



DOI: 10.15593/2224-9826/2021.2.04

УДК 697.911, 692.4, 621.6-1/-9

МОБИЛЬНЫЙ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕР ДЛЯ УБОРКИ СНЕГА И МУСОРА С КРЫШ И ПРИДОМОВЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.А. Муратова, В.В. Фунтяева, О.М. Зверев

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 03 марта 2021
Принята: 25 мая 2021
Опубликована: 13 июля 2021

Ключевые слова:

пневмотранспорт, пневмотранспортер, уборка снега, полиэтиленовая пленка, эжекционная воронка.

АННОТАЦИЯ

Уборка снега с крыш и придомовых территорий актуальна для Пермского края в зимний период. В статье рассматривается мобильный пневмотранспортер для уборки мусора и снега, состоящий из вентилятора, загрузочного бункера, эжекторной камеры, вибратора. Главная новизна установки заключается в использовании для транспортных воздухопроводов полиэтиленовой пленки. Воздуховоды изготавливались пайкой горячим утюгом. В припусках на шов были сделаны люверсы для подвешивания воздухопроводов на трос при уборке снега с крыши. В работе приведен расчет эжекционной воронки под вентилятор FS-2101/SP 220D. В качестве корпуса воронки использовался сантехнический двухраструбный тройник диаметром 150 мм, в котором был сделан конфузор $\varnothing 100$ мм. Поскольку в литературе отсутствуют данные о коэффициенте сопротивления трения полиэтилена, на сорокаметровом воздуховоде были проведены измерения суммарных потерь давления в системе от воронки до конечной точки разгрузки, зависимости скорости воздушного потока и скорости всасывания из загрузочного бункера. После проведенных расчетов в тройник была добавлена камера смешения диаметром 125 мм.

Пневмотранспортер продемонстрировал возможность перемещать снег на расстояние до 40 м со скоростью 10 м/с. Производительность по снегу 9 м³/ч. При уборке снега с крыши по воздуховоду, подвешенному с уклоном 1:4, снег может скользить и без включенного вентилятора. Пневмотранспортер может использоваться в качестве погрузчика на высоту не менее 4 м. Преимущество нашего пневмотранспортера перед снегоуборщиками – электропривод вентилятора. Это позволяет хранить установку в подсобных помещениях жилого дома, не нарушая пожарную безопасность. Пленочные воздухопроводы компактно сворачиваются в рулон для хранения.

© ПНИПУ

© Муратова Виктория Андреевна – студентка, e-mail: mva-98-vika@mail.ru.

Фунтяева Вероника Владимировна – студентка, e-mail: nikafunt573@mail.ru.

Зверев Олег Михайлович – кандидат технических наук, доцент, e-mail: ckko-sm2@pstu.ru.

ViktoriiA. Muratova – Student, e-mail: mva-98-vika@mail.ru.

Veronika V. Funtyaeva – Student, e-mail: nikafunt573@mail.ru).

Oleg M. Zverev – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: ckko-sm2@pstu.ru.

MOBILE PNEUMATIC TRANSPORTER FOR SNOW AND GARBAGE REMOVAL FROM ROOFS AND HOUSE AREAS

V.A. Muratova, V.V. Funtyaeva, O.M. Zverev

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 03 March 2021

Accepted: 25 May 2021

Published: 13 July 2021

Keywords:

pneumatic transport, pneumatic transporter, snow removal, polyethylene film, ejection funnel.

ABSTRACT

Snow removal from roofs and near-house territories is relevant for the Perm Territory in the winter. The article discusses a mobile pneumatic transporter for garbage and snow removal consisting of a fan, a loading bin, an ejector chamber, and a vibrator. The main novelty of the plant is the use of polyethylene film for transport ducts. Air ducts were made by soldering with a hot iron. In the suture allowances, sutures were made to hang air ducts on a cable when removing snow from the roof. The calculation of the ejection funnel for the fan FS-2101/SP 220D is given in the work. As the funnel body, a plumbing two-rib tee with a diameter of 150 mm was used, in which a confuser of $\varnothing 100$ mm was made. Since there is no data in the literature on the coefficient of friction of polyethylene, measurements of the total pressure losses in the system from the funnel to the final point of unloading, the dependence of the air flow rate and the suction rate from the loading hopper were made on the forty-meter air duct. After the calculations, a mixing chamber with a diameter of 125 mm was added to the tee.

The pneumatic transporter demonstrated the ability to move snow to a distance of 40 meters at a speed of 10 m/s. Snow capacity is 9 cubic meters per hour. When removing snow from the roof along the air duct suspended with a slope of 1: 4, the snow can slide without the fan turned on. The pneumatic transporter can be used as a loader to a height of at least 4 m. The advantage of our pneumatic transporter over snowplows is the electric fan drive. This allows you to store the installation in the utility rooms of a residential building, without violating fire safety. The film ducts are compactly folded into a storage roll.

© PNRPU

Введение

Несвоевременная уборка снега с крыш может привести к образованию сосулек и наледей, повышенным нагрузкам на конструкции, повреждению кровельного материала и карнизов. Сбрасывание снега при традиционном удалении лопатой повреждает выступающие элементы фасада и крыши пристроек. Рядом со зданием образуется снежный вал, который потом тоже приходится убирать. Для решения проблемы мы предлагаем пневмотранспортную установку для уборки снега с крыши [1], которая мобильна и проста в работе, позволяет убрать снег сразу в кузов автомобиля или в место удобного складирования.

Пневмотранспортирование давно используется для перемещения сыпучих грузов [2], но никто не будет делать рядом со зданием систему нагнетательных трубопроводов только для того, чтобы 1–2 раза за зиму убрать снег. Целью работы было создание легко переносимой установки и пневмонагнетательных трубопроводов, которые можно быстро смонтировать в любом месте, а потом демонтировать.

Обзор технологий

Использовать сжатый воздух для уборки снега с крыш предлагается во многих работах. Это может быть струя воздуха от компрессора, гибким шлангом которого управляет оператор, передвигающийся по коньку [3], либо целая автоматическая система сдува снега с названием «Крыша» [4]. Мы проверили патенты [3, 4] экспериментально: компрессором

мощностью 1,8 кВт и производительностью 16 м³/ч на сдувание снега толщиной 5 см с модельной крыши площадью 1,5 м² ушло целых 4 мин 20 с (https://youtu.be/LXP_48tjuzw) [5]. Резко увеличить производительность по воздуху можно, используя вместо компрессора вентилятор, это и предлагается в работах [6–8]. Действительно, воздуходувкой *Echo ES-2100* мощностью 0,51 кВт и производительностью по воздуху 540 м³/ч мы сдули снег с модельной крыши уже за 60 с (<https://youtu.be/MU0wgOZIKbM>). Но все равно это заведомо медленнее, чем лопатой. И самое главное – и компрессор, и воздуходувка отбрасывают снег максимум на 1,5 м. При продвижении вдоль крыши будет накапливаться снежный вал, который отбросить все труднее.

Другое название воздуходувки – садовый пылесос. Она используется, в том числе, для сбора мусора и листьев, т.е. может собрать мусор (или снег) и отбросить его далеко, если к ней добавить воздуховод (пневмотранспортный трубопровод). Так появилась идея использования пневмотранспорта для уборки снега. Но в садовом пылесосе всасываемый воздух с мусором проходит через вентилятор (крыльчатку), снег может сработать как абразив, что приведет к быстрому износу лопастей. Поэтому было принято решение использовать эжекционную воронку.

Разработка пневмотранспортера

Первую модель пневмотранспортера мы изготовили на базе старого пылесоса «Ракета», и предназначалась она для проверки самой идеи пневмотранспортирования и первой попытки использования разборного трубопровода и трубопровода из воздухонепроницаемой ткани. Разборные секции – две сантехнические трубы (50 мм) длиной по 2 м, третью секцию склеили из полиэтиленовой пленки. Функцию эжекционной воронки выполнял тройник, часть которого на входе была перекрыта клинышком из пеноплекса для создания эффекта всасывания. Испытания, проведенные на опилках, показали, что использовать тканевые воздуховоды можно. Но производительность установки в первую очередь определяется быстротой поступления сыпучего материала в загрузочное отверстие, приходилось стучать по тройнику молотком (<https://youtu.be/sxmZ7qwunX0>). С помощью вибраций можно значительно ускорить движение снега вниз [9].

Прототипом для заявки на полезную модель выбрана нагнетательная пневмотранспортная установка [10] с вибраторами направленного действия. Нам вибраторы в первую очередь были нужны для лучшего ссыпания транспортируемого материала из загрузочного бункера в эжекторную камеру.

Патентование пневмотранспортной установки для уборки снега с крыши [11] (рис. 1) проходило одновременно с ее изготовлением (рис. 2). Подробный отчет об испытаниях приведен в работах [12, 13]. Главные выводы: снег можно транспортировать по горизонтали на расстояние как минимум 18 м, вверх как минимум на 2 м, тканевые воздуховоды компактно сворачиваются в рулоны. При изготовлении и испытаниях установка была усовершенствована. Загрузочный бункер был изготовлен съемным, секции тканевых воздуховодов соединялись не через бандаж, а замками-молниями. Мы отказались от питателя в пользу эжекторной камеры. При изготовлении воздуховодов из ткани остается припуск на шов, поэтому возникла идея разместить в нем люверсы для подвешивания воздуховодов к тросу. Эти усовершенствования были запатентованы [1] (рис. 3). Испытания выявили основной недостаток второй установки – недостаточная производительность, обусловленная малой мощностью (210 Вт) и недостаточным максимальным давлением (520 Па) вентилятора WNK 250/1.

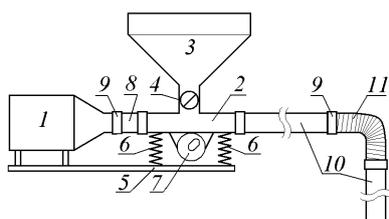


Рис. 1. Пневмотранспортная установка для уборки снега с крыши [11]

Fig. 1. Pneumatic transport installation for snow removal from the roof [11]



Рис. 2. «Реальная» пневмотранспортная установка для уборки снега с крыши

Fig. 2. «Real» pneumatic transport installation for snow removal from the roof

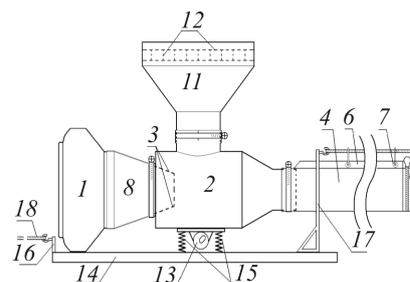


Рис. 3. Пневмотранспортная установка для уборки снега с крыши [1]

Fig. 3. Pneumatic transport installation for snow removal from the roof [1]

Для третьей модели мобильного пневмотранспортера (рис. 4) мы использовали центробежный вентилятор FS-2101/SP 220D мощностью 750 Вт, производительностью до 1600 м^3 воздуха в час, с максимальным давлением 1600 Па. Диаметр перехода с выходного патрубка вентилятора 160 мм, это позволило изготовить эжекторную камеру из пластикового канализационного двухраструбного тройника с внешним диаметром 160 мм (внутренний 150 мм), а не 110 мм – как у предыдущей установки. Увеличив диаметр входного отверстия загрузочного бункера в 1,5 раза, мы увеличили площадь в 2,25 раза. Тройник установлен на площадке с четырьмя пружинами, под которой прикреплен вибратор (электродвигатель с грузом-дебалансом, частота 2700 об./мин).

Секции нагнетательного воздуховода (см. рис. 2) были изготовлены из плащевой мембраны *Fitto*. Но «плащевка» – материал дорогой, поэтому было принято решение попробовать в качестве материала воздуховодов парниковую полиэтиленовую пленку толщиной 240 мкм, которая в 20 раз дешевле плащевой ткани. Самым простым и надежным способом соединения полиэтилена является сварка [14]. Сварку краев воздуховодов производили разогретым утюгом через бумагу и на бумаге. Было изготовлено 4 секции по 10 м и 3 секции по 3 м. Прикрепить замки молнии к пленке трудно, поэтому секции воздуховодов соединялись через бандажи: один конец крепился к трубе из оцинковки $\text{Ø}160 \text{ мм}$ и длиной 70 мм сантехническим скотчем, конец другого надевался сверху и стягивался хомутом (рис. 5).



Рис. 4. Мобильный пневмотранспортер ПТМ-3
 Fig. 4. Mobile pneumatic transporter PTM-3



Рис. 5. Бандаж
 Fig. 5. Bandage

Рассчитать эжекционную воронку по стандартной методике, предложенной в работе [15], не представлялось возможным, так как в формулы входит коэффициент сопротивления трения, который для воздуховодов из полиэтиленовой пленки не известен – таких воздуховодов никто не делал. Кроме того, при сварке полиэтилен садится на шве и воздуховод получается не прямым, а дугообразным, с морщинами у шва. Поэтому было решено воспользоваться методикой расчета эжекционной воронки (рис. 6) для транспортировки опила [16], а исходные данные для расчета – суммарные потери давления в системе $\Sigma\Delta p$ от воронки до конечной точки разгрузки – определить экспериментально.

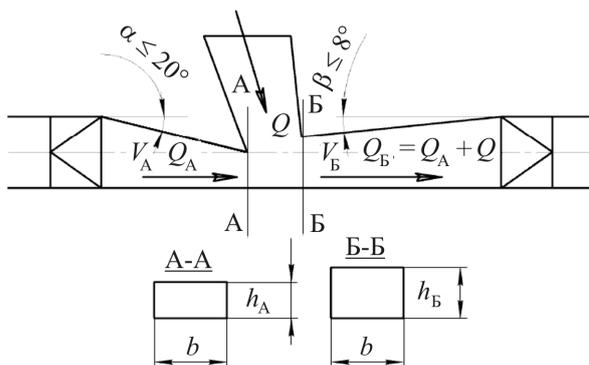


Рис. 6. Схема к расчету эжекционной воронки
 Fig. 6. Diagram for ejector funnel calculation

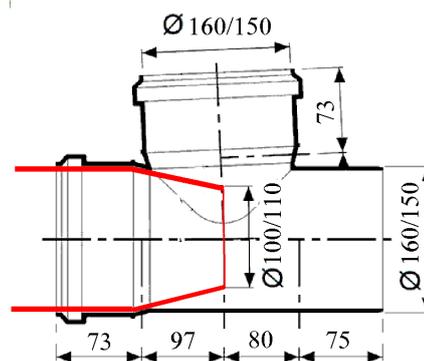


Рис. 7. Эжекторная камера для определения потерь в воздуховоде
 Fig. 6. Ejector chamber for determination of duct losses

В двухраструбный тройник был вставлен конфузор со 150 до 100 мм, заканчивающийся посередине загрузочного отверстия (рис. 7). Сначала анемометром Testo 410-1 измерили скорость воздуха на выходе и скорость всасывания над загрузочным отверстием при различных длинах воздуховода. Причем скорость на выходе измеряли с края воздуховода и на его середине. Скорость на середине всегда была на 4–5 м/с больше, на графике приведена средняя скорость (рис. 8).

По скорости можно определить реальный расход воздуха в сечении Б:

$$Q_B = V \cdot S = V \cdot \pi R^2 = 16 \cdot 3,14 \cdot 0,08^2 = 0,32 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ или } 1150 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Далее водяным манометром с помощью шупа (трубка $\varnothing 4$ мм длиной 80 мм) через отверстия в бандажах измерили давление с края и посередине воздуховода. Давление у стенок примерно на 50 Па больше. На графике (рис. 9) дано среднее давление.

Расчет эжекционной воронки

Давление на нулевой отметке в расчет брать нельзя – оно измерялось на расстоянии всего лишь 0,16 м от конфузора. Рядом с конфузуром, на его середине, отрицательное давление (разряжение) 400–500 Па. На 30 м воздуховода падение давления около 500 Па, т.е. полное давление в сечении Б-Б $H_B = \Sigma\Delta p = 500$ Па. Взяв плотность воздуха при -10°C

$$\rho = 1,342 \text{ кг/м}^3, \text{ получим скорость воздуха в сечении Б-Б } V_B = \sqrt{\frac{2H_B}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 500}{1,342}} \approx 28 \text{ м/с}.$$

Вывод: скорость в сечении Б-Б больше скорости в воздуховоде в $28/16 = 1,75$ раза, значит, диаметр сечения Б-Б меньше в $\sqrt{1,75} \approx 1,3$ раза. Ближайший стандартный $\varnothing 125$ мм.

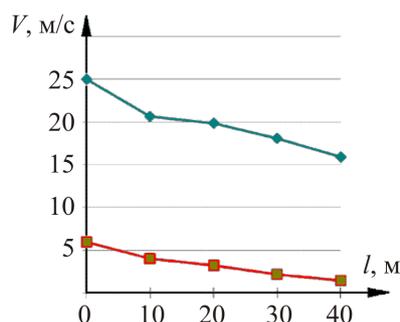


Рис. 8. График зависимости скорости на выходе (—◆—) и скорости всасывания (—■—) от длины \$l\$ воздуховода
 Fig. 8. Graph of dependence of outlet speed (—◆—) and suction speed (—■—) on length \$l\$ of air duct

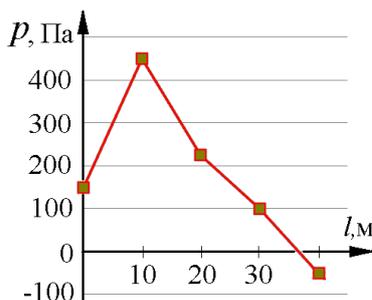


Рис. 9. График зависимости давления \$p\$ по длине \$l\$ воздуховода
 Fig. 9. Graph of pressure \$p\$ by length \$l\$ of air duct

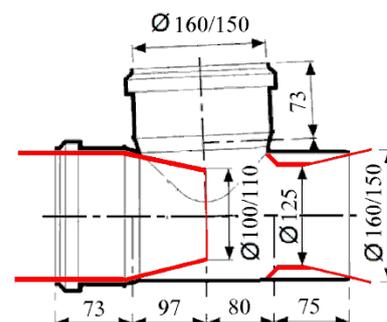


Рис. 10. Эжекторная камера в рабочей установке
 Fig. 10. Ejector chamber in operating unit

Задавшись максимальным коэффициентом подсоса воздуха через воронку $K = 1,15$ и коэффициентом полезного действия воронки $\eta = 0,7$, определяем полное давление в сечении А-А: $H_A = \frac{H_B}{\eta} K = \frac{500}{0,7} 1,15 = 820$ Па. Тогда скорость в сечении А-А

$V_A = \sqrt{\frac{2H_A}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 820}{1,342}} \approx 35$ м/с. При расходе $0,32$ м³/с площадь сечения А-А должна быть 91 см², а его диаметр (диаметр конфузора) – 106 мм.

После проведенных расчетов мы добавили в тройник камеру смешения диаметром 125 мм (рис. 10). После этого скорость всасывания выросла в $2,5$ – 3 раза. Измеренная производительность установки составила 9 м³/ч, коэффициент смешения $9/1150 \approx 1/130$.

Результаты испытаний ПТМ-3 (пневмотранспортер мобильный – модель 3)

Испытания установки проводились в январе–феврале 2021 г. В первую очередь проверили возможность транспортировки по горизонтали. Максимальная дальность 40 м. При дальнейшем увеличении длины воздуховода пропадает эффект всасывания воздуха из горловины загрузочного бункера и снег начинает «фонтанировать». Опил транспортируется так же успешно, как снег. По видео определили примерную скорость движения снега и опила – около 10 м/с. Измеренная анемометром скорость воздуха на выходе сорокаметрового воздуховода без транспортировки снега – $13,4$ м/с с краю, $18,5$ м/с в середине воздуховода.

Для транспортировки с крыши в припуске на шов (месте сварки) одной из десятиметровых секций через 1 м были установлены люверсы, за которые секцию подвесили к тросу (рис. 11). Было обнаружено, что при уклоне $1:4$ ($\approx 14^\circ$) снег по полиэтиленовому воздуховоду скатывается и при выключенном вентиляторе, т.е. длина воздуховода может быть бесконечной.

Для проверки возможности использования пневмотранспортера в качестве погрузчика использовали две трехметровые сантехнические трубы с внутренним $\varnothing 150$ мм, установленные примерно под 45° (рис. 12). Снег и опил с деревянными включениями (кубики от 25 до 40 мм) летят на высоту более 4 м.



Рис. 11. Транспортирование
с крыши

Fig. 11. Transportation from the roof



Рис. 12. Пневмотранспортер-погрузчик
Fig. 12. Pneumatic transporter-loader

Производительность пневмотранспортера мы измеряли ведрами 6 раз с воздуховодом длиной 20 м. Пять ведер снега по 21 л «улетали» за время от 40 до 44 с, это $9 \text{ м}^3/\text{ч}$. Попробовали использовать другой вибратор с грузом-дебалансом большей массы (325 г), заметного изменения производительности не заметили.

Краткий видеотчет об испытаниях представлен в YouTube «Мобильный пневмотранспортер» (<https://www.youtube.com/watch?v=QaLEw2iflTo>).

Выводы

1. Главное преимущество нашего пневмотранспортера перед снегоуборщиками – электропривод вентилятора. Это позволяет хранить установку в подсобных помещениях жилого дома, не нарушая пожарную безопасность.

2. Масса установки в сборе с воздуховодами не превышает 30 кг, это позволяет вручную поднять ее на любую крышу.

3. При мощности двигателя, в 4–10 раз меньшей, чем у снегоуборщика, дальность уборки больше в 4 раза, высота – в 2 раза.

4. Транспортные трубопроводы могут быть изготовлены из полиэтиленовой пленки. По сравнению с воздуховодами из оцинкованной стали это в 15–20 раз дешевле. Для хранения воздуховоды компактно сворачиваются в рулон.

Библиографический список

1. Пневмотранспортная установка для уборки снега с крыши: пат. п.м. 195081 МПК E04D 13/076, B65G 53/04 / Л.В. Задорина, О.М. Зверев, В.А. Муратова, Е.М. Оборина, В.В. Фунтяева, В.В. Караваев. – № 2019129679; заявл. 19.09.2019; опубл. 15.01.2020. – Бюл. № 3.

2. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины: учеб. пособие для машиностроительных вузов. – 3-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1983. – 487 с.

3. Способ уборки снега с крыши здания: пат. 2459054 Рос. Федерация: МПК E04D13/076 / Ю.Д. Тарасов. – № 2010142144/03; заявл. 13.10.2010; опубл. 20.08.2012. – Бюл. № 23.

4. Крыша: пат. 2471939 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / М.С. Беллавин. – № 2011122073/03; заявл. 31.05.2011; опубл. 10.01.2013. – Бюл. № 1.

5. 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. – № 1. – С. 70–85.
6. Способ предотвращения образования сосулек, налета снега, налета твердых частиц вещества: пат. 2462566 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / С.А. Шамраев, В.В. Шамраев. – № 2011101083/03; заявл. 12.01.2011; опубл. 27.09.2012. – Бюл. № 27.
7. Подвижное устройство для сдува снега и твердых частиц: пат. п.м. 127103 Рос. Федерация: МПК E04D 13/076 / С.А. Шамраев, В.В. Шамраев, К.В. Кузнецов. – № 2012140582/03; заявл. 21.09.2012; опубл. 20.04.2013. – Бюл. № 11.
8. Снегоуборщик: пат. п.м. 114966 Рос. Федерация: МПК E01H 5/08 / Г.И. Игнатенков, В.Г. Игнатенков. – № 2011147893/13; заявл. 24.11.2011; опубл. 20.04.2012. – Бюл. № 11.
9. Задорина Л.В., Муратова В.А., Зверев О.М. О возможности использования вибраций для удаления снега с наклонной кровли // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 87–96. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.09
10. Нагнетательная пневмотранспортная установка: пат. 2276092 Рос. Федерация: МПК B65G 53/04 / Ю.Д. Тарасов. – № 2004134497/11; заявл. 25.11.2004; опубл. 10.05.2006. – Бюл. № 13.
11. Пневмотранспортная установка для уборки снега с крыши: пат. п.м. 186422 МПК E04D 13/076 / Бурков А.И, Л.В. Задорина, О.М. Зверев, В.А. Муратова. – № 2018139192; заявл. 06.11.2018; опубл. 21.01.2019. – Бюл. № 3.
12. Задорина Л.В., Муратова В.А., Зверев О.М. Уборка снега с крыш и придомовых территорий с помощью пневмотранспортирования // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы XII Всерос. молодеж. конф. аспирантов, молодых ученых и студентов (13–15 мая 2020 г.). – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2020. – Ч. 2. – С. 101–106.
13. Задорина Л.В., Муратова В.А., Зверев О.М. Использование пневмотранспорта для уборки снега с крыши // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2020. – № 1. – С. 85–96.
14. Соколов В.А., Седикова А.В., Салыков Н.Б. Сварка полиэтиленовых труб при обустройстве колодцев скважин // Техника и технологии машиностроения: материалы VII Международной научно-технической конференции (21–23 мая 2018 г.) / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Омск. гос. техн. ун-т. – Омск: Изд-во ОГТУ, 2018 – С. 82–86.
15. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха / В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, И.В. Посохин [и др.]; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
16. Кузнецов В.С., Денисов С.В. Пневматический транспорт на деревообрабатывающих предприятиях. Внешние пневмотранспортные установки: учеб. пособие. – Братск: БрГУ, 2007. – 67 с.

References

1. Zadorina L.V., Zverev O.M., Muratova V.A., Oborina E.M., Funtyaeva V.V., Karavaev V.V. Pnevmotransportnaya ustanovka dlya uborki snega s kryshi [Pneumatic transport installation for snow removal from the roof] Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 195081 (2020).

2. Spivakovskiy A.O., D'iachkov V.K. Transportiruiushchie mashyny [A transport vehicle] 2nd ed. Moscow, Mashinostroenie, 1983, 487 p.
3. Tarasov Yu.D. Sposob uborki snega s kryshi zdaniya [the Method of snow removal from the roof of the building]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2459054 (2012).
4. Bellavin M.S. Krysha [Roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2471939 (2013).
5. Zadorina L., Muratova V., Golubev V., Zverev O. Theoreticheskiy i experimentalny analys sposobov i ustroystv dlya udaleniya snega so skatnykh krysh [Theoretical and experimental analysis of methods and devices for snow removal from pitched roofs]. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2018, no. 1. pp. 70–85.
6. Shamraev S.A., Shamraev V.V. Sposob predotvrashcheniya obrazovaniya sosulek, naleta snega, naleta tverdykh chastits veshchestva [A method of preventing the formation of icicles, snow plaque, plaque solids] Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2462566 (2011).
7. Shamraev S.A., Shamraev V.V., Kuznetsov K.V. Podvignoe ustroystvo dlya sduva snega i tverdykh chastits [Mobile device for blowing off snow and solid particles]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 127103 (2012).
8. Ignatenkov G.I. Ignatenkov V.G. Snegouborshchic [Snowthrower]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 114966 (2012).
9. Zadorina L.V., Muratova V.A., Zverev O.M. O vozmozhnosti ispol'zovaniya vibracij dlya udaleniya snega s naklonnoj krovli [About the possibility of using vibrations to remove snow from a sloping roof]. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*, 2019, vol. 10, no. 3, pp. 87–96. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.3.09.
10. Tarasov Yu.D. Nagnetatel'naya pnevмотransportnaya ustanovka [Pneumatic discharge unit]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2276092 (2006).
11. Burkov A.I., Zadorina L.V., Zverev O.M., Muratova V.A. Pnevмотransportnaya ustanovka dlya uborki snega s kryshi [Pneumatic transport installation for snow removal from the roof]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 186422 (2019).
12. Zadorina L., Muratova V., Zverev O. Uborka snega s krysh i pridomovyh territorij s pomoshch'yu pnevмотransportirovaniya [On the possibility of using pneumatic transport for snow removal from the roof]. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2020, iss. 2, pp. 376–385.
13. Zadorina L., Muratova V., Zverev O. Theoreticheskiy i experimentalny analys sposobov i ustroystv dlya udaleniya snega so skatnykh krysh [Theoretical and experimental analysis of methods and devices for snow removal from pitched roofs]. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2020, no. 1, pp. 70–85.
14. Sokolov V., Sedikova A., Salykov N. Svarka polietilenovykh trub pri obustroystve koldtsev skvazhin [Welding of polyethylene pipes during well wells arrangement]. *Engineering Engineering and Technology: Materials of the VII International Scientific and Technical Conference* (May 21–23, 2018), pp. 82–86.
15. Spravochnik proektirovshchika. Vnutrennie sanitarno-tekhicheskie ustrojstva. Part 3. Ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha [Designer Reference Book. Internal sanitary facilities. Ch. 3. Ventilation and air conditioning] V.N. Bogoslovskij, A.I. Pirumov, I.V. Posohin and others.; Ed. N.N. Pavlov and Yu.I. Shiller, Moscow, Strojizdat, 1992, 319 p.
16. Kuznecov V.S., Denisov S.V. Pnevmaticheskij transport na derevoobrabatyvayushchih predpriyatiyah. Vneshnie pnevмотransportnye ustanovki [Pneumatic transport in woodworking factories. External pneumatic conveying units]. Bratsk, BrSU, 2007, 67 p.