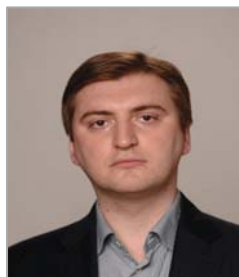


СПОСОБ МОНИТОРИНГА СНЕГОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПОКРЫТИИ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ



Зайкова Ксения Андреевна

Студентка кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости, Институт архитектуры и строительства, Уральский федеральный университет



Фомин Никита Игоревич

Старший преподаватель кафедры промышленного, гражданского строительства и экспертизы недвижимости Института архитектуры и строительства, Уральский федеральный университет

Аннотация. Во всем мире набирает популярность применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных сферах жизнедеятельности, сфера строительства не является исключением. В статье предложен новый способ мониторинга снеговой нагрузки с применением БПЛА, позволяющий оперативно предупреждать возникновение сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытии здания в целом и его отдельных участках

Ключевые слова: БПЛА, строительство, снеговая нагрузка, мониторинг, аэрофотосъемка

Abstract. The using of unmanned aerial vehicles (UAVs) in various spheres of life is gaining popularity around the world, the construction sector is no exception. The article proposes a new method for monitoring snow load using UAVs, which allows you to quickly prevent the occurrence of excess snow load on the building. The final result of the study is a patent application for an invention.

Keyword: UAVs, construction, snow load, monitoring, aerial photography

Введение

В настоящий момент при проектировании зданий и сооружений, расположенных на территории Российской Федерации, основным нормативным документом, регламентирующим назначение нагрузок и воздействий на здание, является свод правил СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия», [1]. Требования действующего СП 20.13330.2016 были увеличены (по сравнению с предыдущими версиями), в частности:

- произведена корректировка территориального районирования по весу снежного покрова в сторону повышения снегового района;
- принято увеличение нормативного значения веса снежного покрова

В связи с этим, многие здания и сооружения, проектирование которых осуществлялось с учетом пониженных значений веса снежного покрова, требует контроля снеговой нагрузки на покрытии.

Кроме того, в России увеличивается количество случаев обрушений покрытий промышленных и общественных зданий (см. Фиг.1) в основном из-за нарушений правил эксплуатации кровли, в том числе под влиянием технологических факторов (увлажнение снега, локальные скопления снега при уборке), что влечет превышение предельной снеговой нагрузки.

Так в Екатеринбурге в 2016 году обрушилась кровля производственного здания машиностроительного завода имени М.И. Калинина, причиной обрушения стал снег, скопившийся после обильного снегопада. В результате обрушения погибли 4 человека и 14 человек пострадали, [2]. Основной причиной подобных инцидентов является нарушение правил эксплуатации кровли, а именно несвоевременное очищение кровли от снега. По различным причинам служба эксплуатации здания допускает накопление снежного покрова на кровле зданий, вследствие этого, его суммарный вес превышает предельную

Таблица 1

Пример увеличения веса
снежного покрова в г. Екатеринбурге

Нормативный документ	Вес снежного покрова
СП 20.13330.2011	180
СП 20.13330.2016	210

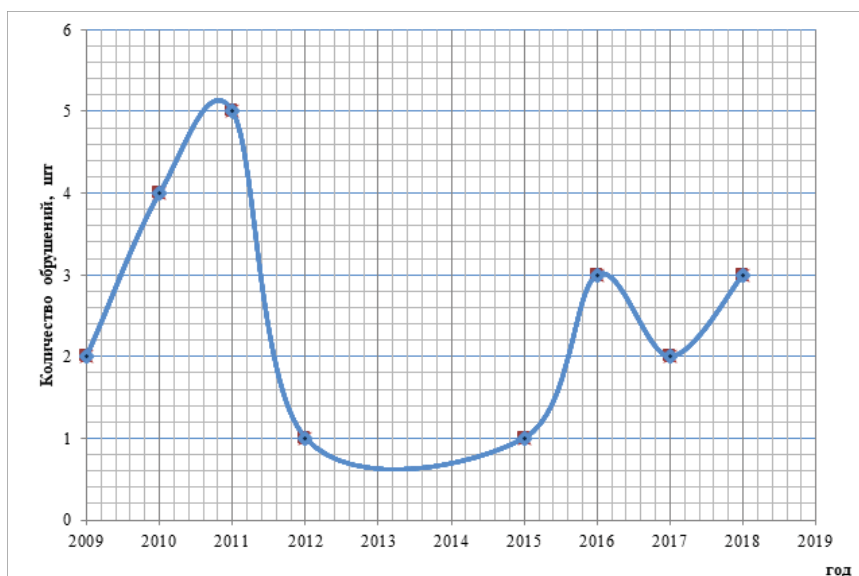


Рис. 1. Количество обрушений покрытий промышленных и общественных зданий в зимний период из-за различных технологических факторов, в том числе, из-за превышения предельной снеговой нагрузки на покрытия в России за 2009–2018 г [2]

снеговую нагрузку и происходит потеря несущей способности конструкций покрытия.

В связи с этим возникает необходимость непрерывного дистанционного мониторинга веса снежного покрова на кровле зданий, позволяющего своевременно отслеживать критическую снеговую нагрузку на кровле. Для создания подобного мониторинга перспективно применение БПЛА, таким образом, представляется возможным определение веса снежного покрова (и других его параметров) дистанционно, исключая непосредственное пребывание людей на покрытии здания (в целях обеспечения безопасности работ).

В данной статье будут рассмотрен способ мониторинга снеговой нагрузки с применением БПЛА, позволяющий оперативно предупреждать возникновение сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытии здания в целом и его отдельных участках.

Цели и задачи исследования

Цель исследования – разработка способа дистанционного мониторинга веса снежного покрова (снеговой нагрузки) на покрытии зданий с использованием беспилотных летательных аппаратов, позволяющего оперативно предупреждать возникновение сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытии здания в целом и его отдельных участках

Для решения вышеуказанной цели можно сформулировать следующий список задач, требующих разработки:

Задачи исследования:

- изучить имеющиеся отечественные и зарубежные методики определения веса снежного покрова на покрытии здания;
- разработать дистанционный метод определения плотности снежного покрова s с учетом его слоистой структуры с использованием БПЛА;

- разработать способ создания карты пространственного распределения веса снежного покрова на покрытии здания.
- сформулировать рекомендации по применению карты пространственного распределения веса снежного покрова на кровле здания

Технология осуществления способа мониторинга снеговой нагрузки на покрытии зданий с применением БПЛА

Предлагаемый способ относится к области строительства, и может быть использован при оценке снеговой нагрузки на покрытии здания в целом и его отдельных участках для оперативного предупреждения возникновения сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытии здания в целом и его отдельных участках.

Технология осуществления способа мониторинга снеговой нагрузки на покрытии зданий с применением БПЛА включает несколько этапов:

1 этап: предварительно размечают сеть контрольных точек так, чтобы площадь каждого участка покрытия, содержащего контрольную точку не превышала 5 м^2

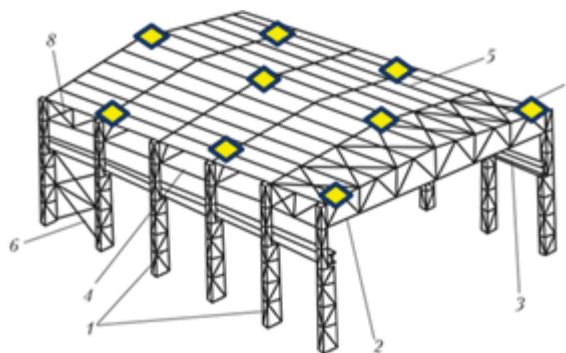


Рис. 2. Сеть контрольных точек

2 этап: выполняют аэрофотосъемку покрытия здания при отсутствии снежного покрова с применением БПЛА, оборудованного камерой, и определяют высотные отметки H контрольных точек на поверхности покрытия.

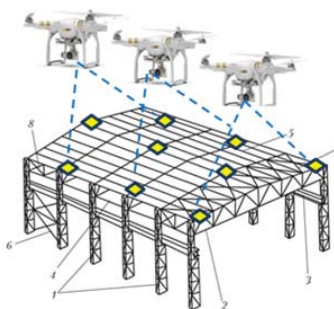


Рис. 3. Проведение аэрофотосъемки при отсутствии снежного покрова

3 этап: для каждого участка покрытия, содержащего контрольную точку, определяют расчетную предельную величину снеговой нагрузки $P_s \text{ ult}$ в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

4 этап: после каждого выпадения атмосферных осадков в виде снега выполняют аэрофотосъемку покрытия здания при наличии на нем снежного покрова с применением БПЛА, оборудованного камерой, и определяют высотные отметки H_s контрольных точек.



Рис. 4. Проведение аэрофотосъемки при наличии снежного покрова

5 этап: после находят среднюю высоту снежного покрова на участке покрытия, содержащего контрольную точку, h_s по формуле 1.

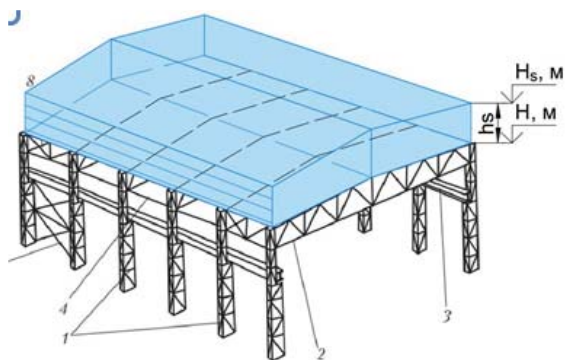


Рис. 5. Определение средней высоты снежного покрова

$$h_s = H_s - H,$$

где H_s – высотная отметка контрольной точки поверхности покрытия при наличии на нем снежного покрова, м;

H – высотная отметка контрольной точки поверхности покрытия при отсутствии на нем снежного покрова, м.

6 этап: по известным физическим моделям, в зависимости от температуры воздуха определяют среднюю расчетную плотность снега s с учетом его слоистой структуры для соответствующего участка покрытия

7 этап: обрабатывают полученные данные и находят среднюю величину расчетной снеговой нагрузки P_s на участке покрытия, содержащего контрольную точку по формуле 2.

$$P_s = s \cdot h_s \cdot g,$$

где P_s – средняя величина расчетной снеговой нагрузки на участке покрытия, $\text{H}/\text{м}^2$;

h_s – средняя высота снежного покрова на участке покрытия, м;

s – средняя расчетная плотность снега с учетом его слоистой структуры на участке покрытия, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – ускорение свободного падения тела.

8 этап: полученное значение P_s сравнивают с расчетной предельной величиной снеговой нагрузки на участке покрытия $P_s \text{ ult}$. При выполнении условия $0,9 P_s \text{ ult} \leq P_s \leq P_s \text{ ult}$ на соответствующем участке покрытия принимают предкритическое состояние, предшествующее моменту возникновения сверхнормативной снеговой нагрузки. В этом случае принимают решение по очистке обнаруженного участка покрытия от снежного покрова с целью предотвращения истощения несущей способности его несущих конструкций и, как следствие, его обрушения.

Данные, полученные в вышеприведенных этапах, обрабатывают автоматически, что позволит создать карту пространственного распределения снеговой нагрузки на покрытии.

Сотрудники службы эксплуатации здания, используя карту, смогут получать актуальную информацию по распределению снеговой нагрузки на кровле и своевременно принимать решения по очистке кровли от снега, не допуская обрушения покрытий зданий.

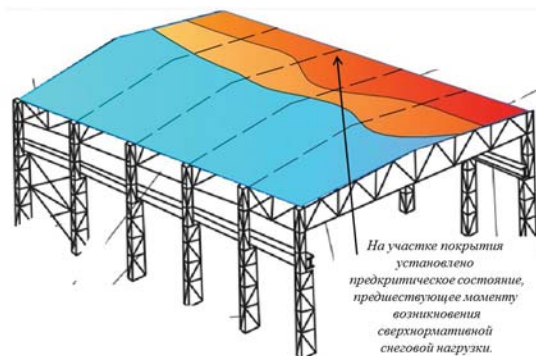


Рис. 6. Карта пространственного распределения снеговой нагрузки на покрытии

Результат данного исследования, а также обоснование новизны разработанного способа изложены в материалах заявки на патент на изобретение [3], которая проходит экспертизу по существу в Федеральном институте промышленной собственности.

Коммерчески и практическая значимость

Предлагаемый способ относится к области строительства, и может быть использован при оценке снеговой нагрузки на покрытия здания в целом и его отдельных участках для оперативного предупреждения возникновения сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытия здания в целом и его отдельных участках.

Социальная значимость: основное преимущество – предупредить ситуацию возникновения сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытия и предупредить обрушение конструкций покрытий, в связи с этим обеспечить безопасное пребывание людей в здании; исключить «работы на высоте» по определению снеговой нагрузки на покрытия.

Коммерческая значимость: для оценки экономического эффекта достаточно сравнить стоимость комплекта оборудования для осуществления заявленного способа со стоимостью последствий обрушения покрытия конструкций площадью 100м².

Таблица 2

Предполагаемая стоимость 1 комплекта оборудования для осуществления заявленного способа

№	Составляющие комплекта	Стоимость, руб.
1	Квадрокоптер, оборудованный камерой	100 000,00
2	Программное обеспечение, включая ПК	100 000,00
Всего:		200 000,00

Таблица 3

Оценочная стоимость последствий обрушений покрытия производственных зданий площадью 100 м²

№	Вид затрат при обрушении покрытия
1	Работы по восстановлению конструкций
2	Стоимость металлоконструкций покрытия
3	Стоимость строительных материалов кровельного покрытия
4	Убытки от остановки производства
5	Исправление повреждений технологического оборудования
6	Примерная стоимость всех затрат: ~4,5-5,0 млн. руб.

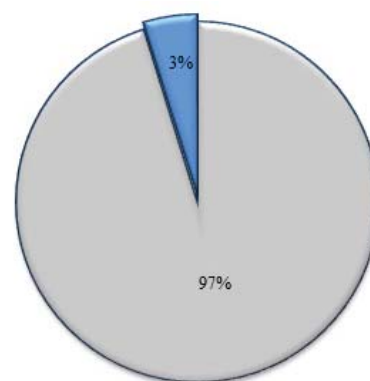


Рис. 7. Диаграмма распределения стоимости осуществления заявленного способа и стоимости последствия обрушения покрытия

3% – стоимость осуществления заявленного способа

97% – стоимость последствия обрушения покрытия

Вывод: стоимость заявленного способа по предупреждению возникновения сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытия, как следствие, предотвращения обрушений покрытия во много раз дешевле стоимости последствий его обрушения.

Заключение

Технический результат заявленного способа заключается в том, что осуществление мониторинга снеговой нагрузки на покрытия зданий с применением БПЛА по заявленному способу позволяет с высокой точностью предупредить ситуацию возникновения сверхнормативной снеговой нагрузки на покрытия здания в целом и его отдельных участках, в результате дистанционного замера параметров для определения средней расчетной величины снеговой нагрузки на покрытия с учетом слоистой структуры снега.

Применение данного способа актуально для зданий на значительной территории Российской Федерации, в частности на тех территориях, где преобладает выпадение большого количества атмосферных осадков в виде снега, в том числе для зданий, в результате обследования которых, было установлено ограничение снеговой нагрузки на покрытия.

Список литературы

- СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия».
- Случаи обрушения кровли на предприятиях в России в 2011–2018 годах // РИА Новости. URL: <https://ria.ru/20181217/1548097241.html> (дата обращения: 27.01.2020).
- Заявка на патент РФ на изобретение № 2019121248 от 08.07.2019. Способ мониторинга снеговой нагрузки на покрытия зданий с применением БПЛА / К.А. Заикова, Н.И. Фомин, К.В. Бернгардт, М.А. Протасова; заявл. 08.07.2019.