

## Система дистанционного мониторинга снеговой нагрузки на кровле зданий

© 2016 г. В.А. Лобкина<sup>1\*</sup>, И.А. Кононов<sup>1</sup>, А.А. Потапов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, Южно-Сахалинск;

<sup>2</sup>Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН, Южно-Сахалинск

<sup>1\*</sup>valentina-lobkina@rambler.ru

## Remote monitoring of the snow loads on a roof of buildings

V.A. Lobkina<sup>1\*</sup>, I.A. Kononov<sup>1</sup>, A.A. Potapov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Far East Geological Institute, Far East Branch of the RAS, Sakhalin Department, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia;

<sup>2</sup>Special Design Office of the Automation Device for Marine Research, Far East Branch of the RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>1\*</sup>valentina-lobkina@rambler.ru

Article accepted for publication on September 11, 2015

**Keywords:** *monitoring, snow accumulation, snow depth, snow load.*

### Summary

Obtaining actual data on a change in the value of snow load for a snowfall is an important task the solution of which is usually neglected. The purpose of the work was to obtain a data on dynamics of the snow load change on a roof for a snowfall. A system for remote monitoring of the snow load was developed for this purpose. This system allows continuous gathering and transmission of the data on the snow load change from a unit of area. Obtaining this information gives an indication of the size of snow loading and dynamics of the snow accumulation during snowfall. The developed system provides continuous collection and transmission of data about the changing snow load per unit area. This information makes possible judging values of the snow load and its dynamics during a snowfall. Using of this system allows monitoring of snow accumulation during a snowfall. Discreteness of the system is 1 minute, and the sensitivity to the load change is 50 g. The platform is designed for a load less than 100 kg. When a snowfall ends the platform should be cleaned. In 2015, the system has been just tested, but in future we plan to use the system without cleaning for the whole snow season. In this connection, the more powerful sensors will be used.

The system consists of a rectangular platform with an area of 1 m<sup>2</sup>, and it is equipped with four load cells «TOQUES» BBA at the corners. It was used for two months from late January to mid-March. In total, nine snowfalls were observed. In the winter season of 2014/15, increases of snow loads changed within the range of 10–100 kg/m<sup>2</sup>. Analysis of the data shows that the maximum snow load exerted on the roof takes place at a snowfall peak, after that it decreases under the influence of external factors. Three main factors influencing formation of the snow loads on a flat roof are as follows: the quantity of solid precipitation, the snow melting, and redistribution of snow by wind. Using of the system allows obtaining actual values of snow load on roofs of buildings instead of data calculated from the snow weight on the ground. These values can be then used to correct standards for the snow loads.

*Статья принята к печати 11 сентября 2015 г.*

**Ключевые слова:** *мониторинг, снеговая нагрузка, снегонакопление, толщина снежного покрова.*

Разработана система дистанционного мониторинга снеговой нагрузки на горизонтальную поверхность, которая представляет собой весовую платформу, оснащённую тензодатчиками и подключённую к подсистеме аналого-цифрового преобразования данных с передачей их на компьютер. Анализ данных, полученных на территории г. Южно-Сахалинск зимой 2014/15 г., показал, что максимальная нагрузка на поверхность кровли зданий во время снегопада может существенно превышать среднюю нагрузку, оценённую за весь сезон.

### Введение

Величина снеговой нагрузки — важная характеристика, учитываемая при проектировании зданий и сооружений в регионах с устойчивым снежным покровом. В настоящее время значительные снеговой нагрузки, используемое для проектирования, получается путём пересчёта снеговой нагрузки на грунт на основе максимальной

толщины и плотности снежного покрова [12], независимо от условий его формирования, и умножением полученной нагрузки на коэффициенты, описывающие переход к нагрузке на кровлю, уклон кровли, воздействие ветра [3, 4]. Умножение на данные коэффициенты уменьшает нагрузку, при этом не учитывается, что процессы, которые описываются уменьшающими коэффициентами, могут воздействовать

на снежный покров и на грунте: аналог уклона кровли – это естественный откос, аналог воздействия ветра – снегоперенос.

Анализируя случаи обрушения кровель на территории Российской Федерации [7, 13], можно сделать вывод, что основное число обрушений произошло не из-за их постепенного нагружения в течение зимы, а из-за резкого увеличения снеговой нагрузки за короткий промежуток времени – во время снегопада, когда снег не успевает равномерно распределиться по всей площади, что ведёт к обрушению кровли в результате критического увеличения нагрузки на её отдельные участки. Оценка прироста величины снеговой нагрузки на кровлю в течение снегопада может существенно повлиять на общее рассмотрение проблемы снегонакопления на кровле и на нормирование снеговой нагрузки. Однако данному вопросу обычно не уделяется должного внимания.

Цель работы – получить данные о динамике изменения снеговой нагрузки за снегопад. Для этого была разработана система дистанционного мониторинга снеговой нагрузки (далее – система). Разработанная система обеспечивает непрерывный сбор и передачу данных об изменении снеговой нагрузки на единицу площади. Такая информация позволяет судить о величине снеговой нагрузки и о динамике снегонакопления в течение снегопада. Подобная информация служит основой для научно-исследовательских и проектно-изыскательских работ в регионах, где влияние снежного покрова на хозяйственную деятельность имеет большое значение.

## Описание системы

Система представляет собой квадратную платформу площадью  $1 \text{ м}^2$  (рис. 1, а), оборудованную четырьмя тензодатчиками «ТОКВЕС» ВВА (рис. 2) по углам. Тензодатчик «ТОКВЕС» ВВА представляет собой балку, которая одним концом фиксируется неподвижно, а на другой конец прикладывается сила. Чувствительный элемент закрыт защитным кожухом в виде силфона. Датчики имеют высокую точность и высокий класс защиты от влаги. Тензодатчики подключены к суммирующей коробке (см. рис. 1, б), в которой на основе значений нагрузки, полученных с датчиков, рассчитывается фактическая масса снега. Суммирующая коробка подключена к весовому индикатору «ТОКВЕС» SH-50 (см. рис. 1, в), через который выполняются предварительная настройка и калибровка весов. После настройки значение текущей массы с суммирующей коробки приходит на индикатор и отображается на электронном табло. Весовой индикатор оснащён интерфейсом RS485, позволяющим передавать данные на другие устройства, в том числе и на персональный компьютер по протоколу Modbus. В нашем случае было необходимо записывать данные на электронный носитель в режиме реального времени, поэтому весовой индикатор был подключён к персональному компьютеру. Для связи с компьютером в описываемой системе использовался конвертер «Bolid» USB-RS485 (см. рис. 1, г).

Авторы также разработали программу на языке C#, принимающую данные с USB-порта,



**Рис. 1.** Схема системы дистанционного мониторинга снеговой нагрузки (а–г – см. текст)

**Fig. 1.** Scheme of the system of snow load remote monitoring (a–g – see Text)



**Рис. 2.** Тензодатчик «ТОКВЕС» ВВА, используемый в системе

**Fig. 2.** The strain gages «ТОКВЕС» ВВА, used in the system

подключённого к индикатору, и сохраняющую их в удобном для дальнейшей работы формате (в формате «.xls»). Данные принимаются с дискретностью в 1 минуту, чувствительность к изменению нагрузки составляет 50 грамм. Платформа рассчитана на нагрузку, не превышающую 100 кгс/м<sup>2</sup>. После снегопада платформа нуждается в расчистке. В 2015 г. система была запущена в тестовом режиме, в дальнейшем планируется работа системы без расчистки в течение всего периода залегания снежного покрова, поэтому планируется использовать датчики, рассчитанные на большую нагрузку.

### Результаты наблюдений

В январе 2015 г. проведено тестирование системы на территории г. Южно-Сахалинск. Платформа была установлена на плоской крыше трёхэтажного здания. Площадь кровли – 3570 м<sup>2</sup>, ориентация крыши – С–Ю ( господствующее направление ветров во время метелей). Весовой индикатор и система приёма и обработки данных устанавливались в помещении. Проверялась возможность получения данных об изменении величины прироста снеговой нагрузки во время снегопада.

По метеорологическим условиям зимний сезон 2014/15 г. можно характеризовать как нетипичный для Южно-Сахалинска. В течение периода наблюдений были оттепели, дожди, а также смешанные виды осадков, к воздействию которых система не была подготовлена. Сумма среднемесячных температур за холодный пери-

од по ГМС Южно-Сахалинск в среднем равна –34 °С, а зимой этого года составила –24 °С. Устойчивые морозы в Южно-Сахалинске установились к 22 декабря 2014 г., продолжительность периода составила 94 суток, окончание пришлось на 7 марта 2015 г. Продолжительность периода отличается от среднемноголетних значений на 9% [5, 6]. На фоне устойчивых морозов наблюдались оттепели, при которых температура воздуха днем повышалась от 0 до +2,7 °С. В среднем за зиму было 17 дней с повышением температуры более 0 °С, из которых 12 дней пришлось на период работы системы.

За период работы системы согласно данным ГМС Южно-Сахалинск выпало 64,7 мм осадков при средней температуре –3,9 °С. Снегопады чаще всего отмечались при северных ветрах (75%) и средней скорости ветра 4–5 м/с. Переход среднесуточной температуры воздуха через 0 °С пришёлся на третью декаду марта. Наши наблюдения проводились во второй половине периода с устойчивыми морозами, что связано с подготовкой системы к работе. Период работы системы – два месяца (с конца января до середины марта). За данный период были отслежены девять снегопадов.

По данным, получаемым от системы, строились графики изменения нагрузки за снегопад. На рис. 3 показаны данные за шесть снегопадов, прирост нагрузки по снегопадам изменялся от 10 до 100 кгс/м<sup>2</sup>. Максимальный прирост снеговой нагрузки показан на рис. 3, б (три явления). Первый снегопад был в период с 27 по 28 февраля с приростом нагрузки до 42 кг, второй – с 1 по 2 марта с приростом до 53 кг, третий – 3 марта с приростом 37 кг. Снегопады следовали один за другим с небольшими перерывами (около 8–12 часов), во время которых часть накопленного снега сносило с платформы. Общая максимальная нагрузка за все три снегопада, с учётом уменьшения нагрузки во время перерывов, составила более 100 кгс/м<sup>2</sup>. Все зафиксированные снегопады имеют интенсивность ниже средней, которая по многолетним данным в Южно-Сахалинске составляет 0,98 см/ч. Наибольшая интенсивность снегопада, зарегистрированная в Южно-Сахалинске, – 9,0 см/ч во время снегопада 5–6 марта 1969 г., когда за 6 часов 15 минут выпало 57 см снега [6].

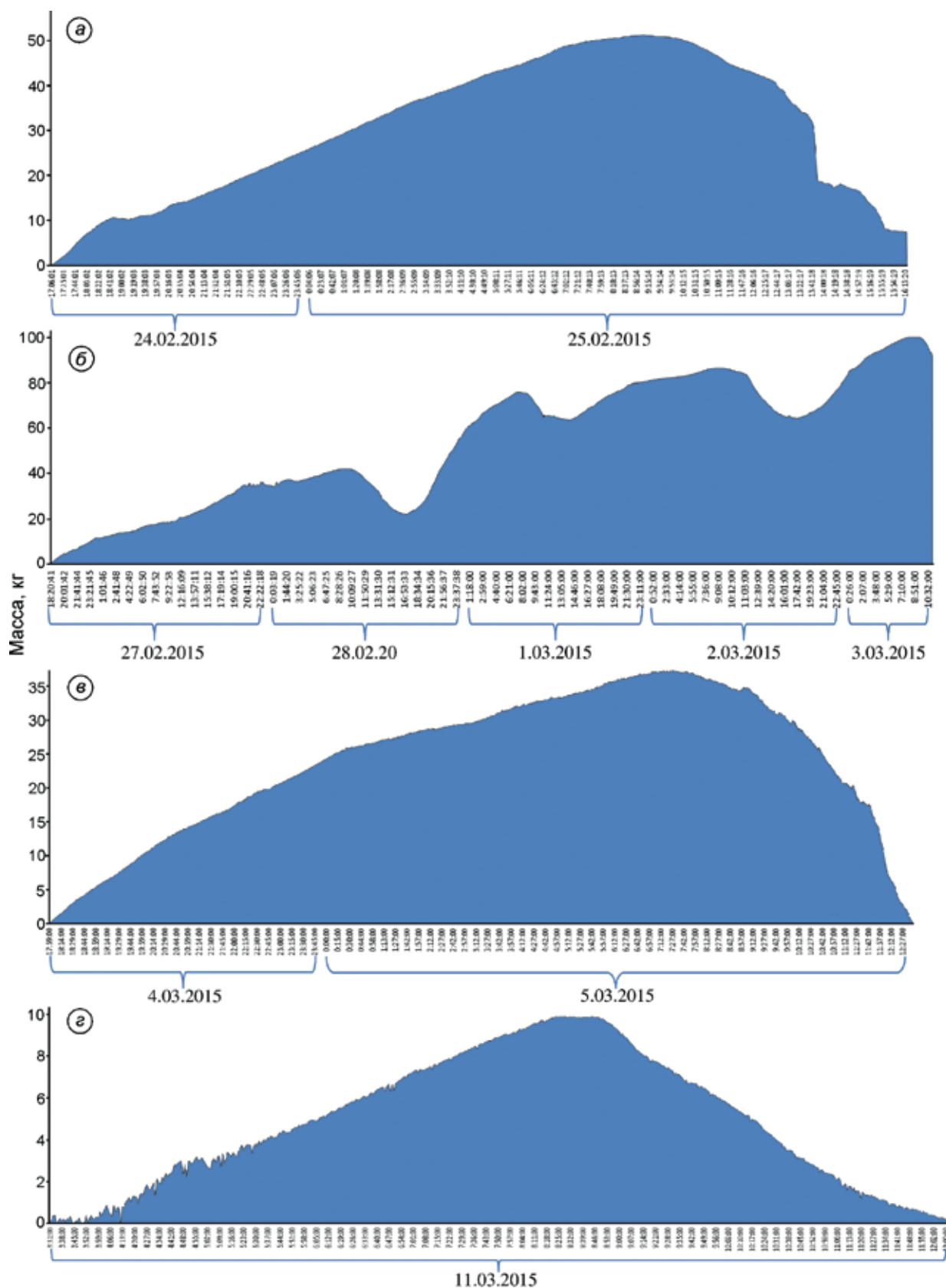


Рис. 3. Графики прироста снега за зарегистрированные системой снегопады  
 Fig. 3. Dynamics of snow load changes over snowfalls registered by the system

### Обсуждение результатов

Накопление снега на кровле существенно отличается от его накопления на грунте, так как конструктивные особенности здания, форма кровли, высотность, теплотехнические свойства и другие параметры меняют характер отложения снега. Рассмотрим основные факторы, определяющие снеговую нагрузку на кровлю, с которыми пришлось столкнуться при проведении эксперимента.

Прежде всего, как и на грунте, величина снеговой нагрузки будет зависеть от *количества выпадающих в зимний сезон твёрдых осадков*. Величина снеговой нагрузки на грунт в зимний сезон 2014/15 г. составляла  $300 \text{ кгс/м}^2$  [8], т.е. 50% снеговой нагрузки, рассчитанной для регионального норматива [1] Южно-Сахалинска, равной  $600 \text{ кгс/м}^2$ . К сожалению, в период работы системы не было снегопадов с большой интенсивностью выпадения осадков, которые ежегодно возможны на территории Южно-Сахалинска. Зарегистрированные снегопады, несмотря на свою небольшую интенсивность, интересны для исследования не только в связи с приростом нагрузки во время этих явлений до  $100 \text{ кгс/м}^2$ , но и как первые снегопады, по которым получена временная изменчивость увеличения снеговой нагрузки.

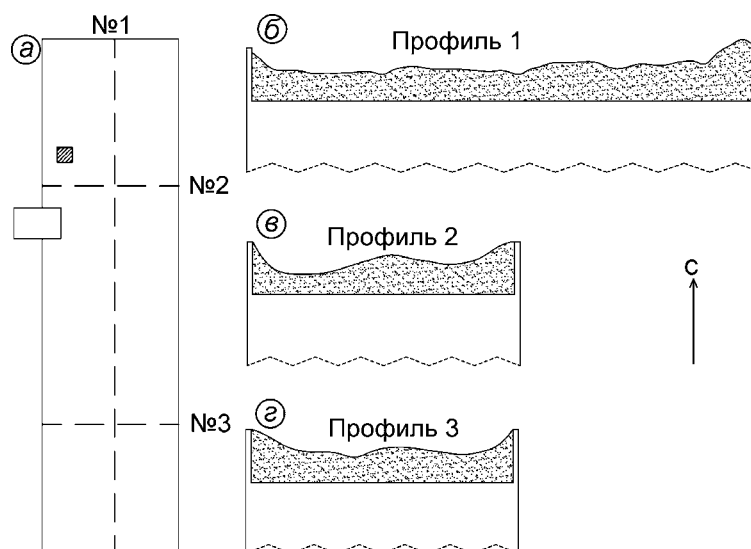
Следующий фактор – *таяние снега* на кровле, уменьшающее снеговую нагрузку. На обычной утеплённой кровле над отапливаемым зданием, на которой и тестировалась система, активного тепловыделения нет, и покрытие кровли имеет температуру, приближённую к температуре окружающей среды. В зимний период при отсутствии снега на кровле нулевая изотерма здания находится в толще кровли. Однако при накоплении достаточного количества снега на кровле нулевая изотерма перемещается в контактную зону «покрытие кровли – снег», так как слой снега создаёт дополнительную теплоизоляцию [2, 9, 15]. Такое же явление наблюдается и при изучении температуры снега, отложенного на грунте. В течение большего периода залегания глубокого снежного покрова температура на контакте «почва–снег» будет держаться около  $0^\circ \text{C}$  [10, 11, 14].

В период тестирования системы наблюдалось таяние снега в зоне контакта «покрытие

кровли – снег». Толщина слоя снега, из которого шла водоотдача, из-за устойчивой нулевой температуры изменялась от 0,5 до 2,5 см. Однако именно этот слой наиболее сильно реагировал на общее понижение среднесуточной температуры. Когда здание в ночной период начинало активно остывать, это приводило к перемещению нулевой изотермы ниже уровня кровли, в результате чего слой снега, из которого шла водоотдача, смерзлся, превращаясь в режеляционную корку, пусть и не имеющую сплошного залегания по всей площади кровли. Данное явление сказывалось на работе системы. При отсутствии снегопада величина нагрузки начинала расти за счёт смерзания снега вокруг платформы, поэтому платформу пришлось поднять и завесить её края, чтобы избежать ошибки при получении данных во время снегопадов.

Последний из рассматриваемых факторов – *перераспределение снега на покрытии кровли под влиянием ветра* [4, 15] – основной фактор, определяющий неравномерное распределение снеговой нагрузки по площади кровли. Мы постарались снизить влияние этого фактора на первом этапе запуска системы, разместив её на плоской крыше, имеющей ориентацию под преобладающее направление ветров во время метелей. Считается, что на кровле, имеющей плоский профиль, снег распределяется равномерно и после заполнения объёма кровли внутри бортов не задерживается. Частично данный тезис подтверждается нашими наблюдениями.

Снегосъёмки, проводившиеся на кровле, где была установлена система, показали незначительный перепад толщины снега по профилю кровли (рис. 4). Максимальная разница в толщине снега по профилю за период наблюдения на профиле 1 составила 46 см, на профиле 2 – 36 см, на профиле 3 – 31 см. Однако перенос снега ветром и ссыпание имеют на плоском покрытии большее значение, чем предполагается. Действительно, после заполнения объёма кровли внутри бортов, снег, выпадающий во время слабо и умеренно интенсивных снегопадов, почти не задерживается на кровле. Сдувается этот снег и с принимающей платформы, которая до определённого момента фиксирует изменение снеговой нагрузки, а при увеличении скорости ветра и/или уменьшении интенсивности осадков показывает снижение значения градиента нагрузки.



**Рис. 4.** Схема расположения платформы и снегомерных профилей на крыше. 2 февраля 2015 г.  
 Масштаб горизонтальный  $a, б$  – 1:1000; масштаб горизонтальный  $в, г$  – 1:500; масштаб вертикальный  $б-г$  – 1:50  
**Fig. 4.** The scheme of arrangement of platforms and snow profiles on the roof. Date 02.02.2015.  
 The horizontal scale  $a, б$  – 1:1000; the horizontal scale  $в, г$  – 1:500; the vertical scale  $б-г$  – 1:50

Вместе с тем при увеличении интенсивности снегопада происходит накопление снега независимо от внешних условий. Результаты, полученные по таким снегопадам, представлены здесь ранее. Ввиду обособленности кровли сальтация с прилегающей территории отсутствует и под воздействием описанных факторов свежес выпавший снег сдувался с кровли после прекращения снегопада. В первые часы после окончания снегопада картина роста нагрузки, показываемая системой, подтверждалась натурными наблюдениями, а через 1–2 суток свежес выпавший снег почти полностью отсутствовал как на платформе, так и на остальной части кровли. Это приводит к выводу, что основная снеговая нагрузка и её максимальная величина, как минимум в отношении плоской кровли, приходится на пик наиболее интенсивных снегопадов, а дальнейшие процессы, протекающие на поверхности кровли, приводят к перераспределению снега и снижению нагрузки на конструкцию.

Изучив зафиксированные системой приросты величины снеговой нагрузки во время относительно слабых для территории Южно-Сахалинска снегопадов получаем прирост величины снеговой нагрузки до  $100 \text{ кгс/м}^2$ . Не следует забывать и о массе снега, заполнившей объём кровли внутри бортов. Измеренная величина снеговой нагрузки, действующей

на несущие конструкции здания, на котором происходило тестирование системы, составила  $100 \text{ кгс/м}^2$  без учёта влияния снегопадов, т.е. дополнительная нагрузка, зафиксированная системой во время снегопадов, накладывается на  $100 \text{ кгс/м}^2$ , действующих на несущую конструкцию постоянно после заполнения объёма кровли внутри бортов.

### Заключение

Разработана система дистанционного мониторинга снеговой нагрузки, позволяющая получить данные о динамике снегонакопления во время снегопада и показывающая фактическую величину снеговой нагрузки от снега, накопленного на  $1 \text{ м}^2$  кровли здания. Данная система расширяет список приборов, применяемых для исследования снежного покрова. В ходе исследования впервые получены сведения о приросте величины снеговой нагрузки во время снегопадов. Зафиксированные системой приросты снеговой нагрузки в зимний сезон 2014/15 г. изменяются от 10 до  $100 \text{ кгс/м}^2$ . Анализ полученных данных показывает, что максимальная снеговая нагрузка, оказываемая на кровлю, приходится на пик снегопада. Далее нагрузка снижается под воздействием внешних факторов.

Выявлены три основных фактора, влияющих на формирование снеговой нагрузки на плоской кровле: количество выпадающих твёрдых осадков, таяние снега, перераспределение снега ветром. Применение разработанной системы позволяет получить фактическое значение снеговой нагрузки на кровле зданий, а не расчётное из массы снега на грунте. Полученное фактическое значение может быть использовано для корректировки нормативов по снеговым нагрузкам.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность своим коллегам: Н.А. Казакову, Ю.В. Генсиоровскому, В.С. Павлову (Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН), а также А.Е. Малашенко (Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН) за помощь в организации наблюдений и ценные советы на всех этапах реализации проекта.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства Сахалинской области от 27.04.2015 № 186-р.

### Литература

1. Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А., Жируев С.П., Окопный В.И., Лобкина В.А. Определение снеговых нагрузок на сооружения при проведении инженерных изысканий: разработка региональных нормативных документов по снеговым нагрузкам (на примере Сахалинской области) // Геориск. 2011. № 3. С. 14–20.
2. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. М.: ИАСВ, 2007. 476 с.
3. Грудев И.Д., Филиппов В.В., Корнилов Т.А., Рыков А.В. Определение нормативных и расчетных значений снеговых нагрузок // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 4. С. 10–12.
4. Заварина М.В. Строительная климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 312 с.
5. Земцова А.И. Климат Сахалина. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 198 с.
6. Климат Южно-Сахалинска / Ред. Ц.А. Швер, Д.Ф. Лазарева. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 256 с.
7. Лобкина В.А. Ущерб от снеговых нагрузок в Российской Федерации. Причины и последствия // Геориск. 2012. № 1. С. 50–53.
8. Лобкина В.А. Расчет и картирование снеговой нагрузки на поверхность земли // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX. № 1. С. 106–113.
9. Окулов П.Д. Анализ совместного воздействия нагрузок от подвесных кранов и снега на металлические конструкции покрытия промышленных зданий: Автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук. М.: МИСИ, 1984. 17 с.
10. Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В., Жидков В.А. Влияние параметров снега на температурный режим снежной толщи при внутрисуточных колебаниях температуры воздуха // МГИ. 2001. № 91. С. 71–74.
11. Самойлюк В.И. Распределение температуры в снежной толще // МГИ. 1988. № 63. С. 145–149.
12. СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия». Актуализированная редакция СНиП 2.01.07–85\*. М.: изд. ОАО «ЦПП», 2011. 94 с.
13. Филиппов В.В., Копылов А.Т., Корнилов Т.А., Рыков А.В., Гаврилова М.К. Снеговые нагрузки на покрытиях зданий в условиях Севера (на примере Якутии). М.: Наука, 2000. 246 с.
14. Чернов Р.А. Влияние температурного режима снежной толщи на образование горизонтов разрыхления // МГИ. 2003. № 94. С. 100–103.
15. Gray D.M., Male D.H. Handbook of Snow: Principles, Processes, Management and Use. Canada, Toronto: Pergamon Press, 1981. 776 p.