

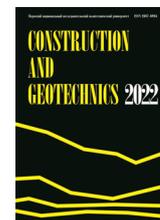


**пермский
политех**

CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 4, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.4.05

УДК 692.4: 536.331; 536.24.08

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АНТИОБЛЕДЕНИТЕЛЬНЫХ КАРНИЗАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭНЕРГИЮ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.М. Мырзина, К.В. Озерова, О.М. Зверев, А.В. Перминов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 23 августа 2022

Одобрена: 01 ноября 2022

Принята к публикации:

15 ноября 2022

Ключевые слова:

крыша, сосульки, солнечное излучение, антиобледенительное устройство, антиобледенительный карниз.

АННОТАЦИЯ

Удаление сосулек с крыш зданий – это важнейшая проблема для большинства городов. В работе дан обзор большого количества запатентованных способов и устройств для борьбы с сосульками и наледями на карнизах крыш. Однако реально изготовленных и испытанных изделий очень мало. Целью работы были испытания экспериментальных образцов антиобледенительных карнизов, использующих энергию солнечного излучения в искусственно созданных условиях. Для проведения теплофизических экспериментов было изготовлено более 30 моделей карнизов из разных материалов с различными лакокрасочными покрытиями. В ходе экспериментов установлено, что наибольшей поглощательной способностью обладает черный цвет RAL 9005, очень близок к нему серый графит RAL 7074. Меньшая поглощательная способность у синего RAL 5005 и зеленого цветов RAL 6029. У красного RAL 3000 поглощательная способность заметно ниже, чем у синего и зеленого. Меньше всего на солнце нагревались модель карниза белого цвета RAL 9003 и оцинкованная сталь. Зависимость поглощательной способности карнизов от степени их шероховатости и способа нанесения лакокрасочного покрытия не обнаружена. За счет энергии солнечного излучения антиобледенительные карнизы могут иметь температуру на 40–45 °С выше температуры окружающего воздуха. Даже в тени температура черных карнизов превышает температуру окружающего воздуха на 4–5 °С. Ветер, дующий со средней скоростью 2,5 м/с, примерно в два раза снижает разность температур между экспериментальными карнизами и воздухом в тени. Наличие стреч-пленки на той части карниза, которая будет помещена под кровлю, позволяет сократить теплопотери в полтора-два раза.

© ПНИПУ

© **Мырзина Софья Михайловна** – студент, e-mail: mirzina.sofi@yandex.ru

Озерова Ксения Викторовна – студент, e-mail: ksenyaozerowa2016@yandex.ru

Зверев Олег Михайлович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: ckko-smt2@pstu.ru

Перминов Анатолий Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, e-mail: perminov1973@mail.ru

Sof'ya M. Myrzina – Student, e-mail: mirzina.sofi@yandex.ru

Kseniya V. Ozerova – Student, e-mail: ksenyaozerowa2016@yandex.ru

Oleg M. Zverev – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ckko-smt2@pstu.ru

Anatoliy V. Perminov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, e-mail: perminov1973@mail.ru

EXPERIMENTAL MODELING OF THERMOPHYSICAL PROCESSES ON DE-ICING CORNICES USING SOLAR RADIATION ENERGY

S.M. Myrzina, K.V. Ozerova, O.M. Zverev, A.V. Perminov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 23 August 2022
Approved: 01 November 2022
Accepted for publication:
15 November 2022

Keywords:

roof, icicles solar radiation, anti-icing device, anti-icing cornice.

ABSTRACT

Removing icicles from the roofs of buildings is a major problem for most cities. The paper provides an overview of a large number of patented methods and devices for combating icicles and ice on the eaves of roofs. However, there are very few really manufactured and tested products. The aim of the work was to test experimental samples of anti-icing cornices using solar radiation energy in artificially created conditions. For thermophysical experiments, more than 30 models of cornices were made from different materials with different paint coatings. During the experiments, it was found that the black color RAL 9005 has the greatest absorption capacity, and the gray graphite RAL 7074 is very close to it. The blue RAL 5005 and green RAL 6029 have a lower absorption capacity. The red RAL 3000 has a noticeably lower absorption capacity than blue and green. The least heated in the sun was the white RAL 9003 cornice model and galvanized steel. The dependence of the absorption capacity of cornices on the degree of their roughness and the method of applying the paint coating is not revealed. Due to the energy of solar radiation, anti-icing cornices can have a temperature 40–45 °C above the ambient temperature. Even in the shade, the temperature of the black cornices exceeds the ambient temperature by 4–5 °C. The wind blowing at an average speed of 2.5 m/s reduces the temperature difference between the experimental cornices and the air in the shade by about 2 times. The presence of a stretch film on the part of the cornice that will be placed under the roof allows you to reduce heat loss by one and a half to two times.

© PNRPU

Введение

Большую часть года на значительной территории России присутствует снежный покров. Одним из самых опасных явлений в зимне-весенний период для жителей городов являются сосульки. При их падении могут пострадать не только люди, но и выступающие элементы фасада дома, крыши пристроек, тротуары и припаркованные автомобили. Удаление сосулек – это важнейшая проблема для большинства городов. Существует множество фирм, предлагающих услуги по очистке кровли от снега и льда традиционным способом, с помощью ломов и лопат. Однако этот способ дорогостоящий для владельцев зданий, так как должен выполняться исключительно профессиональными высотниками и промышленными альпинистами.

Обзор технологий

Методы борьбы с сосульками можно условно разделить на два: профилактический, его целью является не допустить образования сосулек и реальный – сбивать их, срезать, ломать, плавить и даже расстреливать.

Способы и устройства, используемые в реальном методе, разделяют на стационарные и передвижные, а по типу воздействия – на механические (разрушающие) и тепловые. Электроимпульсный и ультразвуковой способы воздействия можно отнести к механическому типу, а лазер, если он плавит, – к тепловому воздействию, если работает импульсно, нанося тепловой удар, – к разрушающему типу.

Стационарные устройства механического действия, рассмотренные в работах [1–3], должны срезать сосульки «скалывающими элементами» или «элементами сбивания», закрепленными на каретке, движущейся вдоль карниза. К недостаткам данных устройств относится сложность конструкции и ограничение по размеру и положению сосул (они должны быть небольшими и расположены приблизительно на одном расстоянии от стены).

Большинство устройств и приспособлений, крепящихся к стенам или карнизам, предполагают не срезание, а обламывание сосул, так, например, сломать лед можно, просто постучав по нему уголком. Схема такого устройства представлена в [4]. Избавиться от сосул можно, подергав за веревку или покрутив трос «сосулеломов карнизных» [5, 6]. Но это слишком просто. Гораздо интереснее «ударять по отложениям льда инденторами с прикрепленными индукторами, использующими магнитное поле импульсных токов» [7].

В последнее время авторы изобретений все чаще используют вибрации для удаления сосул [8, 9]. Источником вибраций может быть двигатель с эксцентриком [10, 11] или «прикрепленный к упругому элементу сдвоенный ультразвуковой пьезопреобразователь» [12]. Описанные выше устройства либо очень сложные при изготовлении (значит, дорогие), либо своим видом заведомо испортят фасад здания.

Рассмотрим стационарные устройства теплового воздействия. Можно взять лист мягкого металла с расположенным на нем нагревателем, покрытым изоляционным слоем, и обернуть им кромку свеса крыши [13]. Для того чтобы пленочный электронагреватель служил дольше, его можно разместить с внутренней стороны карнизного свеса [14]. Для уменьшения теплопотерь снизу нагревательного кабеля можно разместить теплоизоляционную пленку, а сверху для равномерного нагрева металлическую сетку [15]. Главный недостаток устройств, использующих электронагрев, – низкий КПД, в основном греют воздух [16].

Теперь о передвижных устройствах. Одно из них – это лазер [17], который не является безопасным, так как отраженный от сосульки луч большой интенсивности может попасть на сетчатку глаза человека. Также опасным методом можно назвать удаление сосул с помощью стрельбы по ним из спортивной винтовки [18].

Устройства для удаления сосул [19, 20] не являются удобными для эксплуатации человеком, мотыга в данном случае более универсальна. «Устройства для безударного разрушения сосул, наледи на краях крыш зданий» [21, 22] более современные и продвинутые, но они предполагают работу с автовышки, что сильно удорожает процесс удаления сосул.

Авторы [23, 24] предлагают смонтировать на автомашине телескопическую трубу или штангу, на конце которой закрепить «лепестковый обрушиватель» или «электронож и соленоид, в котором к магнитному сердечнику присоединен ударник». Нужна спецмашина – значит дорого.

От передвижных разрушающих устройств перейдем к передвижным плавящим. Авторы изобретений [25, 26] предлагают удалять снег, лед и сосульки с крыш с помощью пара, так, благодаря конденсации 1 кг пара в теории можно расплавить 7 кг льда [27], реально в 4 раза меньше [16]. Стоимость пара тоже очень велика, передвижная паровая установка марки ППУА-600–ППУА-1200 расходует 45 л дизельного топлива в час. Нихромовый ледорез – устройство для удаления сосул и наледей [28, 29] проще в изготовлении и дешевле в эксплуатации, но скорость резания достаточно мала, всего 1 мм/с.

Из профилактических методов можно выделить два решения. Первое – отсутствие снега на крыше, соответственно и сосул. Т.е. снег необходимо вовремя убрать [30], например сдуть сжатым воздухом [31], стряхнуть [32, 33] или сгрести устройством для убор-

ки снега с «вибрационным движителем» [34]. Решение второе не дать снегу превратиться в лед. Используют два противоположных подхода: первый заключается в том, чтобы снег остался снегом, а второй – снег превратился в воду. Первый подход является наиболее эффективным, он предполагает теплоизоляцию чердаков и кровель, что дает нам возможность экономить тепло, увеличить срок службы кровельного материала, значительно сократить временной период образования сосулек.

Превратить снег в воду можно только нагреванием и плавлением. Тепло можно получить бесплатно, утилизировав тепловую энергию, имеющуюся в системах вентиляции и кондиционирования воздуха [35]. Однако существует множество ресурсозатратных методов: самый радикальный – поливать крышу горячей водой [36], самый простой – электронагрев.

В конце обзора необходимо отметить, что реально изготовлено и испытано очень мало запатентованных устройств [9, 29, 32, 34].

Цель работы

Антиобледенительный карниз скатной крыши [37] можно отнести к профилактическим методам борьбы с сосульками. Даже при идеальной теплоизоляции чердачного перекрытия сосульки на крыше появляются. Это происходит в феврале-марте, когда температура воздуха еще отрицательная, но солнце уже существенно прогревает поверхности. Под действием солнечной радиации снег тает, образовавшаяся вода проникает до кровли, нагревая ее до 0 °С, стекает по ней до карниза и на карнизе, встретившись с холодным воздухом, превращается в сосульки. Антиобледенительный карниз скатной крыши крепится снизу к обычному плоскому карнизу с водосточными отливами и состоит из полосы материала с высокой теплопроводностью и отогнутым вертикально вниз краем, на который наносится покрытие черного цвета, например краска, для увеличения способности поглощения солнечных лучей. За счет солнечной радиации карниз должен нагреваться до температуры выше 0 °С и препятствовать образованию сосулек.

В настоящей работе были поставлены следующие цели: определение оптимального цвета и качества поверхности (шероховатости) рабочей части карниза; оценка возможных теплопотерь карниза на кровельном материале и зародышах сосулек; определение влияния ветра на теплофизические процессы в карнизе. Для достижения целей были проведены экспериментальные испытания модельных образцов антиобледенительных устройств в искусственно созданных условиях.

Материалы и оборудование

В «Центре Металлокровли» (г. Пермь) изготовлены модели образцов карнизов (по классификации производителя «Конек»). Экспериментальный образец антиобледенительного карниза представляет собой изогнутую стальную пластину длиной 760 мм, изгиб делит пластину на вспомогательную (крепежную) и рабочую часть устройства шириной по 200 мм и толщиной 0,45 или 0,50 мм. Образцы имеют несколько видов исполнения: различаются по цвету и составу материала лакокрасочного покрытия: неокрашенный – оцинковка, белый, красный, синий, зеленый, серый и черный; шероховатости поверхности: гладкая или бархат; углу изгиба пластины: 90 или 120°. Обозначения экспериментальных образцов, использованных в работе, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Номенклатура образцов

Table 1

Nomenclature of samples

Образец	Характеристики
№ 1 Красный	Изделие RAL 3003 Рубин (ПМ-0.45-0417-3) / 120°
№ 2 Зеленый	Изделие RAL 6029 Зеленая Мята (ПМ-0.45-0417-3) / 120°
№ 3 Синий	Изделие RAL 5005 Синий Сигнал (ПМ-0.45-0417-3) / 120°
№ 4 Серый	Изделие RAL 7074 Серый графит (ПМ-0.45-0417-3) / 120°
№ 5 Серый бархат	Изделие RAL 7024 Серый Графит БАРХАТ (Rooftop Matte) (ПМ-0.50-0417-3) / 120°
№ 6 Черный бархат	Изделие RAL 9005 Черный Бархат (Rooftop Matte) (ПМ-0.50-0417-3) / 90°
№ 7 Белый на белом	Изделие RAL 9003 Белый (ПМ-0.45-0417-3) / 90°, покраска аэрозолью SATIN RAL 9003 белая 1/6KU-OA9003
№ 8 Красный на белом	Изделие RAL 9003 Белый (ПМ-0.45-0417-3) / 90°, покраска аэрозолью SATIN RAL 3000 огненно-красная 1/6KU-OA3000.
№ 9 Зеленый на белом	Изделие RAL 9003 Белый (ПМ-0.45-0417-3) / 90°, покраска аэрозолью SATIN RAL 6029 зеленая 1/6KU-OA6029.
№ 10 Синий на белом	Изделие RAL 9003 Белый (ПМ-0.45-0417-3) / 90°, покраска аэрозолью SATIN RAL 5005 сигнально-синяя 1/6KU-OA5005.
№ 11 Черный на белом	Изделие RAL 9003 Белый (ПМ-0.45-0417-3) / 90°, покраска аэрозолью KUDO черная матовая (RAL 9005) 1/12KU-1102.
№ 12 Черный на оцинковке	Изделие RAL Оцинкованный (ПМ-0.45-0417-3) / 90° с покраской рабочей части аэрозолью KUDO черная матовая (RAL 9005) 1/12KU-1102

Образцы 1–6 окрашены производителем. Покраска бесцветных образцов 7–12 производилась вручную только в пределах рабочих поверхностей, обращенных к солнцу, эмаль наносилась в три слоя с промежуточной сушкой 15 мин. Толщина нанесенного слоя краски варьировалась от 0,03 до 0,04 мм. Измерение толщины проводилось микрометром FIT с погрешностью $\pm 0,01$ мм. Опытные образцы рабочими поверхностями всегда устанавливались перпендикулярно солнечным лучам.

Регистрация температуры на поверхности карнизов и наружной температуры воздуха осуществлялась регистратором «Элемер» РМТ 59. Основная приведенная погрешность измерений для прибора РМТ 59 составляет $\pm 0,1$ % (класс А). Для определения температуры использовались однотипные термометры сопротивления Pt 1000 с активной частью в виде кабельного температурного датчика длиной 50 мм, диаметром 5 мм, с погружной трубкой выполненной из нержавеющей стали. Диапазон измерения температуры датчиками составляет от -50 до $+200$ °С. Термометры сопротивления были проградуированы в воде с тающим льдом. Градуировка повторялась перед каждым экспериментом. Термометры сопротивления (датчики) на экране прибора РМТ 59 обозначались, как «Нар. темп.», «Перо 10», «Перо 11» и т.д.

Измерение освещенности проводилось цифровым люксметром модели GM1010 с диапазоном измерений от 0 до 200 кЛюкс, точностью измерений ± 3 %, частотой дискретизации 2 с^{-1} , фотометрический сенсор люксметра – кремниевый диод.

Для обдува карнизов использовался вентилятор WNK 250/1 мощностью 210 Вт с максимальным расходом воздуха $18 \text{ м}^3/\text{мин}$ и давлением 520 Па. Скорость воздуха измерялась анемометром testo 410-1 с предельной абсолютной погрешностью $\pm 0,2$ м/с.

Экспериментальная часть

Анализ поглощательной способности лакокрасочных покрытий

В ходе эксперимента № 1 определялось лакокрасочное покрытие с наилучшей поглощающей способностью. Для выполнения опытов была изготовлена специальная рама, где крепились модели карнизов. Порядок расположения опытных образцов снизу вверх: № 7, 8, 9, 10, 11 (рис. 1, а). Обратная сторона рабочих поверхностей была зачищена от грунтовки и посередине алюминиевым скотчем крепились датчики температуры (рис. 1, б).

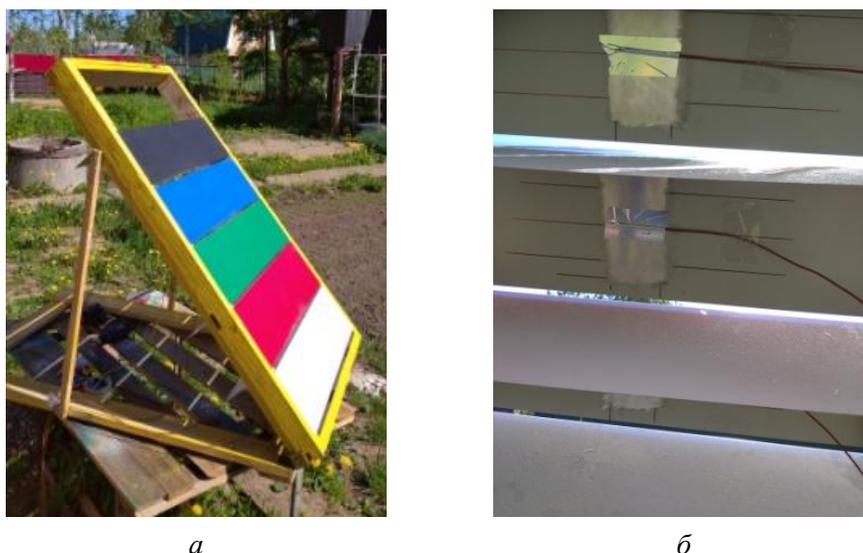


Рис. 1. Рама с моделями карнизов: а – с рабочей и б – обратной сторон, эксперимент № 1
 Fig. 1. Frame with models of cornices: а – from the working and б – reverse sides, experiment No. 1

Весь эксперимент проводился 4 июня 2022 г. в интервале времени с 10.00 утра до 15.00. Температура воздуха в тени снималась спиртовым термометром. Показания датчиков приведены в табл. 2.

Таблица 2

Температура датчиков в эксперименте № 1

Table 2

The temperature of the sensors in experiment No. 1

Время / температура в тени	№ 7 Белый на белом, °С	№ 8 Красный на белом, °С	№ 9 Зеленый на белом, °С	№ 10 Синий на белом, °С	№ 11 Черный на белом, °С	Освещен- ность, кЛк
10.01 / 19 °С	24,4	34,8	41,0	42,3	43,3	147
10.19 / 19 °С	26,0	36,8	43,5	43,1	43,2	148
11.31 / 20 °С	26,9	37,8	43,6	44,1	45,6	153
12.17 / 21 °С	26,7	37,3	43,1	42,2	43,6	154
12.52 / 21 °С	27,1	36,8	40,9	41,1	43,2	154
13.19 / 21 °С	29,5	40,4	45,9	46,5	47,9	153
15.00 / 21 °С	31,5	45,2	51,6	50,2	53,0	149

Анализ данных табл. 2 позволяет утверждать, что наибольшая поглощательная способность у моделей карнизов черного цвета, наименьшая у белых (что и ожидалось). Но даже температуры у белых превышают температуру воздуха в тени на 5–10 °С, у черных это превышение составляет 25–30 °С. Синий и зеленый «отстают» от черного карниза всего на 1–3 °С. Красный карниз нагревается на 15–18 °С выше температуры воздуха в тени. Если карниз черного цвета не устроит потребителя по эстетическим соображениям, то возможна установка карнизов зеленого или синего цветов без сильной потери потребительских свойств.

В эксперименте № 2 вышеописанным способом было проведено сравнение моделей карнизов № 4, 5, 3, 10, 11. Облачность в день эксперимента 5 июня 2022 г. была переменной, освещенность менялась от 55 до 120 кЛк. В зависимости от освещенности менялась и разность температур моделей карнизов с температурой воздуха в тени. Образцы № 4 «Серый», № 5 «Серый бархат» и № 11 «Черный на белом» показывали практически одинаковые температуры. Разницы между температурами синих карнизов (фабричного № 3 и покрашенного авторами № 10) не обнаружено.

Эксперимент № 3 посвящен изучению поглощательной способности карнизов черных цветов. В раму вставили карнизы снизу вверх: № 6 «Черный бархат» – датчик температуры «Перо 10»; № 11 «Черный на белом» – датчик «Перо 11»; снова № 6 «Черный бархат» – датчик «Перо 12»; № 12 «Черный на оцинковке» – датчик «Перо 13». В тени под картоном сзади установки располагался датчик наружной температуры «Нар. темп» (температуры в тени). В ходе эксперимента было выполнено 30 опытов в течение полутора часов. Часть результатов приведена в табл. 3.

Таблица 3

Температура датчиков в эксперименте № 3

Table 3

Temperature of sensors in experiment No. 3

Время	«Перо 10», °С	«Перо 11», °С	«Перо 12», °С	«Перо 13», °С	Наружная температура, °С	Освещенность, кЛк
9:51	53,42	51,11	54,80	46,32	22,36	156
9:55	48,98	45,86	50,64	41,82	21,95	151
10:00	49,86	47,56	51,48	42,83	22,18	143
10:05	35,55	34,37	37,55	33,31	20,84	110
10:08	38,99	37,48	43,27	34,65	21,29	150
10:12	43,01	40,32	46,62	38,28	21,42	185
10:18	47,14	43,25	49,82	39,64	21,99	197
10:36	44,43	45,74	50,60	45,06	21,66	140
10:39	39,43	39,66	41,35	39,63	21,99	110
10:52	48,74	45,62	50,35	44,55	22,23	160
11:13	37,09	38,47	39,54	37,63	22,05	80
11:14	35,90	37,06	38,01	36,58	22,04	45
11:15	33,54	33,90	35,78	33,62	21,94	160
11:25	30,27	31,65	30,06	30,91	21,91	34
11:26	30,61	29,88	30,84	29,20	21,92	170
11:28	44,32	38,89	47,07	36,25	22,04	170

Из табл. 3 видно, что при достаточно высокой освещенности (более 150 кЛюкс) лучше всего прогреваются карнизы № 6 «черный бархат», их температура на 28–32 градуса превышает температуру воздуха в тени (время от 9:51 до 10:00). Хуже всего прогревается № 12 «Черный на оцинковке» («Перо 13»), но и его температура гарантированно превышает температуру воздуха в тени на 20 градусов.

При изменении освещенности температура карнизов меняется вслед за освещенностью с опозданием на 0,5–1 мин (время от 10:36 до 11:26), причем «Черный бархат» обладает меньшей инертностью. При снижении освещенности разность температур между «Черным бархатом» № 6 и «Черным на белом» № 11 заметно уменьшается и находится в пределах случайной погрешности (время от 11:25 до 11:26). При увеличении освещенности карнизы «Черный бархат»греваются быстрее (время от 11:26 до 11:28). В 12:45 пошел морозящий дождь, освещенность снизилась до 10 % от максимальной, через 15 мин карнизы охладились до температуры воздуха в тени.

Можно сделать вывод, что карнизы «Черный бархат», несмотря на более высокую стоимость, предпочтительнее карнизов, покрашенных аэрозолью. Однако нужно отметить, что после окончания дождя и 15 мин солнечной погоды карнизы «Черный бархат» были покрыты каплями, а с карнизов № 11 и 12 капли стекла.

Целью эксперимента № 4 была проверка возможности работы карнизов в тени, т.е. при малой освещенности. Карнизы в раме закрепили в той же последовательности, как в эксперименте № 3, но рабочей поверхностью от солнца (рис. 2).



Рис. 2. Черные карнизы в тени, эксперимент № 4: *a* – открытый карниз; *б* – карниз, закрытый картоном
Fig. 2. Black cornices in the shade, experiment No. 4: *a* – open cornice; *б* – cornice covered with cardboard

Из первого опыта (10:31 без картона) можно сделать вывод, что оцинковка («Перо 13») заметно меньше поглощает солнечные лучи по сравнению со светло серой грунтовкой, которой покрыты внутренние стороны других карнизов. Это, возможно, объяснят более низкую температуру образца № 12 «Черный на оцинковке» в предыдущем эксперименте – № 3. Освещенность карнизов во время эксперимента менялась незначительно (табл. 4). После закрытия карнизов картоном их температура заметно снижается на 8–15 °С за 2 мин, за следующие 2 мин – еще на 2–4 °С и далее практически не меняется.

Таблица 4

Температура датчиков в эксперименте № 4

Table 4

Temperature of sensors in experiment No. 4

Время	«Перо 10», °С	«Перо 11», °С	«Перо 12», °С	«Перо 13», °С	Наружная температура, °С	Освещенность тень / свет, кЛк
10:31	39,45	40,21	40,21	34,61	19,23	– / 153
10:35	24,65	26,36	27,16	26,56	–	– / 150
10:36	22,94	24,47	25,50	25,14	17,83	5,7 / 150
10:38	21,03	22,05	22,87	22,85	17,38	4,8 / 148
10:39	21,12	22,18	23,22	22,29	17,64	4,8 / 148
10:40	21,33	22,21	23,20	22,77	17,63	5,2 / 142
10:41	21,18	21,86	22,99	22,77	17,75	5,1 / 146
10:42	21,33	22,28	23,54	23,06	17,52	4,9 / 146
10:43	21,56	22,58	23,74	23,12	17,46	5,2 / 146
10:44	22,20	23,08	24,53	23,60	17,95	5,1 / 147
10:45	22,15	23,18	24,40	23,60	17,66	5,9 / 147
10:46	21,33	22,54	23,60	22,98	17,27	5,9 / 149
10:56	21,01	21,89	23,34	23,10	17,96	6,2 / 149

Основной вывод – даже при очень низкой освещенности (в 30 раз ниже, чем на открытом солнце) температура черных карнизов превышает температуру воздуха в тени на 4–5 °С.

Анализ влияния ветра

Целью следующего эксперимента (№ 5) было определение влияния ветра на температуру моделей антиобледенительных карнизов. На рис. 3, *а* показано расположение образцов снизу вверх: № 6 «Черный бархат», № 11 «Черный на белом», снова № 6 «Черный бархат», № 12 «Черный на оцинковке». В тени под картоном сзади установки ставился датчик наружной температуры «Нар. темп». Вентилятор WNK 250/1 был поставлен примерно под 45° к горизонтальной линии карнизов (рис. 3, *б*).



а



б

Рис. 3. Определение влияния ветра на температуру черных карнизов: *а* – расположение антиобледенительных карнизов; *б* – расположение вентилятора для обдувки карнизов
 Fig. 3. Determination of the influence of wind on the temperature of black cornices: *а* – location of de-icing cornices; *б* – location of the ventilator for blowing the cornices

В ходе эксперимента № 5 выполнялось два опыта, показания датчиков с экрана «Элемер» РМТ 59 записывались на видео в течение четырех минут. Вентилятор был включен через 10 с от начала съемок. Во время эксперимента дул северо-западный переменный ветер со скоростью от 0 до 2 м/с (примерно в заднюю некрашеную часть карнизов).

В ходе эксперимента было выяснено, что основное снижение температуры на 9–13 °С происходило в течение первых двух минут, после чего температура стабилизировалась и оставалась выше температуры воздуха в тени примерно на 15–19 °С. Наибольшая температура в начале и конце опытов была у карнизов № 6 «Черный бархат». В табл. 5 приведены значения скорости воздуха, измеренные анемометром testo 410-1 около разных частей карнизов по отношению к вентилятору.

Таблица 5

Скорость воздуха около разных частей опытных образцов карнизов

Table 5

Air velocity near different parts of the prototype cornices

Образец	Скорость ветра, м/с					
	ближний край		середина		дальний край	
	опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2	опыт 1	опыт 2
«Перо 13»	0,7	1,0	2,2	3,7	2,0	3,4
«Перо 12»	1,8	2,0	2,7	3,2	1,9	2,5
«Перо 11»	3,5	3,9	2,3	2,4	2,7	2,3
«Перо 10»	1,5	0,5	1,0	3,3	3,5	3,3

Эксперимент показал, что постоянный ветер скоростью от 0,7 до 3,7 м/с примерно в два раза снижает разность температур между воздухом в тени и черными карнизами.

Оценка возможных теплопотерь

Для оценки возможных теплопотерь антиобледенительного карниза был выполнен эксперимент № 6, в котором нерабочую часть модели карниза опускали в холодную воду и снимали на видео динамику изменения температуры различных частей образца на экране прибора РМТ 59 (<https://youtu.be/2PqshqUMzM4>).

Перед проведением эксперимента на внутренние стороны моделей карнизов на очищенную от краски часть алюминиевым скотчем шириной 50 мм и длиной не менее 70 мм прикрепили датчики температуры: «Перо 10» – на часть, опускаемую в воду на расстоянии 50 мм от сгиба, датчики «Перо 11, 12, 13» – на часть, остающуюся на воздухе, на расстояниях от сгиба 50, 100 и 150 мм соответственно (рис. 4, а).

Модель карниза крепили в специальной раме, позволяющей менять угол наклона так, чтобы солнечные лучи падали перпендикулярно поверхности, остающейся на воздухе, а в воду карниз погружался точно по сгибу (рис. 4, б).

Ванну заполняли водой, на дно ванны опускался датчик температуры «Нар. темп». Минимум дважды была снята динамика изменения температуры датчиков на образцах № 1, 3, 6, 11, 12. Время съемки ограничивалось двумя минутами, так как далее температуры практически не менялись. Затем видео просматривали, останавливая каждые 10 с, и данные систематизировались.

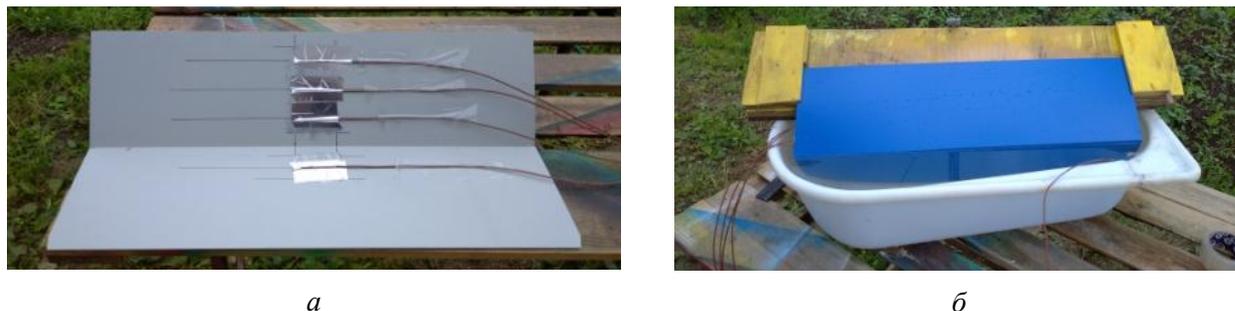


Рис. 4. Крепление: *a* – датчиков и *б* – карниза
Fig. 4. Mounting: *a* – sensors and *б* – cornice

На рис. 5 показаны типичные зависимости температуры датчиков на образце № 6 «Черный бархат». Температура воды в ванной составляла 8,5 °С. Температура воздуха в тени 20 °С. Освещенность во время измерения не менялась, составляла 161–162 кЛюкс и только в момент 120 с снизилась до 42 кЛюкс.

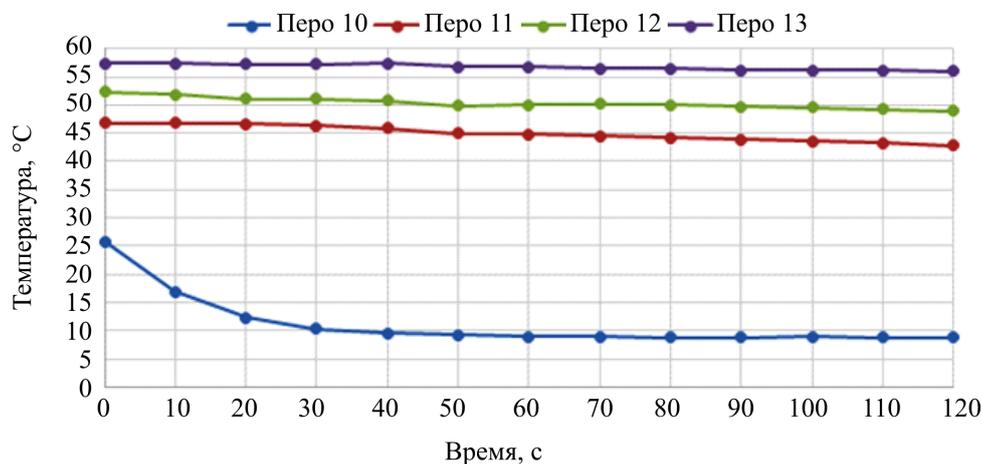


Рис. 5. Зависимости температуры датчиков от времени для образца № 6 «Черный бархат»
Fig. 5. Temperature dependence of sensors on time for sample No. 6 "Black Velvet"

Температура погруженной части карниза к концу эксперимента оставалась выше температуры воды на 0,3 °С. Температуры верхней рабочей части (не погруженной в воду) черных карнизов во время эксперимента значительно превышали температуры красного и синего карнизов. Однако для всех карнизов эксперимента № 6 при схожих условиях фиксировался примерно одинаковый градиент температур.

Эксперименты, проведенные с синим и красным карнизам, дают примерно ту же временную зависимость температуры, но практически при той же освещенности начальные и конечные температуры рабочей части (на солнце) ниже примерно на 10 °С.

Производитель обертывает свои изделия для защиты наружных поверхностей стрейч-пленкой толщиной от 0,03 до 0,04 мм. После установки изделий на крышу пленка убирается. Целью нескольких опытов в эксперименте № 6 была проверка возможности использования такой пленки для теплоизоляции карниза от материала кровли. Для этого сначала провели два опыта с образцом № 11 «Черный на белом». После этого у того же изделия не рабочую часть (опускаемую в воду) обернули тремя слоями стрейч-пленки толщиной 0,015 мм и провели еще два опыта.

Аналогично четыре опыта провели с изделием № 6 «Черный бархат». Перед началом проведения последних двух опытов часть карниза № 6, опускаемую в воду, с обеих сторон закрыли синей стрейч-пленкой толщиной 0,04 мм.

В опытах без стрейч-пленки температура погруженной части карнизов через 120 с была выше температуры воды на 0,3–0,8 °С, в стрейч-пленке на 1,7–2,5 °С.

Измерения, снятые с датчика «Перо 10», с погруженной в холодную воду части всех опытных образцов (см. рис. 5), показали, что убывание температуры происходит экспоненциально с течением времени. Эту зависимость можно аппроксимировать формулой

$$\Delta t = \Delta t_0 \cdot e^{-\lambda \tau}, \quad (1)$$

где $\Delta t = t - t_{\text{кон}}$ – разность температур в момент времени τ ; $\Delta t_0 = t_0 - t_{\text{кон}}$ – начальная разность температур; λ – коэффициент теплоотдачи карниза; t_0 – начальная температура образца, фиксируемая датчиком «Перо 10»; $t_{\text{кон}}$ – конечная температура, которая определялась как средняя между температурой воды (датчик «Нар. темп.») и температурой датчика «Перо 10» через 120 с (время окончания измерений). Если бы не было подвода тепла от рабочей части карниза, то должна была бы получиться идеальная экспонента.

На основании формулы (1) можно выполнить оценку коэффициента λ без стрейч-пленки и при её наличии. Оценки, выполненные в интервале времени от 10 до 40 с, показали, что коэффициент теплоотдачи для № 6 «Черный бархат» варьируется в интервале от 0,073 до 0,084 с⁻¹, а для «Черного бархата» в стрейч-пленке в интервале от 0,042 до 0,050 с⁻¹. Таким образом, сохранение стрейч-пленки на той части карниза, которая будет прикреплена под кровлю, позволит сократить теплопотери в полтора-два раза. Если часть карниза, вступающую в контакт, обернуть тремя слоями упаковочной стрейч-пленки толщиной 0,015 мм каждый, то коэффициент теплопотери снижается еще больше и находится в интервале от 0,014 до 0,024 с⁻¹.

В эксперименте № 7 было решено оценить теплопотери карниза в условиях, более близких к реальным. Из листа оцинкованной стали толщиной 0,45 мм был вырезан модельный карниз размером 760 × 400 мм. На половину карниза было нанесено три слоя эмали универсальной черной матовой (RAL 9005). К карнизу посередине на расстоянии 100 мм от границы окраски с внутренней стороны алюминиевым скотчем крепились температурные датчики «Перо 10» – под покрашенной частью, «Перо 11» – на расстоянии 50 мм от границы окраски под непокрашенной частью.

Карниз неокрашенной частью был прикреплен под лист оцинковки на модельной крыше размером 1 × 1,5 м с изменяющимся углом наклона (рис. 6, а) с помощью трубочин и бруска шириной 40 мм (рис. 6, з). Нижняя часть бруска предварительно была состругана по дуге для полного (без зазоров) прилегания материала кровли к материалу карниза. Под карнизом слой пеноплекса толщиной 30 мм на доске обрешетки. Сверху листа оцинковки на расстоянии 50 мм от края алюминиевым скотчем был прикреплен температурный датчик «Перо 13» (рис. 6, в), так чтобы во время эксперимента он находился точно над датчиком «Перо 11». Датчик «Нар. темп.» находился в тени модельной крыши. Внутренняя часть карниза была закрыта пеноплексом от ветра.

В первой серии опытов между оцинковкой кровли и карнизом теплоизоляция отсутствовала. Крыша устанавливалась перпендикулярно солнечным лучам.

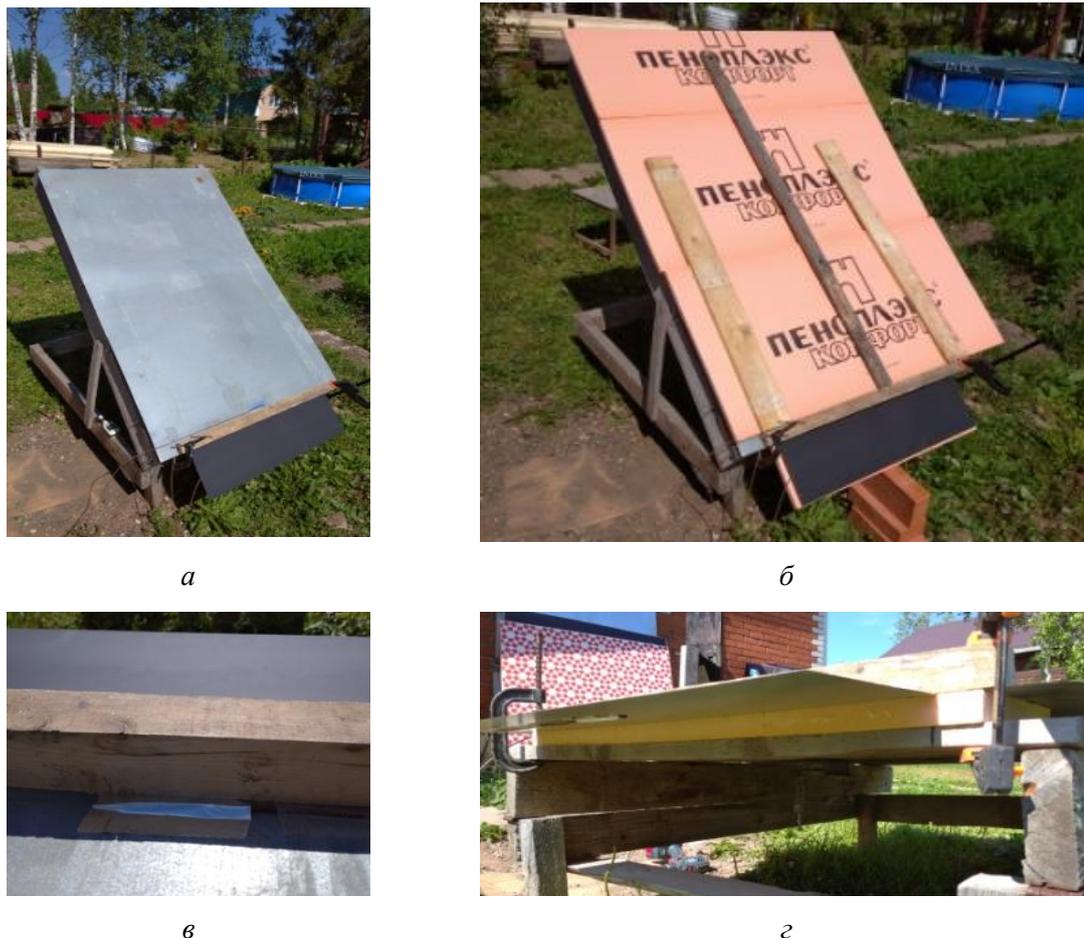


Рис. 6. Крепление карниза к модельной крыше: *а* – общий вид кровли с прикрепленным карнизом; *б* – кровля, закрытая пеноплексом; *в* – крепление температурного датчика; *з* – крепление карниза
Fig. 6. Fixing the cornice to the model roof: *a* – a general view of the roof with the attached cornice; *б* – roof covered with foam plastic; *в* – fixing the temperature sensor; *з* – fixing the cornice

Первые два опыта первой серии были проведены без пеноплекса (рис. 6, *а*), после чего кровля была закрыта листами пеноплекса толщиной 20 мм (рис. 6, *б*).

Перед проведением второй серии опытов эксперимента № 7 между некрашенной частью карниза и кровельным материалом была проложена полиэтиленовая пленка толщиной 0,10 мм в качестве теплоизоляции.

Некоторые результаты измерений температуры в эксперименте № 7 представлены в табл. 6. Сразу после проведения экспериментов температурные датчики, соединенные вместе алюминиевым скотчем, были протарированы в теплой воде. В табл. 6 температуры даны с поправкой.

Из анализа данных табл. 6 следует, что температуры кровельного материала (датчик «Перо 13») и материала карниза, находящегося под кровлей («Перо 11»), без пленки практически одинаковы, максимальное отличие 0,5 °С (12:21). Это свидетельствует о хорошем тепловом контакте. С пленкой температура кровельного материала («Перо 13») всегда ниже температуры материала карниза, находящегося под кровлей («Перо 11»), на величину от 0,9 до 1,8 °С. Можно сделать вывод о возможности использования полиэтиленовой пленки в качестве теплоизолятора между карнизом и материалом кровли.

Результаты эксперимента № 7

Results of experiment No. 7

Время	Под черным, «Перо 10», °С	Под кровлей, «Перо 11», °С	Кровля, «Перо 13», °С	Наружная температура, °С	Освещенность, кЛк
Без теплоизолирующей пленки					
11:51	49,94	53,28	51,33	29,63	145
11:53	57,99	57,19	56,31	29,92	145
12:14	68,81	52,77	52,88	30,45	148
12:16	70,23	52,99	53,01	29,97	145
12:19	68,14	52,64	52,36	29,25	144
12:21	71,62	52,44	51,96	29,35	144
12:23	72,24	52,35	52,01	28,61	145
12:30	68,52	50,96	50,21	28,23	147
С пленкой					
12:52	73,71	50,54	49,01	29,63	148
12:56	58,31	51,02	49,79	28,61	37
12:57	54,41	49,66	48,74	28,62	152
13:02	65,28	49,30	47,98	29,76	147
13:04	77,40	51,12	49,69	30,47	150
13:07	73,28	52,64	51,19	29,64	154

Выводы

1. Наибольшей поглотательной способностью обладает образец черного цвета RAL 9005, очень близок к нему серый графит RAL 7074. Меньшая поглотательная способность у синего RAL 5005 и зеленого цветов RAL 6029. У красного RAL 3000 поглотательная способность заметно ниже, чем у синего и зеленого. Меньше всего на солнце нагревалась модель карниза белого цвета RAL 9003 и оцинкованная сталь.

2. Зависимости поглотательной способности от степени шероховатость и способа нанесения лакокрасочного покрытия в ходе экспериментов не обнаружено.

3. За счет энергии солнечного излучения антиобледенительные карнизы могут иметь температуру на 40–45 °С выше температуры окружающего воздуха. Даже находясь в тени, за счет только отраженного света температура черных карнизов превышает температуру окружающего воздуха на 4–5 °С.

4. Ветер, дующий со средней скоростью 2,5 м/с, примерно в два раза снижает разность температур между черными карнизами и воздухом в тени.

5. Наличие стреч-пленки на той части карниза, которая будет прикреплена под кровлю, позволит сократить теплопотери в полтора-два раза.

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках проекта СТАРТ-1 «Разработка, изготовление и испытания экспериментальных образцов антиобледенительных устройств, использующих энергию солнечного излучения» по соглашению № 4540ГСИ/73964 от 22 апреля 2022 г.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Устройство для удаления сосулек с карнизов крыш: пат. 138868 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Куратов И.Н. – № 2013121427/03; заявл. 07.05.2013; опубл. 27.03.2014.
2. Устройство для удаления сосулек с карниза крыши: пат. 205560 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Волгин М.В., Снигур А.И., Касьяненко А.А., Кравченко И.В., Хлызов П.А. – № 2020135609; заявл. 29.10.2020; опубл. 21.07.2021.
3. Устройство для удаления сосулек: пат. 2361045 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Мухаметшин Х.Н., Мухаметшин И.Х. – № 2008100925/03; заявл. 09.01.2008; опубл. 10.07.2009.
4. Приспособление для удаления наледей со свесов кровли: пат. 2096567 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Антипенко А.И., Антипенко А.А. – № 96105132/03; заявл. 13.03.1996; опубл. 20.11.1997.
5. Сосулелом карнизный: пат. 2414568 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Белый Д.М. – № 2009141101/03; заявл. 06.11.2009; опубл. 20.03.2011.
6. Сосулелом карнизный: пат. 2464394 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Белый Д.М. – № 2010142323/03; заявл. 15.10.2010; опубл. 20.10.2012.
7. Устройство для удаления отложений льда с водосливных труб зданий: пат. 2750881 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Моисеев В.И., Сердюк В.Д. – № 2020136390; заявл. 03.11.2020; опубл. 05.07.2021.
8. Устройство для взлома сосулек: пат. 85518 Рос. Федерация: МПК E04D 13/00 / Пак Ю.А. – № 2009100390/22; заявл. 13.01.2009; опубл. 10.08.2009.
9. Вибротрос: пат. 105650 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Боярко П.Н., Бушу-ров В.И. – № 2010146197/03; заявл. 09.11.2010; опубл. 20.06.2011.
10. Устройство автоматического сброса наледи и сосулек с козырьков кровли: пат. 194796 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Каретный А.А. – № 2019131155; заявл. 03.10.2019; опубл. 24.12.2019.
11. Устройство для удаления снежно-ледяных образований с кровли карниза здания: пат. 195849 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Герасимов А.В. – № 2019140668; заявл. 10.12.2019; опубл. 06.02.2020.
12. Устройство для удаления наледи и сосулек с кромки кровли зданий: пат. 188606 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Шарнин С.А. – № 2018142153; заявл. 29.11.2018; опубл. 17.04.2019.
13. Устройство для удаления снега и льда с карнизного свеса крыши: пат. 2209903 Рос. Федерация: МПК E04D 13/00 / Юсупов К.Х., Чудновский А.И., Шилов Н.Д., Ершов М.Н. – № 2001134153/03; заявл. 19.12.2001; опубл. 10.08.2003.
14. Устройство для предотвращения образования наледи и сосулек на карнизном свесе крыши: пат. 107804 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Мантуров Ю.В., Лукьянов В.Н., Попов Д.Л., Панасюк И.Н. – № 2011110269/03; заявл. 17.03.2011; опубл. 27.08.2011.
15. Система защиты кровли и водостоков от обледенения: пат. 2732287 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Ахременко С.А., Протченко М.В., Викторов Д.А. – № 2019143448; заявл. 19.12.2019; опубл. 15.09.2020.
16. Теоретический и экспериментальный анализ способов и устройств для удаления снега со скатных крыш / Л.В. Задорина, В.А. Муратова, В.А. Голубев, О.М. Зверев // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – Вып. 1. – С. 70–85.

17. Способ удаления ледяных сосулек: пат. 2307905 Рос. Федерация: МПК E04D 13/00 / Козлов Б.А., Паюров А.Я., Трусков В.С., Кушев А.Е. – № 2005130620/03; заявл. 03.10.2005; опубл. 10.10.2007.
18. Устройство для удаления сосулек с карнизов крыш: пат. 2456417 Рос Федерация: МПК E04D 13/076 / Ковалев И.С. – № 2010149324/03; заявл. 02.12.2010; опубл. 20.07.2012.
19. Устройство для удаления сосулек по периметру кровли здания: пат. 2194137 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Файбушевич М.М. – № 2001115962/03; заявл. 15.06.2001; опубл. 10.12.2002.
20. Сосулелом карнизный: пат. 2215857 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Скворцов Н.П., Скворцов А.Н., Карамов Д.А. – № 2002103177/03; заявл. 04.02.2002; опубл. 10.11.2003.
21. Устройство для безударного разрушения сосулек, наледи на краях крыш зданий: пат. 192554 Рос. Федерация: МПК E01H 5/12 / Силантьев А.М. – № 2019112715; заявл. 25.04.2019; опубл. 23.09.2019.
22. Устройство для безударного разрушения сосулек, наледи на краях крыш зданий: пат. 205560 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Волгин М.В., Снигур А.И., Касьяненко А.А., Кравченко И.В., Хлызов П.А. – № 2020135609; заявл. 29.10.2020; опубл. 21.07.2021.
23. Обрушиватель сосулек: пат. 2187595 Рос. Федерация: МПК E01H 5/00 / Адамович Б.А., Дербичев А.Г.Б., Дудов В.И., Кобяков Д.П., Трубицын А.П. – № 2001106471/28; заявл. 14.03.2001; опубл. 20.08.2002.
24. Устройство для удаления сосулек: пат. 2306383 Рос. Федерация: МПК E01H 5/12 / Соснов Д.Е. – № 2006110458/11; заявл. 31.03.2006; опубл. 20.09.2007.
25. Способ удаления снега и льда с крыши: пат. 2457305 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Кулешов В.Г., Трубицына Л.М. – № 2011111311/03; заявл. 25.03.2011; опубл. 27.07.2012.
26. Способ удаления сосулек и снежных наносов и устройство для осуществления этого способа: пат. 2484215 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Мухарденков А.В., Рошин А.В., Фарафонов В.И. – № 2011143085/03; заявл. 26.10.2011; опубл. 10.06.2013.
27. Физические величины: справочник / А.П. Бабищев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.
28. Нихромовый ледорез против наледей и сосулек / Л.В. Задорина, В.А. Муратова, О.М. Зверев, Д.М. Малых // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2018. – № 3. – С. 44–55.
29. Устройство для удаления сосулек и наледей: пат. 200393 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Задорина Л.В., Зверев О.М., Муратова В.А., Перминов А.В.; № 2020122158; заявл. 28.04.2020; опубл. 22.10.2020.
30. Муратова В.А., Фунтяева В.В., Зверев О.М. Мобильный пневмотранспортер для уборки снега и мусора с крыш и придомовых территорий // Construction and Geotechnics. – 2021. – Т. 12, № 2. – С. 42–50. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.04
31. Способ уборки снега крыши здания: пат. 2459054 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Тарасов Ю.Д. – № 2010142144/03; заявл. 13.10.2010; опубл. 20.08.2012.
32. Устройство для удаления снега и наледи с наклонной кровли: пат. 183248 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Голубев В.А., Задорина Л.В., Зверев О.М., Муратова В.А. – № 2017142846; заявл. 07.12.2017; опубл. 02.08.2018.
33. Задорина Л.В., Муратова В.А., Зверев О.М. О возможности использования вибраций для удаления снега с наклонной кровли // Вестник Пермского национального исследо-

вательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 87–96. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.09

34. Устройство для уборки снега с крыши: пат. 201135 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Задорина Л.В., Зверев О.М., Муратова В.А. – № 2020125745; заявл. 28.07.2020; опубл. 30.11.2020.

35. Устройство для устранения снега, наледи и сосулек: пат. 2570582 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Беляев В.Б. – № 2014116928/03; заявл. 25.04.2014; опубл. 10.12.2015.

36. Устройство для удаления наледи и сосулек с крыш: пат. 136067 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Сычев В.А. – № 2012154170/03; заявл. 13.12.2012; опубл. 27.12.2013.

37. Антиобледенительный карниз скатной крыши: заявка 2021118830 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / Голдобин С.В. – заявл. 28.06.2021; опубл. 23.08.2021.

References

1. Kuratov I.N. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek s karnizov krysh [Device for removal of icicles from roofs]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 138868 (2014).

2. Volgin M.V., Snigur A.I., Kas'yanenko A.A., Kravchenko I.V., Hlyzov P.A. Ustrojstvo dlya udaleniya sosulek s karniza kryshi [Device for removing icicles from the eaves of the roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 205560 (2021).

3. Mukhametshin H.N., Mukhametshin I.Kh. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek [Device for removal of icicles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2361045 (2009).

4. Antipenko A.I., Antipenko A.A. Prispособlenie dlya udaleniya naledey so svesov krovli [Device for removing of frosts from roof cornice]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2096567 (1997).

5. Belyi D.M. Sosulelom karniznyy [Souleles curtain]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2414568 (2011).

6. Belyi D.M. Sosulelom karniznyy [Souleles curtain]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2464394 (2012).

7. Moiseev V.I., Serdyuk V.D. Ustrojstvo dlya udaleniya otlozhenij l'da s vodoslivnyh trub zdaniy. [Device for removal of ice deposits from spillway pipes of buildings]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2750881 (2021).

8. Pak Y.A. Ustroystvo dlya vzloma sosulek [Device for breaking icicles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 85518 (2009).

9. Barco P.N., Bochurov V.I. Vibrotros [Vibrators]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 105650 (2011).

10. Karetnyj A.A. Ustrojstvo avtomaticheskogo sbrosa naledi i sosulek s kozyr'kov krovli [Device for automatic release of ice and icicles from the roof visors]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 194796 (2019).

11. Gerasimov A.V. Ustrojstvo dlya udaleniya snezhno-ledyanyh obrazovanij s krovli karniza zdaniya [Device for removing snow-ice formations from the roof of the eaves of the building]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 195849 (2020).

12. Sharnin S.A. Ustrojstvo dlya udaleniya naledi i sosulek s kromki krovli zdaniy [Device for removing ice and icicles from the roof edge of buildings]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 188606 (2019).

13. Yusupov K.H., Chudnovsky A.I., Shilov N.D., Ershov M.N. Ustroystvo dlya udaleniya snega i l'da s karniznogo svesa kryshi [Device for removing snow and ice from the eaves of the roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2209903 (2003).

14. Manturov Y.V., Lukyanov V.N., Popov D.L., Panasyuk I.N. Ustroystvo dlya predotvrashcheniya obrazovaniya naledi i sosulek na karniznom svese kryshi [Device for preventing the formation of ice dams and icicles on the eaves overhang the roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 107804 (2011).

15. Ahremenko S.A., Protchenko M.V., Viktorov D.A. Sistema zashchity krovli i vodostokov ot obledeneniya [Roof and Drain Icing Protection System]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2732287 (2020).

16. Zadorina L.V., Muratova V.A., Golubev V.A., Zverev O.M. Theoreticheskiy i eksperimentalnyy analys sposobov i ustroystv dlya udaleniya snega so skatnykh krysh [Theoretical and experimental analysis of methods and devices for snow removal from pitched roofs]. *Bulletin of PNRPU. Applied ecology. Urban development*, 2018, no. 1. pp. 70–85.

17. Kozlov B.A., Paunov A.Y., Trusov V.S., Kushev A.E. Sposob udaleniya ledyanykh sosulek [Method of removal of icicles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2307905 (2007).

18. Kovalev I.S. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek s karnizov krysh [Device for removal of icicles from roofs]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2456417 (2012).

19. Faibushevich M.M. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek po perimetru krovli zdaniya [Device for removing icicles around the perimeter of the roof of the building]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2194137 (2002).

20. Skvortsov N.P., Skvortsov A.N., Karamov D.A. Sosulelom karniznyy [Solution curtain]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2215857 (2003).

21. Silant'ev A.M. Ustroystvo dlya bezudarnogo razrusheniya sosulek, naledi na krayah krysh zdaniy [Device for non-impact destruction of icicles, ice on the edges of roofs of buildings]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 192554 (2019).

22. Volgin M.V., Snigur A.I., Kas'yanenko A.A., Kravchenko I.V., Hlyzov P.A. Ustroystvo dlya bezudarnogo razrusheniya sosulek, naledi na krayah krysh zdaniy [Device for non-impact destruction of icicles, ice on the edges of roofs of buildings]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 205560 (2021).

23. Adamovich B.A., Derbichev Ahmet Giri Bamat G., Dudov V.I., Kobayakov D.P., Trubitsyn D.P. Obrushivatel' sosulek [Abrasive icicles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2187595 (2002).

24. Sosnov D.E. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek [Device for removal of icicles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2306383 (2007).

25. Kuleshov V.G., Trubitsyna L.M. Sposob udaleniya snega i l'da s kryshi [Method of removing snow and ice from the roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2457305 (2012).

26. Muhardenkov A.V., Roschin A.V., Farafonov V.I. Sposob udaleniya sosulek i snezhnykh nanosov i ustroystvo dlya osushchestvleniya etogo sposoba [Method of removal of icicles and snow drifts and the device used in this method]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2484215 (2013).

27. Babichev A.P., Babushkina N.A., Bratkjvskiy A.M. [et al.]. *Phyzicheskie velichiny* [The manual of physical quantity]. Eds. I.S. Grigor'eva, E.Z. Meylihovf. Moscow, Energoizdat, 1991, 1232 p.

28. Zadorina L.V., Muratova V.A., Zverev O.M., Malykh D.M. Nichrome ice cutter against ice crust and icicles. *Bulletin of PNRPU. Applied ecology. Urban development*, 2018, no. 3, pp. 44–55.

29. Zadorina L.V., Zverev O.M., Muratova V.A., Perminov A.V. Ustroystvo dlya udaleniya sosulek i naledej [Device for removing icicles and ice]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 200393 (2020).

30. Muratova V.A., Funtyaeva V.V., Zverev O.M. Mobile pneumatic transporter for snow and garbage removal from roofs and house areas. *Construction and Geotechnics*, 2021, vol. 12, iss. 2, p. 42–50. DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.04.

31. Tarasov Y.D. Sposob dlya uborki snega s kryshi zdaniya [Method of removal snow from the roof of the building]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2459054 (2012).

32. Golubev V.A., Zadorina L.V., Zverev O.M., Muratova V.A. Ustroystvo dlya udaleniya snega i naledi c naklonnoy krovli [Device for snow and glacier removal from sloped roofs]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 183248 (2018).

33. Zadorina L.V., Muratova V.A., Zverev O.M. About the possibility of using vibrations to remove snow from a sloping roof. *Bulletin of PNRPU. Construction and Architecture*, 2019, vol. 10, iss. 3, pp. 87–96. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.09.

34. Zadorina L.V., Zverev O.M., Muratova V.A. Ustroystvo dlya uborki snega s kryshi [Device for snow removal from roofs]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 201135 (2020).

35. Belyaev V.B. Ustroystvo dlya ustraneniya snega, naledi i sosulek [Device for removing snow, ice and icicles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2570582 (2015).

36. Sychev V.A. Ustroystvo dlya udaleniya naledi i sosulek s krysh [Device for removing ice and icicles from roofs]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 136067 (2013).

37. Goldobin S.V. Antiobledenitel'nyj karniz skatnoj kryshi [Anti-icing cornice of pitched roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2021118830 (2021).