06 г., превышение нормативного значения ( $Sg = 3,85 \text{ кН/м}^2$  [6]) про-

исходило в зимние сезоны 1965/66, 1969/70, 1973/74, 1993/94, 2005/06 гг. По закону Гумбеля, расчётное значение  $Sg$  по данным ГМС «Южно-Сахалинск» составило 4,46 кН/м<sup>2</sup>, а по методу линейной экстраполяции – 4,36 кН/м<sup>2</sup>. Для ГМС расчёт также не показал значения 3,85 кН/м<sup>2</sup>. Получается, что при примерном сроке службы зданий и сооружений массового строительства в случае обычных условий эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства) не менее 50 лет [17] превышение нормативного значения  $Sg$  по данным ближайшей ГМС для Южно-Сахалинска ожидается каждые 10–15 лет.

## Методы и результаты

С 2015 г. в Сахалинском филиале ДВГИ ДВО РАН разрабатывается вариант системы дистанционного мониторинга снеговой нагрузки (далее Система). Разные варианты подобных систем создаются с 1960-х годов [9–12], но основная цель измерений в этих работах – получение данных для гидрологических расчётов. До зимнего сезона 2020/21 г. задачей, решаемой Системой, была регистрация отдельных снегопадов с целью наблюдения за их динамикой и определения пиковых моментов в накоплении нагрузки. Система регистрировала значения снеговой нагрузки



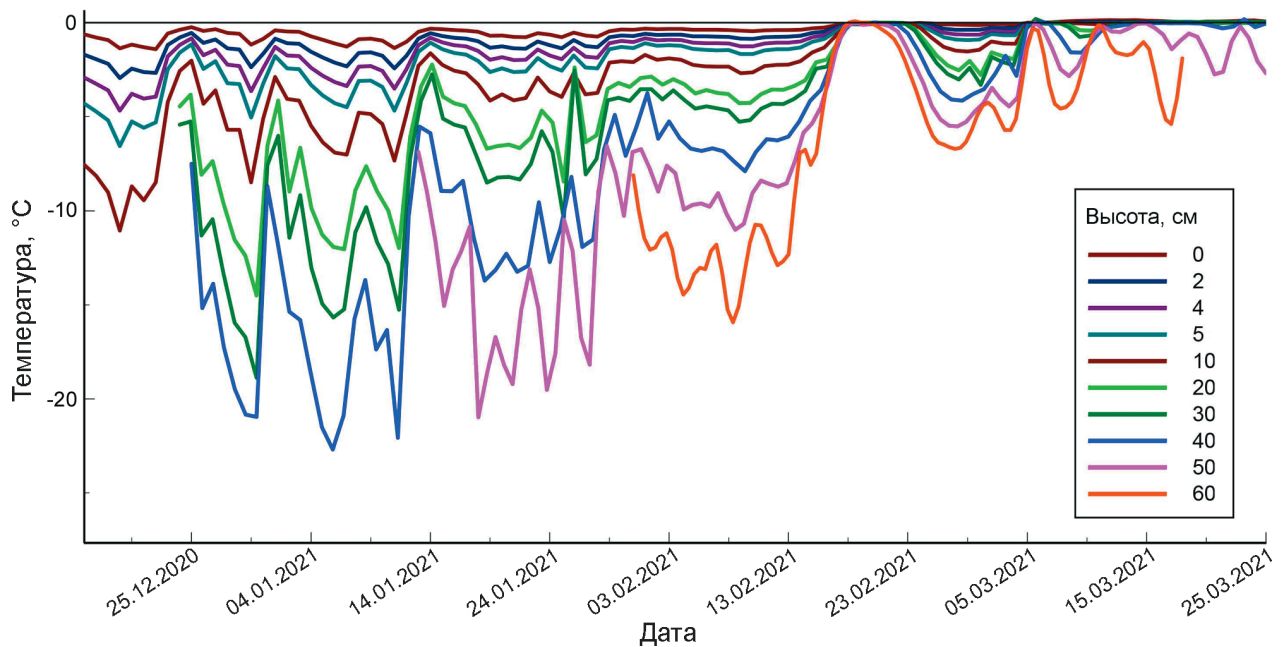
**Рис. 3.** Параметры снеговой нагрузки, приведшие к обрушению ангара в г. Южно-Сахалинск в 2018 г.: *a* – послойное распределение снеговой нагрузки: 1 – снеговая нагрузка от снегопада 9 марта, 2 – снеговая нагрузка от снегопада 2 марта, 3 – снеговая нагрузка от лежалого снега; *б* – общий вид разрушенного ангара; *в* – прирост снеговой нагрузки в течение снегопада 2 марта

**Fig. 3.** Parameters of snow load led to hangar collapse in Yuzhno-Sakhalinsk in 2018: *a* – layer-by-layer distribution of snow load: 1 – snow load of snowfall on March 9, 2 – snow load of snowfall on March 2, 3 – snow load of settled snow; *б* – general view of the destroyed hangar; *в* – snow load growth during the snowfall on March 2

как на грунт, так и на поверхность кровли в зависимости от места её установки. Она была рассчитана на нагрузку до  $1,0 \text{ кН/м}^2$  и нуждалась в расчистке после каждого снегопада [13]. В режиме регистрации отдельных снегопадов Система работала и в 2017/18 г. В ночь с 9 на 10 марта 2018 г. в юго-восточной части г. Южно-Сахалинск обрушился ангар (рис. 3, б). Восстановленное на месте аварии фактическое значение снеговой нагрузки, приведшее к обрушению, составило  $\approx 2,0 \text{ кН/м}^2$ . Послойное распределение нагрузки показано на рис. 3, а. Система, установленная в 500 м от

места аварии, регистрировала снегопад 2 марта; на рис. 3, в показан прирост нагрузки во время этого снегопада. Значение нагрузки, зарегистрированное Системой, составило  $0,33 \text{ кН/м}^2$ , а полученное ручным замером –  $0,34 \text{ кН/м}^2$ , что указывает на точность получаемых данных.

Программой наблюдения 2020/21 г. было предусмотрено непрерывное получение значения  $S_g$  в течение всего сезона. Две Системы мониторинга снеговой нагрузки были установлены в южной части г. Южно-Сахалинск, в районе с низкоэтажной застройкой. Системы были



**Рис. 4.** Температура снежной толщ на разной высоте от поверхности земли в течение сезона 2020/21 по данным измерений

**Fig. 4.** The snowpack temperature at different elevations during the season 2020/2021 according the data of measurements

установлены в почвенных шурфах, стенки которых были защищены от сползания деревянным коробом. Высота установки корректировалась до выравнивания с поверхностью почвы. Системы установлены параллельно друг другу. Обе Системы рассчитаны на измерение нагрузки до  $7,8 \text{ кН/м}^2$ . Выбранный предел измерения нагрузки обоснован наблюдаемыми значениями с учётом запаса прочности, необходимого для стабильной работы Систем. Наблюдения предусматривали подрезку снежной толщ по контуру на Системе № 1 в течение сезона для определения наличия «эффекта свода», при котором часть веса должна распределяться по снежным горизонтам. Система № 2 в течение сезона не обрезалась и находилась в естественных условиях снегонакопления, т.е. вес определялся с учётом общего веса пласта. Наблюдения проводили с 16 декабря 2020 г. по 31 марта 2021 г. Одновременно выполняли стандартные наблюдения в снежном шурфе с периодичностью раз в семь дней.

В период испытаний Систем ход среднесуточной температуры воздуха был нарушен вторжением тёплых воздушных масс, вызвавших оттепель с 16 по 19 февраля 2021 г. Оттепель нарушила условия эксперимента. В результате продолжительного повышения температуры воздуха

произошло отепление снежной толщ до полной глубины и снежный покров стал таять. Среднесуточная температура воздуха во время оттепели составила  $-2 \text{ }^\circ\text{C}$ , суточный максимум  $+1,2 \text{ }^\circ\text{C}$  (16 февраля 2021 г.) [18]. На площадке для наблюдений рядом с Системами была установлена температурная рейка с датчиками через 1 см. На рис. 4 вынесены данные датчиков, которые находились под снегом на высоте 0, 2, 4, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 см от поверхности почвы. В течение сезона число датчиков, расположенных под снегом, менялось с ростом высоты снежной толщ, что и отражено на рис. 4. Данные температурной рейки показали, что во время оттепели с 16 по 19 февраля 2021 г. температура снежной толщ увеличилась и держалась около  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  по всей высоте. Об этом также свидетельствуют данные шурфа от 19 февраля 2021 г., по которому средняя температура снега составила  $-0,15 \text{ }^\circ\text{C}$ . Талая вода, попавшая к местам установки, замёрзла, что привело к сбою в работе обеих Систем. Передаваемые после оттепели данные существенно отличались от результатов ручных замеров в шурфе и данных о количестве твёрдых осадков на ГМС «Южно-Сахалинск», которые по условиям эксперимента были приняты за эталонные. Поправочный коэффициент не удалось ввести, так

как погрешность измерения характеризовалась случайной величиной со значительным диапазоном разброса. Поэтому в статье будут рассмотрены результаты наблюдения с 16 декабря 2020 г. по 19 февраля 2021 г., т.е. до нарушения условий эксперимента, вызванных оттепелью.

Оценка проведённых наблюдений сделана через определение среднего значения и стандартного отклонения передаваемых показаний снеговой нагрузки по сравнению с эталонными значениями, за которые были приняты данные о количестве твёрдых осадков, выпавших в течение зимы по ГМС «Южно-Сахалинск» [18]. При определении эталонных значений снегозапаса использовали данные о количестве твёрдых осадков по ГМС «Южно-Сахалинск», выпавших в течение зимы, с поправкой на данные измерений в шурфе. Среднее значение вычислялось как разница между эталонными и фактическими значениями, которые далее для наглядности переводили в проценты. Для периода наблюдения среднее значение отклонения и стандартная ошибка среднего отклонения  $S_g$  составили: Система № 1 –  $(6 \pm 5\%)$ , Система № 2 –  $(-1 \pm 6\%)$ . Получилось, что среднее отклонение от эталона было таким: Система № 1 –  $0,06 \text{ кН/м}^2$ , Система № 2 –  $0,01 \text{ кН/м}^2$ , что соответствует погрешности используемых тензодатчиков с учётом стандартной ошибки отклонения. Приемлемой ошибкой к Системе мониторинга была выбрана ошибка  $\pm 0,1 \text{ кН/м}^2$ , обоснованная нормативами по нагрузкам, которые действуют в настоящее время. Размер выборки для каждой Системы составил 118 значений. В целом, в период эксперимента величина отклонений передаваемых величин была значительно меньше ожидаемой ошибки. Показания с Системы № 2 оказались более стабильными, чем с Системы № 1. Авторы статьи связывают это с тем, что снежную толщу по контуру не подрезали, следовательно, вероятность поступления воды и осыпания снега к датчикам Системы № 2 была ниже.

### Заключение

История нормирования снеговых нагрузок в России (СССР) насчитывает 88 лет (с 1933 г.). Нормативное значение  $S_g$  по снеговым районам увеличивалось в процессе накопления ме-

теоданных. Наибольшие значения  $S_g$  появились в СНиП 2.01.07–85\* (2003 г.). После введения СП 20.13330.2016 (2017 г.) нормативные значения  $S_g$  уменьшились, причём в зависимости от снегового района они снизились на  $0,2–1,6 \text{ кН/м}^2$ . На примере г. Южно-Сахалинск показано, что снижение норматива  $S_g$  не всегда обоснованно; это отмечается и для других регионов России [19]. Повысить безопасность зданий можно с применением программ инструментального мониторинга снеговой нагрузки.

Представленные в статье результаты эксплуатации Систем мониторинга показали высокую точность в период наблюдения до оттепели. Величина среднего значения отклонения от эталона (данных ГМС «Южно-Сахалинск») в этот период составила  $-0,01$  (Система № 1) и  $0,06$  (Система № 2)  $\text{кН/м}^2$ , что в 10 раз меньше ожидаемой ошибки. Опыт эксплуатации Систем в 2020/21 г. показал необходимость доработки Системы для работы в нестабильных метеоусловиях в течение зимы, например при оттепелях, и выпадении жидких осадков на снежный покров.

Несомненное достоинство мониторинга снеговой нагрузки – возможность получать данные об её изменении с временным разрешением в секунды. В дальнейшем при эксплуатации Системы на кровле высокая частота передачи данных позволит принять превентивные меры по обеспечению безопасности здания в случае достижения снеговой нагрузкой критических значений, например, когда передаваемое Системой значение снеговой нагрузки приближается к значению нагрузки, заложенной при проектировании здания с учётом коэффициентов на его износ.

Для получения актуального значения снеговой нагрузки в городских районах с типовым характером застройки достаточно размещения одной Системы, по данным которой можно сделать прогноз для всего района. Место установки должно выбираться на основе анализа метеоданных, главным параметром из которых будет господствующее направление ветра во время метелей, которое позволит определить места наибольшего снегоотложения на крыше. К сожалению, в районах с разноэтажной застройкой объём необходимых для качественного прогноза Систем будет увеличиваться, так как характер снегоотложения будет существенно меняться. Основные потребители предоставляемой ин-



формации в городской среде – управляющие компании, отвечающие за состояние жилых зданий, которые внутри своей зоны ответственности располагают информацией о зданиях, нуждающихся в расчистке кровли чаще других. Это делает данные здания приоритетными для установки Системы в связи с повышенным снегоотложением. Также целесообразно устанавливать Систему на общественных зданиях, где работает много людей. Обрушение этих зданий может привести к большому числу жертв. Примером могут служить произошедшие в 2006 г. трагедии на Басманном рынке (Москва, Россия) [20] и в Выставочном павильоне в Катовице (Поль-

ша) [21]. Заинтересованными в Системе должны быть лица, ответственные за здания промышленного и сельскохозяйственного назначения, так как обрушение этих зданий может привести к выбросу в окружающую среду опасных загрязнителей или к остановке цикла производственной деятельности.

**Благодарности.** Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации № МК-867.2020.5.

**Acknowledgments.** The reported study was funded by Grant of the President of the Russian Federation according to the research project № МК-867.2020.5.

### Литература

1. Lobkina V. Analysis of Roof Collapse Cases Caused by Snow Loads in Russia (2001–2021) // Sustainability. 2021. V. 13 (13580). <https://doi.org/10.3390/su132413580>.
2. Электронный ресурс: РБК. Информационный портал. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6027ddd9a79471dcd4f28ae>.
3. Электронный ресурс: РБК. Информационный портал. [https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6028f3279a794754d20cf7c8?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop&nw=1613538026000](https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6028f3279a794754d20cf7c8?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&nw=1613538026000).
4. Электронный ресурс: РБК. Информационный портал. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6027900f9a79470cee23556c>.
5. Электронный ресурс: VL.RU. Информационный портал. <https://www.newsvl.ru/accidents/2021/03/04/197477/#ixzz6oIm5fB29>.
6. Электронный ресурс: СП 20.13330.2016. Нагрузки и Воздействия. <https://docs.cntd.ru/document/456044318>.
7. Bohren A., Brunner A., Abegg P. Simulation of Very High Snow Loads on Solar Thermal Collectors // Energy Procedia. 2016. V. 91. P. 325–329. doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.228.
8. Dziadak B. Structural health monitoring system for snow and wind load measurement // Electronics. 2020. V. 9. № 4. P. 609. doi: 10.3390/electronics9040609.
9. Миннегалиев А.О., Рахимов Р.Р., Сулейманов Р.Р., Гайнанишин М.Ф. Снегомерная подушка: опыт создания и эксплуатации прототипа // Сб. докладов междунаучной конф. «Четвертые Виноградские чтения. Гидрология: от познания к мировоззрению». 2–10 декабря 2020, г. Санкт-Петербург. С. 713–716.
10. Archer D., Stewart D. The installation and use of a snow pillow to Monitor snow water equivalent //

### References

1. Lobkina V. Analysis of Roof Collapse Cases Caused by Snow Loads in Russia (2001–2021). Sustainability. 2021, 13 (13580). <https://doi.org/10.3390/su132413580>.
2. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6027ddd9a79471dcd4f28ae>. RBK. News portal. [In Russian].
3. [https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6028f3279a794754d20cf7c8?utm\\_source=yxnews&utm\\_medium=desktop&nw=1613538026000](https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6028f3279a794754d20cf7c8?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&nw=1613538026000). RBK. News portal. [In Russian].
4. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/6027900f9a79470cee23556c>. RBK. News portal. [In Russian].
5. <https://www.newsvl.ru/accidents/2021/03/04/197477/#ixzz6oIm5fB29>. VL.RU. News portal [In Russian].
6. <https://docs.cntd.ru/document/456044318>. SP 20.13330.2016 Loads and Actions. [In Russian].
7. Bohren A., Brunner A., Abegg P. Simulation of Very High Snow Loads on Solar Thermal Collectors. Energy Procedia. 2016, 91: 325–329. doi: 10.1016/j.egypro.2016.06.228.
8. Dziadak B. Structural health monitoring system for snow and wind load measurement. Electronics. 2020, 9 (4): 609. doi: 10.3390/electronics9040609.
9. Minnegaliev A.O., Rakhimov R.R., Suleimanov R.R., Gainanshin M.F. Snow-pillow: creation experience and prototype operation. *Sbornik докладov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii «IV Vinogradovskie chteniya. Gidrologiya: ot poznaniya k mirovozzreniyu»*. Proc. of international scientific conf. «IV Vinogradov conference hydrology: from learning to worldview» 2–10 December 2020. St. Petersburg, 2020: 713–716. [In Russian].
10. Archer D., Stewart D. The installation and use of a snow pillow to Monitor snow water equivalent. CIWEM. 1995, 9: 221–230. doi: 10.1111/j.1747-6593.1995.tb00934.x.
11. Lopez Moreno J.I., Alvera B., Latron J., Fassnacht S.R. Installation and use of snow pillows for monitoring

- CIWEM. 1995. V. 9. P. 221–230. doi: 10.1111/j.1747-6593.1995.tb00934.x.
11. Lopez Moreno J.I., Alvera B., Latron J., Fassnacht S.R. Installation and use of snow pillows for monitoring snow cover, Izas Experimental basin (Central Pyrenees) // Cuadernos de Investigacion Geografica. 2010. V. 36 (1). P. 73–85. [In Spanish].
  12. Penton V. E., Robertson A.C. Experience with pressure snow pillow as a snow measuring device // Water Resources Research. 1967. V. 3. P. 405–408.
  13. Лобкина В.А., Кононов И.А., Потанов А.А. Система дистанционного мониторинга снеговой нагрузки на кровле // Лёд и Снег. 2016. № 2 (56). С. 246–252. doi: 10.15356/2076-6734-2016-2-246-252.
  14. Пичугин С.Ф. Статистическое обоснование нормативов снеговой нагрузки на строительные конструкции // Современные строительные конструкции из металла и древесины. Сб. науч. работ. № 25. Одесса, 2021. С. 103–118. doi: 10.31650/2707-3068-2021-25-103-118.
  15. Музыченко А.А., Лобкина В.А. Оценка снежности зим на юге острова Сахалин по данным контрольной площадки наблюдения // Вестн. Дальневосточного отделения РАН. 2018. № 6 (202). С. 115–121. doi: 10.25808/08697698.2018.202.6.013.
  16. Гумбель Э. Статистика экстремальных значений. М.: Мир, 1965. 450 с.
  17. Электронный ресурс: ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (Переиздание). <https://docs.cntd.ru/document/1200115736/>.
  18. Электронный ресурс: Метеорологический архив ВНИИГМИ-МЦД <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>.
  19. Малый В.И. Об особом отношении к снеговой нагрузке в Российских нормах // Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 8. С. 42–45.
  20. Назаров Ю.П., Жук Ю.Н., Симбиркин В.Н., Егоров М.И. Басманский рынок: анализ конструктивных решений и возможных механизмов разрушения здания // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 2. С. 49–55.
  21. Электронный ресурс: LENTA.RU. Информационный портал. <https://lenta.ru/articles/2006/01/29/roof/>.
  22. snow cover, Izas Experimental basin (Central Pyrenees). Geographical Research Letters. 2010, 36 (1): 73–85. [In Spanish].
  23. Penton V.E., Robertson A.C. Experience with pressure snow pillow as a snow measuring device. Water Resources Research. 1967, 3: 405–408.
  24. Lobkina V.A., Kononov I.A., Potapov A.A. Remote monitoring of the snow loads on a roof of buildings. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2016, 2 (56): 246–252. doi: 10.15356/2076-6734-2016-2-246-252. [In Russian].
  25. Pichugin S.F. Statistical substantiation of snow load standards on building structures. *Sovremennye stroitel'nye konstrukcyi iz metalla i drevesiny*. Modern building structures made of metal and wood. Odessa. 2021, 25: 103–118. doi: 10.31650/2707-3068-2021-25-103-118. [In Russian].
  26. Muzychenko A.A., Lobkina V.A. The evaluation the snowiness winters on the example of the control area (South Sakhalin). *Vestnik Dal'nevostochnogo Otdeleniya Rossijskoj Akademii Nauk*. Vestnik of the Far East branch of the Russian Academy of Sciences. 2018, 6 (202): 115–121. doi: 10.25808/08697698.2018.202.6.013. [In Russian].
  27. Gumbel E. *Statistika ekstremal'nyh znachenij*. Statistics of extremes. Moscow: Mir, 1965: 450 p. [In Russian].
  28. GOST 27751–2014 *Nadezhnost' stroitel'nyh konstrukcij i osnovanij*. *Osnovnye polozheniya (Pereizdanie)*. State standard 27751–2014 Reliability of building structures and foundations. Basic Provisions (Reprint). <https://docs.cntd.ru/document/1200115736/>. [In Russian].
  29. <http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml>. Meteorological Archive of VNIIGMI-MCD.
  30. Maly V.I. On a particular attitude to snow load in the RF standards. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. Industrial and civil engineering. 2011, 8: 42–45. [In Russian].
  31. Nazarov Yu.P.; Zhuk Yu.N.; Simbirkin V.N.; Egorov M.I. Basmanny Market: Analysis of structural solutions and possible mechanisms of building fracture. *Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij*. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2007, 2: 49–55. [In Russian].
  32. <https://lenta.ru/articles/2006/01/29/roof/>. Lenta. News portal. [In Russian].