

Научная статья

УДК 624

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-4-618-627>

EDN: NZQOFS



РАЗРАБОТКА СНЕГОПЕРЕДУВАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОТ СНЕЖНЫХ ЗАНОСОВ

Д.Н. Санников, В.В. Серватинский
Сибирский Федеральный Университет,

г. Красноярск, Россия

✉ ответственный автор

brownGp2@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. На сегодняшний день существует проблема снегозаносимости ввиду расположения многих автомобильных дорог в удаленных, труднодоступных районах и сложных климатических условиях. Снежные заносы значительно увеличивают расходы на зимнее содержание автомобильных дорог, являются частичным следствием разрушения и обслуживания в летний период, а также создают серьезную угрозу безопасности, вызывая потерю контроля над транспортным средством. Для решения очистки снежных заносов с автомобильной дороги предлагается внедрение снегопредувающих конструкций. Основной задачей исследования является выполнение моделирования и выявление оптимальной скорости воздушного потока, при которой формируется снегопредувающий процесс. Цель работы – создание метода защиты автомобильных дорог от снежных заносов с помощью конструкций формирующих снегопредувание.

Методика исследования. Применение метода снегопредувания и возможности установки снегопредувающих конструкций на автомобильных дорогах для защиты от снежных заносов. Исследован процесс движения снежных частиц в условиях снежной метели и влияние данных процессов на снегопредувание.

Результаты. В работе освещены вопросы, связанные с анализом и оценкой скорости воздушного потока, погодные условия, влияющие на работу конструкций. Показаны условия работы снегопредувающих конструкций на автомобильных дорогах при различных скоростях воздушного потока. Установлено, при какой оптимальной скорости создается эффект снегопредувания.

Заключение. Смоделирован процесс снегопредувания на разработанной снегопредувающей конструкции в разных условиях. На основании рассмотренного подхода выполнен сравнительный анализ работы снегопредувающей конструкции. Внедрение снегопредувающих конструкций позволит снизить затраты на механизированную очистку автомобильных дорог. А также увеличивается социальный эффект по повышению безопасности передвижения транспортных средств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: снегозащитные ограждения, снегоперенос, снегозаносимость, снегопредувающие ограждения, сдувание снега, снежные заносы, снежные отложения, снегопредувание, метель

Статья поступила в редакцию 11.04.2024; одобрена после рецензирования 22.07.2024; принята к публикации 14.08.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Санников Д.Н., Серватинский В.В. Разработка снегопредувающих конструкций для защиты автомобильных дорог от снежных заносов // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 4. С. 618-627. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-4-618-627>

© Санников Д.Н., Серватинский В.В., 2024



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-4-618-627>
EDN: NZQOFS

DEVELOPMENT OF SNOW-BLOWING STRUCTURES FOR PROTECTION ROADS FROM SNOW DRIFTS

Denis N. Sannikov, Vadim V. Servatinsky
Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russian
✉ corresponding author
brownGp2@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. The article discusses the use of the snow blowing method and the possibility of installing snow-blowing structures on highways to protect against snow drifts. The problem of snow tolerance is identified due to the location of many highways in remote, hard-to-reach areas and difficult climatic conditions. Snow drifts significantly increase the cost of winter maintenance of roads, are a partial consequence of destruction and maintenance in the summer, and also pose a serious threat to safety, causing loss of control over the vehicle.

Research methodology. The article discusses the application of the snow blowing method and the possibility of installing snow-blowing structures on roads to protect against snow drifts. The process of movement of snow particles in a snowstorm and the influence of these processes on snow blowing are considered.

Results. The paper highlights the issues related to the analysis and assessment of the speed and composition of the air flow, weather conditions affecting the operation of structures. The main purpose and working conditions of snow-blowing structures on highways have been determined. The optimum speed at which the snow blowing effect is created is determined.

Conclusion. The snow blowing process on the developed snow blowing structure in different conditions is modelled. Based on the considered approach, a comparative analysis of the operation of the snow blowing structure is performed. Based on the data obtained, the possibilities for the introduction of snow-blowing structures and refinement in real working conditions have been studied.

KEYWORDS: snow protection shields, snow transfer, snow tolerance, snow-blowing shields, snow blowing, snow drifts, snow deposits, snow blowing, blizzard

The article was submitted 11.04.2024; approved after reviewing 22.07.2024; accepted for publication 14.08.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Sannikov D.N., Servatinsky V.V. Development of snow-blowing structures for protection roads from snow drifts. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21 (4): 618-627. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-4-618-627>

© Sannikov D.N., Servatinsky V.V., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

Существенная площадь территории Российской Федерации расположена в отдаленных и труднодоступных регионах, со сложной погодной ситуаций в зимний период. Возникает проблема беспрепятственного передвижения транспорта. Особенностью содержания автомобильных дорог в зимний период времени является наличия обильных снежных осадков, которые образуются в результате сильных снегопадов и интенсивных метелей. Уборка снега механическим путем не всегда эффективна ввиду удалённости автомобильных дорог¹.

Опыт разных стран показал, что использование дополнительных мер защиты от метелей и снежных заносов, помимо механической снегоуборочной очистки, показал себя с положительной стороны. Исследования по защите автомобильных дорог от снежных заносов представлены как в отечественной, так и в зарубежной практике² [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14]. Установка снегозащитных, снегопередающих ограждений и высадка снегозащитных лесополос является эффективной мерой защиты и обслуживания автомобильных дорог в зимний период времени³.

В рамках исследования предлагается внедрение снегопередающих конструкций, основной задачей которых является передовая снежной метели через автомобильную дорогу.

Основные задачи исследования:

1. Проанализировать процесс снегопередавания на автомобильных дорогах.
2. Выполнить моделирование работы снегопередающих ограждений на автомобильных дорогах с разными скоростями воздушного потока.

Учитывая большой объем научных работ, изучающих процессы снегопереноса и снежных заносов на автомобильных дорогах, проблема уборки снежных отложений и работы снегоуборочных машин является острой. Ав-

томобильные дороги на сегодняшний день создаются многополосными и составляют большую ширину с наличием элементов дорожной инфраструктуры. Препятствия на автомобильной дороге могут привести к возможному появлению заносов и накоплению снега. Среди факторов, влияющих на снегозаносимость автомобильных дорог и магистралей, можно выделить⁴:

- метеорологические (режим метели, тип и продолжительность, скорость ветра, высота снежного покрова, объем снегопереноса и т. д.);
- дорожные (параметры дорожного полотна, дорожные конструкции и т. д.);
- естественный рельеф, наличие растительности и т. д.

Меры по борьбе со снежным заносом на дорогах рассматриваются на таких этапах, как планирование, проектирование, строительство и монтаж. Необходимо изучить соответствующие меры по борьбе со снежным заносом на каждом этапе проекта. После установки средств борьбы со снежным заносом необходимо постоянно проверять их работоспособность и вносить необходимые усовершенствования для усиления мер по борьбе со снежным заносом.

Исследования, необходимые для объектов по борьбе со снегопадом, делятся на несколько частей: схематическое обследование, базовый анализ, обследование условий. Цель каждого обследования заключается в следующем: понимание погодных условий и возможности снежных заносов зимой, всестороннее понимание степени опасности от снежной метели, изучение необходимости принятия мер по борьбе со снежным заносом, изучение предметов первой необходимости, изучение будущих мер по борьбе со снежным заносом, определение мер, которые уменьшат опасность снежного заноса.

Базовый анализ включает оценку необходимости средств борьбы со снежным заносом, изучение диапазона, охватываемого сред-

¹ Санников Д.Н., Серватинский В.В. Разработка и моделирование снегопередающего ограждения для защиты автомобильных дорог от снежных заносов // ИСПЫТАНИЯ, ДИАГНОСТИКА, НАДЕЖНОСТЬ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. 2023. С. 8–12.

² Степанов А.В., Винокурова Т.Г., Катаров В.К., Марков В.И. Организация строительства автомобильных дорог. Петрозаводск: ПетрГУ, 2021. 80 с.

³ Санников Д.Н., Серватинский В.В. Моделирование снегопередающей конструкции для защиты автомобильных дорог от заносов // Автомобильные дороги 1-й дорожно-климатической зоны. 2023. С. 30–34.

⁴ Бялобжеский Г.В., Дюнин А.К., Плакса Л.Н., Рудаков Л.М., Уткин Б.В.; под ред. Дюнина А.К. Зимнее содержание автомобильных дорог. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1983. 197 с.

ствами борьбы со снежным заносом, схематическое проектирование средств борьбы со снежным заносом (выбор средств борьбы со снежным заносом, определение их технических характеристик и мест установки).

Обследование проектных условий: определение расчетных значений контроля выдувания снега, понимание условий для роста на участках с лесами, на дороге и детальное проектирование средств борьбы со снежными заносами.

Метель – это сложный двухфазный поток, при котором ветер совпадает с различными видами осадков, выпадающих только при низких температурах, такими как снег, смесь снега и дождя или ледяной дождь. В умеренно-континентальном и субарктическом климате эти штормы не обязательно ограничиваются зимним сезоном, но могут возникать также поздней осенью и ранней весной.

Метель образуется, когда влажный воздух поднимается в атмосферу, создавая низкое давление у земли. Влага собирается ветром из больших водоемов, таких как большое озеро или океан. Если температура ниже нуля, 0 °C (32 °F), вблизи земли и в облаках будут выпадать осадки в виде снега, наледи, дождя и снежной смеси (мокрый снег), ледяных гранул. При метели действует эффект непрерывного обмена воздушной среды и снежных частиц с контактом земной поверхности, на которой также находится снежный покров⁵.

Виды фаз метели⁶:

- 1) поземка – перекачивание по земной поверхности крупных заносов;
- 2) сальтация – движение частиц скачками, прыжками в воздушном слое до метра;
- 3) суспензия (диффузия) – образуется из мелкодисперсных отложений.

Движение снежной метели – многофакторный процесс, в котором участвуют несколько фаз метели. Снежные частицы могут быть разных размеров и менять состояние в ходе метели. Плотность снежных частиц может меняться в зависимости от погодных условий. В

ходе метели происходит непрерывный обмен снежных частиц. Они могут сталкиваться друг с другом, нацеплять и разрушать друг друга до более мелких фракций. Также стоит отметить, что в ходе снежной метели участвуют частицы снега как выпавшие, так и поднимаемые с автомобильной дороги. Снежные массы могут менять рельеф местности, что в свою очередь влияет на скорость и объем снегопереноса⁷.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Спроектировано снегопередающее ограждение, представленное на рисунке 1, данный вид ограждения имеет отличную форму от привычных снегопередающих ограждений. За счет ряда физических экспериментов и моделирования аэродинамических процессов получена наиболее аэродинамически эффективная форма, способствующая передуванию снежных масс через автомобильную дорогу. Основная снегопередающая панель выполнена в форме полусферы, за счет такой формы воздушный поток имеет максимальное ускорение, которое будет способствовать передуванию снежных масс через автомобильную дорогу. Верхняя часть выполнена в виде крыла с зазором между основной панелью, которая способствует сжатию воздушного потока, тем самым ускоряя его. Также верхнее крыло выполняет функцию поворота конструкции за счет ветра (принцип флюгера) на 20 градусов вправо и влево относительно изначального 0 состояния, такое нововведение позволит передуть большее количество снега в отличие от стационарной конструкции. Длина и размер нижнего зазора между конструкцией и автомобильной дорогой определены в результате ряда аэродинамических экспериментов и получена оптимальная форма, которая также будет способствовать ускорению воздушного потока за счет сжатия и увеличения скорости. Отношение снегопередающей панели к нижнему зазору составляет 80:20.

⁵ Санников Д.Н., Серватинский В.В. Разработка и моделирование снегопередающего ограждения для защиты автомобильных дорог от снежных заносов // ИСПЫТАНИЯ, ДИАГНОСТИКА, НАДЕЖНОСТЬ. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА. Сборник материалов IV Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск. 2023. С. 8–12.

⁶ Белостоцкий А.М. О математическом (численном) моделировании для определения расчетных снеговых нагрузок на большепролетные сооружения / А.М. Белостоцкий, П.А. Акимов, Н.А. Бритиков // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году. 2020. С. 55–60.

⁷ Building Research Department, Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization. Verification and improvement of snow control performance of windbreak fence // RESEARCH REPORT. 2018.

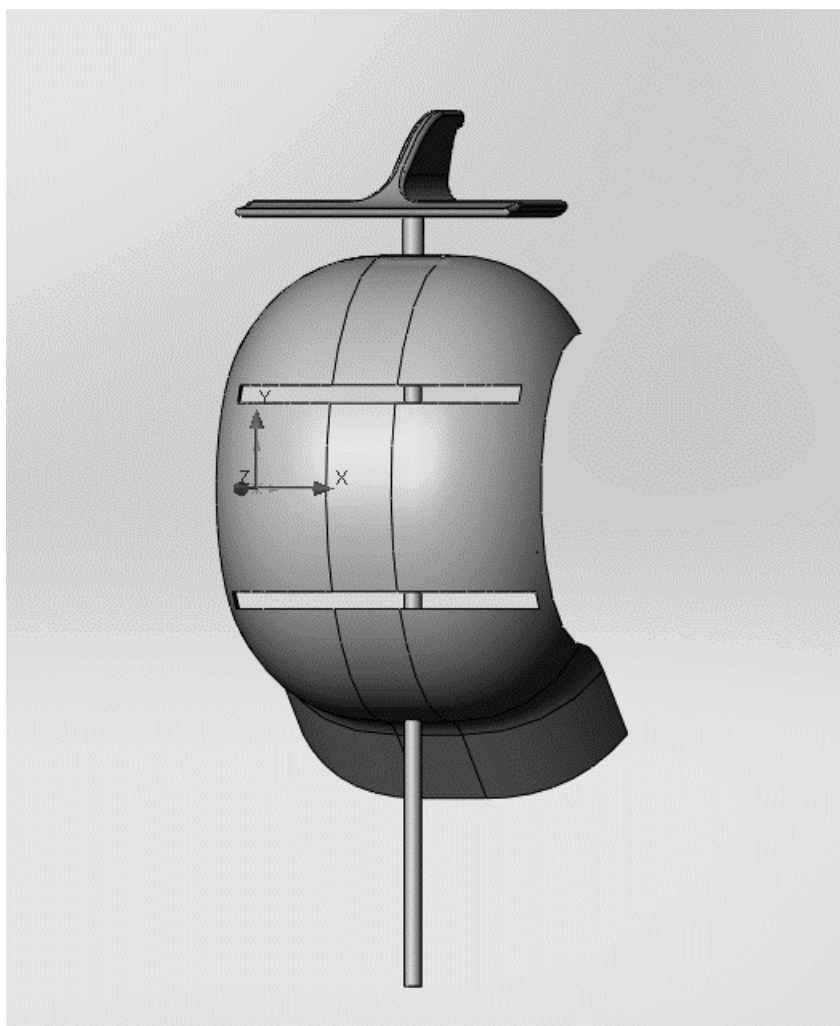


Рисунок 1 – Разработанная снегопередувающая конструкция
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Snow-blowing structure developed
Source: compiled by the authors.

Разрезы в основной снегопередувающей панели составляют просветность 0,2, что способствует снижению завихрения воздушного потока, которое отрицательно сказывается на скорости воздушного потока и ухудшении видимости⁸.

Расчет был выполнен в двумерной постановке. Для оценки использовалась k- RNG модель турбулентности. Расчет и моделирование воздушного потока выполнялось в программе ANSYS Fluent в нестационарной постановке. В прямоугольной расчетной области, представленной на рисунке 2, моделиро-

валось обтекание снегопередувающего ограждения двухфазным потоком со следующими характеристиками: материалом первичной фазы выступал воздух – плотность 1.220 кг/м^3 , вторым материалом выступал лед, изначальная плотность задавалась 150 кг/м^3 и менялась в ходе эксперимента в зависимости от снегонакопления, динамическая вязкость составляла $1.72 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м} \cdot \text{с}$, насыпная плотность вторичной фазы – 150 кг/м^3 , средний диаметр частиц – 50 мкм . Дополнительные условия: давление 101325 Па , температура окружающей среды $-20 \text{ }^\circ\text{C}$.

⁸ Санников Д.Н. Применение методов моделирования для процессов снегопередувания на автомобильных дорогах / Д.Н. Санников, В.В. Серватинский // Актуальные вопросы строительства: взгляд в будущее. Сборник научных статей по материалам II Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2023. С. 90–96.

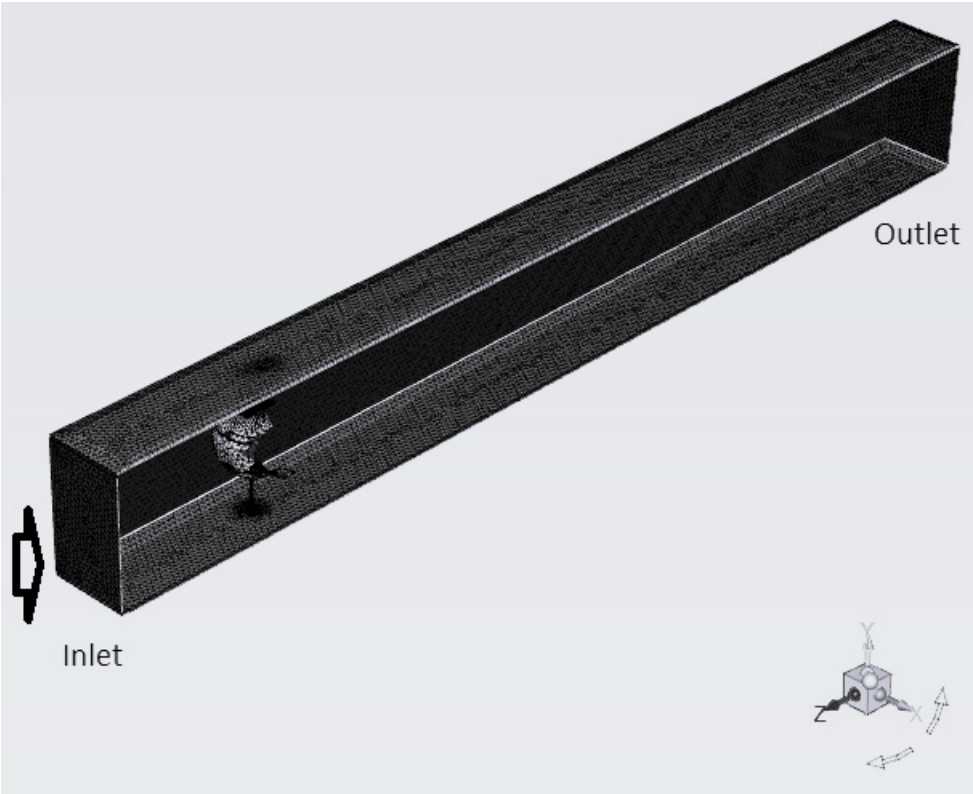


Рисунок 2 – Схема аэродинамического пространства
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Diagram of the aerodynamic space
Source: compiled by the authors.

Таблица
Начальные и граничные условия для аэродинамического пространства
Источник: составлено авторами.

Table
Initial and boundary conditions for the aerodynamic space
Source: compiled by the authors.

Зона	Inlet	Outlet	Floor	Symmetry	Box
Описание	Источник потока	Сток без обратного затекания	Поверхность выдувания и накопления снега	Стены	Снегопередающие ограждение
Граничное условие	Профиль Скорости 4 м/с,7 м/с и 9 м/с, доля объема снега: 1e-4	Давление 0 Па			
Изменение сетки	нет	нет	да	нет	да
Условия турбулентности	Турбулентность 5%, отношение вязкости 10%				

Моделирование формы снегопередавания проводилось при помощи нестационарного расчета с использованием схем первого порядка, что дает хорошую точность для до-

стижения полученных результатов. В таблице представлены параметры для задачи моделирования. На каждый временной шаг задавалось максимум 20 итераций.

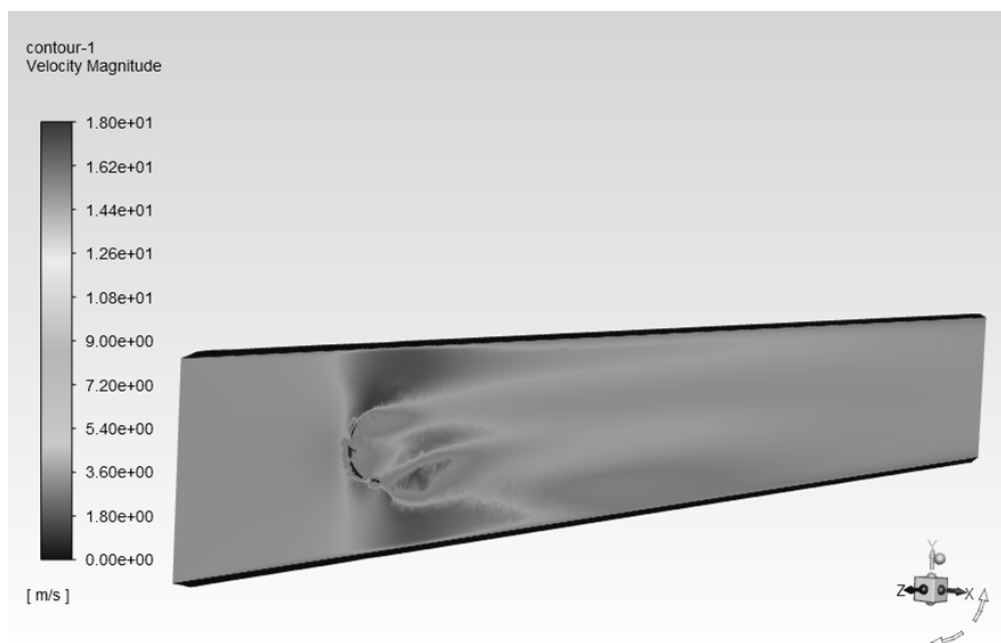


Рисунок 3 – Моделирование снегопередующего процесса с изначальной скоростью воздушного потока 4 м/с
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Simulation of the snow-blowing process with an initial air flow velocity of 4 m/s
Source: compiled by the authors.

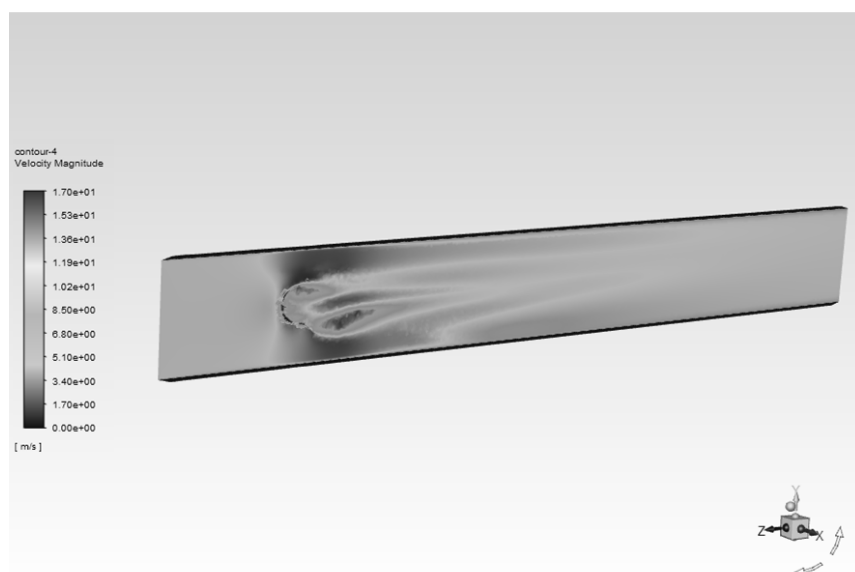


Рисунок 4 – Моделирование снегопередующего процесса с изначальной скоростью воздушного потока 7 м/с
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Simulation of the snow-blowing process with an initial air flow velocity of 7 m/s
Source: compiled by the authors.

Проанализировав работу снегопередующего ограждения, представленного на рисунке 3, с изначальной скоростью воздушного потока равной 4 м/с, можно сказать, что наблюдается незначительный эффект завихрения воздушных потоков за ограждением. Выду-

вание воздушных потоков происходит на минимальную дальность, основное увеличение скорости проходит на расстоянии 2,6Н высоты конструкции. Скорость воздушных потоков в нижней части и верхней части ограждения кратковременно увеличивается с 4 и до 12 м/с.

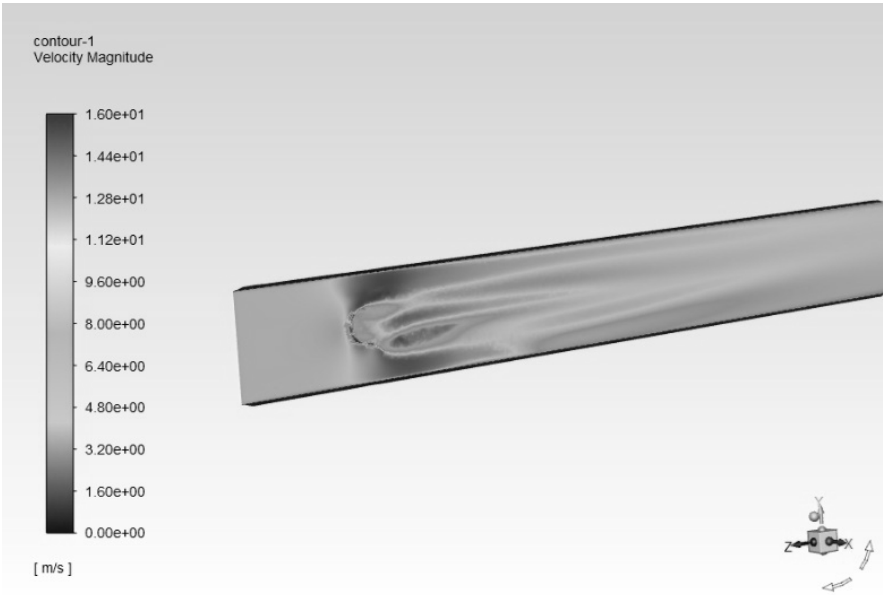


Рисунок 5 – Моделирование снегопередвигающего процесса с изначальной скоростью воздушного потока 9 м/с
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Simulation of the snow-blowing process with an initial air flow velocity of 9 m/s
Source: compiled by the authors.

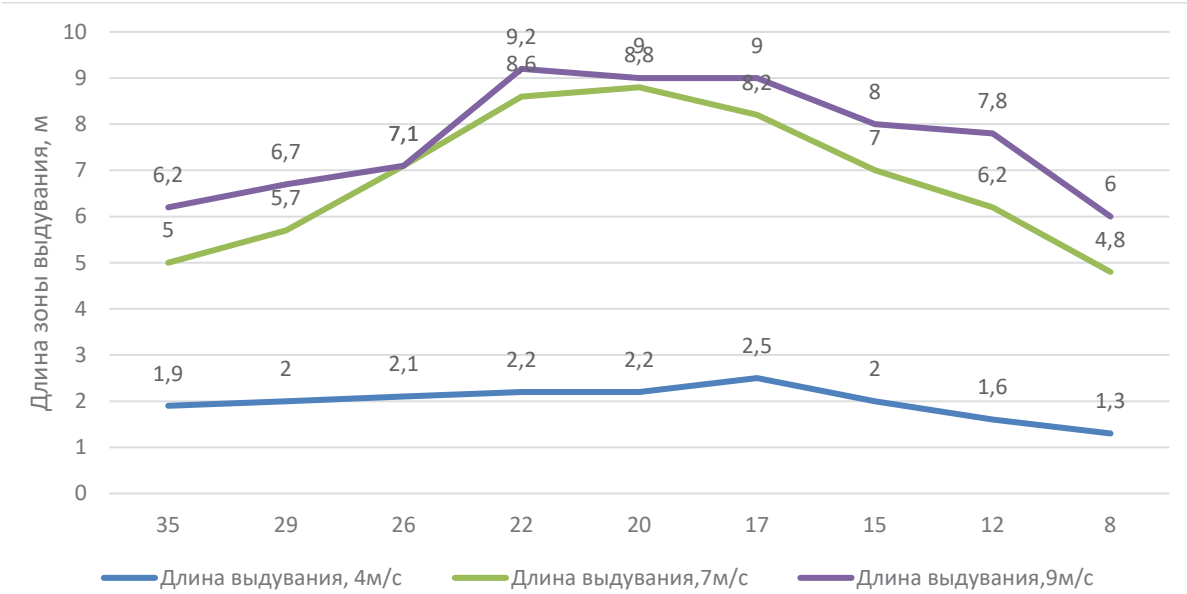


Рисунок 6 – Результаты моделирования
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Simulation results
Source: compiled by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование работы снегопередвигающей конструкции на рисунках 4 и 5 с изначальными воздушными потоками 7 и 9 м/с показало, что происходит значительное увеличение скорости воздушного потока от изначальной,

а также в отличие от моделирования со скоростью 4 м/с наблюдается значительное увеличение расстояния выдуваемого отрезка как сверху, так и снизу. За счет просветности 0,2 в основной панели наблюдается отсутствие завихрения. На рисунке 6 можно наблюдать,

что дальность выдуваемого участка с изначальной скоростью воздушного потока 7 м/с составляет 6Н. При этом дальность воздушного потока при изначальной скорости, равной 9 м/с, составляет 7Н (ограничивается аэродинамическим пространством).

Составлена математическая модель работы снегопередувающей конструкции, которая определяет параметр длины зоны выдувания L в зависимости от высоты конструкции и средней скорости воздушного потока в данной местности в зимний период:

$$L = (1,4v + 0,46p)(H - H_s) \quad (1)$$

Установка дополнительных передувующих элементов увеличивает скорость воздушного потока до 15 м/с, что соответствует кратковременному увеличению скорости воздушного потока на 100% от изначальной скорости. За счет устройства элементов снежная метель на много проще будет передуваться через автомобильную дорогу и откладываться на безопасном расстоянии от дороги. По данным компьютерного моделирования можно утверждать, что снегопередувающий эффект положителен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследован процесс снегопередувания с помощью моделирования работы снегопередувающих конструкций в условиях разных скоростей воздушно-массовых потоков.

На основании поставленных задач можно сделать следующие выводы:

В ходе моделирования и анализа данных получили то, что снегопередувающий процесс, необходимый для передувания снежных масс, с использованием предложенных снегопередувающих конструкций возникает при скоростях воздушного потока свыше 6 м/с.

Выполнено моделирование работы снегопередувающей конструкции со скоростями воздушного потока 4, 7, 9 м/с.

По результатам моделирования получилось, что при скорости воздушного потока 4 м/с снегопередувающий процесс практически не возникает, шлейф воздушно-массового потока составляет всего 2,6Н. При скорости воздушного потока свыше 6 м/с создаётся снегопередувающий эффект, а именно при скоростях воздушного потока 7 и 9 м/с шлейф воздушно-массового потока составляет 6Н и 7Н.

Внедрение и устройство снегопередувающих конструкций, способствующих передуванию снежной метели с устойчивым ветром со скоростью свыше 6 м/с, позволят снизить за-

траты на механизированную уборку снега с автомобильных дорог, увеличить безопасность движения транспортных средств. Особенно актуально внедрение снегопередувающих конструкций в удаленных и труднодоступных районах, в которых время реагирования специальной техники занимает существенный промежуток времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Белостоцкий А.М., Бритиков Н.А., Горячевский О.С. Comparison of determination of snow loads for roofs in building codes of various countries // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2021. Т. 17, №. 3. С. 39–47.
2. Степанов А.В., Винокурова Т.Г. Целесообразность устройства снегозадерживающих и снегопередувающих экранов, заборов на автомобильных дорогах общего пользования регионального и межмуниципального значения Мурманской области // Инженерный вестник Дона. 2021. № 12. Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2021/7366
3. Ушаков В.В., Корнеева Д.Ю. Совершенствование конструкций снегозадерживающих устройств на основе моделирования их работы // Наука и техника в дорожной отрасли. 2015. № 4 (74). С. 7–10.
4. Численное моделирование вариантов расположения снегозащитных экранов в придорожной полосе автомобильных дорог / Л.В. Янковский, А.В. Кочетков, М.Г. Бояршинов [и др.] // Дороги и мосты. 2018. № 2(40). С. 120–130.
5. Натурное аэродинамическое моделирование геометрических параметров элементов обустройства автомобильных дорог при их зимнем содержании / А.В. Кочетков, Л.В. Янковский, М.Г. Бояршинов [и др.] // Дороги и мосты. 2019. № 1(41). С. 55–71.
6. Кузахметова Э.К., Николаевский В.Е., Пономарев Я.О. Проектирование автомобильных дорог в сложных условиях и его методическое обеспечение // Автомобильные дороги. 2019. № 5. С. 105–109.
7. Лескин А.И., Алексиков С.В., Гофман Д.И., Катаронов М.В. Повышение эффективности снегозащиты автомобильных дорог (на примере Вологодской области) // Вестник Вологодского государственного архитектурно-строительного института. Сер: Строительство и архитектура. 2019. № 3. С. 73–80.
8. Самодурова Т.В., Гладышева О.В. Моделирование процесса отложения снега на автомагистралях в программе FLOWVISION // Научный журнал строительства и архитектуры. 2020. № 2 (58). С. 72–83.
9. Пассек В.В., Селезнёв А.В. Особенности учета снегоотложений на железных и автомобильных дорогах Арктики // Путь и путевое хозяйство. 2020. № 11. С. 7–12.
10. Борисова У.Д. Снегозадерживающий щит // Молодой ученый. 2023. № 1 (448). С. 131–133.

11. Ma, W., Li F., Sun Y., Li J., Zhou X. Field measurement and numerical simulation of snow deposition on an embankment in snowdrift // *Wind and Structures*. 2021. T.32. №5. P.453–469.

12. Tabler R.D. Controlling blowing and drifting snow with snow fence // *Government Engineering*, July-Aug. 2005. pp. 30–32.

13. Building Research Department, Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization. Verification and improvement of snow control performance of windbreak fence // *RESEARCH REPORT*. 2018.

14. Zhao Q.Q., Zhang H.T., Fediuk R.S. Freeze-thaw damage model for cement pavements in seasonal frost regions // *Magazine of Civil Engineering*. 2021. №4 (104). p. 10406–10406.

REFERENCES

Belostotsky A.M., Britikov N.A., Goryachevsky O.S. Comparison of determination of snow loads for roofs in building codes of various countries. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2021; vol. 17. No. 3: 39–47

15. Stepanov A.V., Vinokurova T.G., The expediency of installing snow-retaining and snow-blowing screens, fences on public roads of regional and inter-municipal significance in the Murmansk region. *Engineering journal of Don*. 2021; 12. (in Russ.)

16. Ushakov V.V., Korneeva D.Yu. Improving the designs of snow-retaining devices based on modeling their operation. *Advanced Science and Technology for Highways*. 2015; 4 (74): 7–10. (in Russ.)

17. Yankovskiy L.V., Kochetkov A.V., Boyarshinov M.G., Schegoleva N.V., Shashkov I.G. Computational modeling of variants of snow fences positioning at roadside. *Dorogi i mosty*. 2018; 2(40): 120–130. (in Russ.)

Kochetkov A.V., Yankovskiy L.V., Boyarshinov M.G., Schegoleva N.V., Shashkov I.G. Full-scale aerodynamic modeling of road facilities geometry during winter maintenance. *Dorogi i mosty*. 2019; 1(41): 55–71. (in Russ.)

18. Kuzakhmetova E.K., Nikolaevsky V.E., Ponomarev Ya.O. Designing highways in difficult conditions and its methodological support. *Avtomobil'nye dorogi*. 2019; 5: 105–109. (in Russ.)

19. Leskin A.I., Aleksikov S.V., Gofman D.I., Katsanov M.V. Improving the efficiency of snow protection of roads (on the example of Volgograd region). *Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo instituta. Ser: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2019; 3: 73–80. (in Russ.)

20. Samodurova T.V., Gladysheva O.V. Modeling the snow deposit process on the highways in the flowvision. *Russian journal of building construction and architecture*. 2020; 2 (58): 72–83.

21. Passek V.V., Seleznev A.V. Features of accounting for snow deposition on railways and highways of the Arctic. *Put' i putevoe hozjajstvo*. 2020; 11: 7–12. (in Russ.)

22. Borisova, U.D. Snow-retaining shield. *Molodoj uchenyj*. 2023;1 (448): 131–133. (in Russ.)

23. Ma, W., Li F., Sun Y., Li J., Zhou X. Field measurement and numerical simulation of snow deposition on an embankment in snowdrift. *Wind and Structures*. 2021; 32. №5: 453–469.

24. Tabler R.D. Controlling blowing and drifting snow with snow fence. *Government Engineering*, July-Aug. 2005: 30–32.

25. Building Research Department, Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization. Verification and improvement of snow control performance of windbreak fence. *RESEARCH REPORT*. 2018.

26. Zhao Q.Q., Zhang H.T., Fediuk R.S. Freeze-thaw damage model for cement pavements in seasonal frost regions. *Magazine of Civil Engineering*. 2021; 4 (104): 10406–10406.

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Санников Д.Н. Организация и проведение моделирования, обработка экспериментальных данных, подготовка материала для статьи

Серватинский В.В. Формулирование цели и задач исследования, разработка методики проведения исследования

CO-AUTHORS' CONTRIBUTION

Sannikov D.N. Organization and conduct of modeling, processing of experimental data, preparation of material for the article.

Servatinsky V.V. Formulation of research goals and objectives, development of research methodology.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Санников Денис Николаевич – аспирант кафедры «Автомобильные дороги и городские сооружения» Сибирский федеральный университет (660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-3732-7641>, e-mail: brownGp2@yandex.ru

Серватинский Вадим Вячеславович – канд. техн. наук, заведующий кафедры «Автомобильные дороги и городские сооружения» Сибирский федеральный университет (660041, г. Красноярск, пр-т Свободный, 79), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2419-1000>, e-mail: vservatinsky@sfu-kras.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Denis N. Sannikov. Postgraduate student, Roads and Urban Structures Department, Siberian Federal University (79, Prospekt Svobodnyi, Krasnoyarsk, 660041), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0009-3732-7641>, e-mail: brownGp2@yandex.ru

Vadim V. Servatinskii. Cand. of Sci., Head of the Roads and Urban Structures Department, Siberian Federal University (79, Prospekt Svobodnyi, Krasnoyarsk, 660041), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2419-1000>, e-mail: vservatinsky@sfu-kras.ru