

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2025. Т. 27. № 6. С. 242–256.

ISSN 1607-1859 (для печатной версии)
ISSN 2310-0044 (для электронной версии)

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitektурно-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2025; 27 (6): 242–256.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 625.768.5

DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-242-256

EDN: FKJNAL

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ОДНОПАНЕЛЬНЫХ И ДВУХПАНЕЛЬНЫХ СНЕГОЗАДЕРЖИВАЮЩИХ ЗАБОРОВ ВО ВРЕМЯ МЕТЕЛЕЙ

**Ольга Вадимовна Гладышева, Наталья Юрьевна Алимова,
Евгения Александровна Бончева, Екатерина Валерьевна Миронова**
*Воронежский государственный технический университет,
г. Воронеж, Россия*

Аннотация. Актуальность. В статье рассматривается работа снегозадерживающих заборов из сеток на полимерной основе во время метели. На данный момент в нормативной литературе отсутствуют рекомендации по проектированию таких сооружений, поэтому исследование снегозадерживающей способности заборов из сеток на полимерной основе является актуальной задачей.

Цель. Обоснование целесообразности применения снегозадерживающих заборов из сеток на полимерной основе для защиты автомобильных дорог от снега во время метелей.

Методы. Моделирование работы конструкций при метелях выполнено в программе FlowVision на основе решения системы уравнений вычислительной гидродинамики Навье – Стокса.

Результаты. Созданы геометрические модели однопанельного и двухпанельного снегозадерживающих заборов. Исследована динамика отложения снега у снегозадерживающего решетчатого препятствия. Проведен сравнительный анализ результатов моделирования распределения снежных масс перед препятствиями и за ними. Выполнена оценка снегосборной способности рассматриваемых снегозадерживающих заборов.

Выводы. На основе полученных результатов моделирования было установлено, что снегосборная способность двухпанельного забора исследуемой конструкции незначительно уступает однопанельному. При этом зона снежных отложений располагается ближе к препятствию, но непосредственно у самого препятствия снежный вал будет формироваться на большем расстоянии. Следовательно, применение двухпанельных снегозадерживающих заборов рассматриваемой конструкции обосновано в качестве снегозащиты автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, зимнее содержание дорог, снегозадерживающие заборы, снеговетровой поток, моделирование

Для цитирования: Гладышева О.В., Алимова Н.Ю., Бончева Е.А., Миронова Е.В. Моделирование работы однопанельных и двухпанельных снегозадерживающих заборов во время метелей // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2025. Т. 27. № 6. С. 242–256. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-242-256. EDN: FKJNAL

ORIGINAL ARTICLE

MODELING OF SINGLE- AND DOUBLE-PANEL WALLS AGAINST SNOWDRIFTS

Olga V. Gladysheva, Natalia Y. Alimova,
Evgenia A. Boncheva, Ekaterina V. Mironova
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

Abstract. The article describes of the polymer mesh snow walls against snowdrifts. There are no recommendations for the design of such structures in the literature. Therefore, the study of the snowdrift capacity of polymer mesh snow walls is relevant.

Purpose: Justification of using polymer mesh snow walls to protect roads from snowdrifts.

Methodology/approach: The simulation of snow wall operation during snowdrift is performed in FlowVision using Navier–Stokes equations for computational fluid dynamics. Geometric models are created for single- and double-panel walls. Snow deposition dynamics near the wall protection is studied. The snowdrift capacity is evaluated for protective walls.

Research findings: The snowdrift capacity of proposed design of the double-panel wall is slightly less than that of the single-panel wall. The snow accumulation area locates closer to the wall, but the snowdrift forms at a greater distance near the obstacle. Therefore, the double-panel snow wall can be used for the road protection from snow.

Keywords: road, winter road maintenance, snow wall, snow-wind stream, modeling

For citation: Gladysheva O.V., Alimova N.Yu., Boncheva E.A., Mironova E.V. Modeling of Single- and Double-Panel Walls against Snowdrifts. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2025; 27 (6): 242–256. DOI: 10.31675/1607-1859-2025-27-6-242-256. EDN: FKJNAL

Введение

В зимний период на большей части территории России происходят переносы снега, вызывающие снежные заносы на автомобильных дорогах. Защита снегозаносимых участков с помощью снегозащитных сооружений является одной из главных задач зимнего содержания дорог [1].

Основным показателем работы снегозащитных сооружений является количество задерживаемого ими снега. Эффективность снегозащиты зависит от правильного выбора типа конструкции, расстояния линии защиты от бровки земляного полотна автомобильной дороги, учета рельефа местности и других местных условий [2–5].

Выпадение снега у преград происходит при любом, даже незначительном снижении скорости снеговетрового потока, причем наибольшее количество снега выпадает при первоначальном снижении скорости [6, 7]. Таким образом, величина снегосборной способности снегозащитных сооружений зависит от протяженности зоны пониженных скоростей снеговетрового потока.

Для защиты автомобильных дорог от снега часто используются снегозадерживающие заборы, которые представляют собой деревянные конструкции. В настоящее время большой интерес для конструирования снегозащитных сооружений представляют полимерные сетки, которые возможно использовать для проектирования постоянной снегозащиты [8, 9]. Но в нормативной лите-

туре отсутствуют рекомендации по проектированию таких сооружений, поэтому исследование снегозадерживающей способности заборов из сеток на полимерной основе является актуальной задачей.

Проведено исследование снегозадерживающей способности заборов из сеток на полимерной основе с помощью моделирования работы различных конструкций снегозащиты во время метели.

Физическая постановка задачи

Как показали исследования, процессы переноса и выпадения снега из снеговетрового потока зависят от скорости ветра [5–7]. При этом масса переносимого снега уменьшается пропорционально изменению скорости:

$$\left(\frac{V_n}{V_\pi} \right)^n, \quad (1)$$

где V_n – начальная скорость снеговетрового потока; V_π – изменившаяся, уменьшенная скорость снеговетрового потока; n – показатель степени – по данным различных исследователей, колеблется от 2 до 5.

Динамика отложения снега у снегозадерживающего решетчатого препятствия приведена на рис. 1.

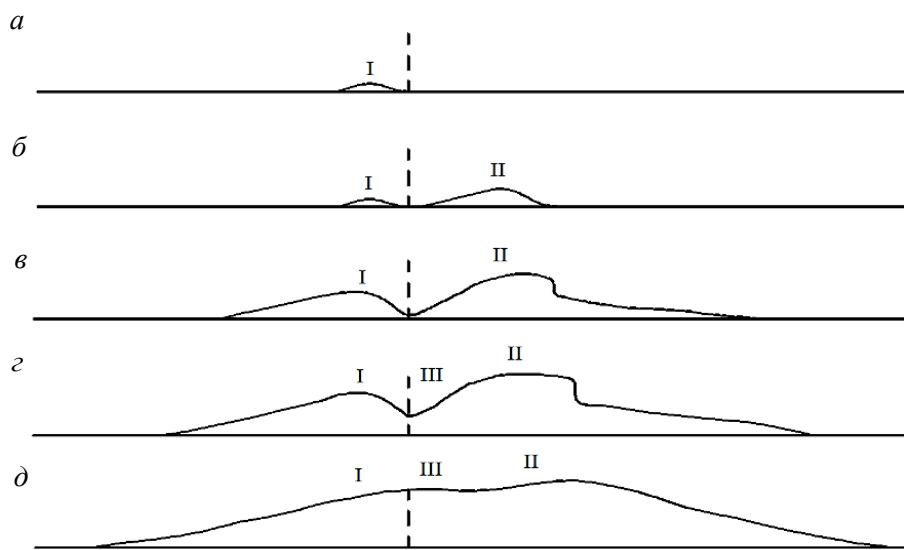


Рис. 1. Динамика отложения снега у решетчатого препятствия с просветностью 35–50 %: *а* – начальные отложения снега перед препятствием; *б* – начальные отложения снега за препятствием; *в* – формирование сугроба за начальным отложением снега; *г* – отложения снега между препятствием и начальным отложением снега; *д* – отложения снега по всей длине зоны со сниженной скоростью снеговетрового потока

Fig. 1. Dynamics of snow deposits near the wall with the transparency of 35–50 %: *a* – initial snow deposits in front of the wall; *b* – initial snow deposits behind the wall; *c* – snowdrift behind the initial snow deposits; *d* – snow deposits between the wall and initial deposits; *e* – along the entire length of the zone of the lower snowdrift rate

Отложения снега у решетчатых препятствий можно разделить на три характерные зоны. Зона I представляет собой первоначальные отложения. Зона II находится за препятствием на некотором расстоянии от снегозащитной конструкции. Зона III располагается непосредственно за сооружением, заполняется снегом при метелях в последнюю очередь.

Формирование пологой, без холмов и впадин, линии снежных отложений является признаком хорошего качества линии снегозащиты. Именно такая форма снежной поверхности гарантирует достижение максимальной снегосборной способности.

Основной проблемой снегозащитных сооружений является их заносимость снегом во время метелей. Зарабатываемость конструкций происходит вследствие плохих условий движения снеговетрового потока и может привести к их повреждениям. Таким образом, при проектировании снегозащитных сооружений необходимо обеспечить пронос снега через защиту без образования отложений снега непосредственно у конструкции.

Применение программного комплекса FlowVision для исследования процессов отложения снега

Основной задачей программного комплекса FlowVision является численное решение уравнений вычислительной гидродинамики, основным из которых считается система уравнений Навье – Стокса, описывающая движение вязкой несжимаемой жидкости [10]. Уравнение движения для трехмерного потока

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + \omega \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= x - \frac{dp}{dx} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right); \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + \omega \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= y - \frac{dp}{dy} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right); \\ \rho \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + v \frac{\partial \omega}{\partial y} + \omega \frac{\partial \omega}{\partial z} \right) &= z - \frac{dp}{dz} + \mu \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

и уравнение неразрывности

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

где u, v, ω – составляющие скорости потока по координатам x, y, z ; ρ, p, μ – плотность, давление и вязкость воздуха; t – время.

Снеговетровой поток при моделировании представлен двухфазным потоком, в котором каждая фаза определяется веществами и физическими процессами. Для каждого физического процесса в программном комплексе FlowVision устанавливалась математическая модель, в соответствии с которой производилось моделирование. Описание параметров, определяющих при метелях взаимодействие веществ в расчетной области, приведено в табл. 1.

Ветровой поток смоделирован веществом «Воздух_Газовая (равновесная)». Для описания ветрового потока используются физические процессы – движение и турбулентность.

Таблица 1

Описание параметров, определяющих взаимодействие веществ в расчетной области

Table 1

Parameters of substance interaction in the computational domain

Тип фазы и описание	Вещества	Физические процессы	Математическая модель
Сплошная фаза Ветровой поток	Воздух_Газовая (равновесная)	Движение	Модель Навье – Стокса
		Турбулентность	KES
Дисперсная фаза Снег	Вода_Твердая	Перенос фазы	Конвекция и диффузия
		Движение	Движение

Движение описывается системой уравнений Навье – Стокса для трехмерного потока.

Для моделирования турбулентности принята двухпараметрическая модель изотропной турбулентности KES, основанная на RANS-подходе (осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье – Стокса). В этой модели рассчитываются *k*-*ε* модели – уравнения переноса записываются для кинетической энергии турбулентности (*k*) и скорости диссипации турбулентной энергии (*ε*).

Модель *k*-*ε* «Стандартная»:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \nabla(\rho V k) = \nabla \left(\left(\mu \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right) + \rho (P_k + G_k) - \rho \epsilon \left(1 + \xi \left(\max(M_t^2, M_{t0}^2) - M_{t0}^2 \right) \right); \quad (4)$$

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \nabla(\rho V \epsilon) = \nabla \left(\left(\mu \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right) + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \rho (P_k + G_k) - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k}; \quad (5)$$

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\epsilon}; \quad (6)$$

$$P_k = v_t \left(S - \frac{2}{3} (\nabla \cdot V)^2 \right) - \frac{2}{3} (\nabla \cdot V) k; \quad (7)$$

$$G_k = v_t \frac{\beta}{Pr_t} g \nabla T; \quad (8)$$

$$S = 2 \sum_{i,j} S_{ij} S_{ij} = \sum_{i,j} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right) \frac{\partial V_j}{\partial x_i}; \quad (9)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right); \quad (10)$$

$$M_t^2 = \frac{2k}{C^2}; \quad (11)$$

$$\sigma_k = 1; \quad \sigma_\varepsilon = 1,3; \quad C_1 = 1,44; \quad C_2 = 1,44; \quad \xi = 1,5, \quad (12)$$

где y – расстояние до ближайшей стенки; $C_\mu = 0,09$ – фиксированная модельная константа.

Указанные значения констант (12) – значения по умолчанию. Константы ξ и $M_{f,0}$ определяют модель, учитывающую сжимаемость жидкости. При $\xi = 0$ сжимаемость жидкости в уравнении не учитывается.

Модель KES является самой простой моделью семейства k - ε , и ее рекомендуется принимать для задач со свободной турбулентностью.

Снег смоделирован веществом «Вода_Твердая» с учетом плотности снега в метлевом потоке. В соответствии с данными, полученными из специального справочника, приняты: значение плотности снега $\delta = 50 \text{ кг/м}^3$, соответствующее типу «Рыхлый сухой свежевыпавший снег», и значение диаметра частиц, описывающих снежинки, $d = 0,003 \text{ м}$, соответствующее усредненным данным о величине частиц снега [11].

Для описания снега принята дисперсная система «частицы + сплошная». В программе FlowVision при описании частицы объединяют в дисперсное облако. Таким образом, физические процессы описываются не для каждой частицы в отдельности, а для объема пространства, обладающего свойствами сплошной среды. При моделировании многофазного течения облако частиц и несущая сплошная фаза взаимодействуют как взаимопроникающие сплошные среды. Для учета взаимодействия частиц между собой в рамках метода Эйлера во FlowVision реализована простая модель отталкивания частиц, включающая в уравнение движения частиц дополнительное слагаемое с коэффициентами.

При постановке задачи учтено, что исследуемый процесс происходит при постоянной температуре и масса снега не меняется со временем. Поэтому физические процессы «Теплоперенос» и «Массоперенос» исключены из расчета.

Перечень параметров общих установок эксперимента и их характеристики приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры общих установок, определяемые для расчетной области

Table 2

Computational domain parameters

Параметр	Значение	Пояснение к выбору параметра
Температура, К	268	Температура, определяющая расчетную область. Относительно нее задаются другие температуры в проекте, если они необходимы, если такой необходимости нет, то температура устанавливается по умолчанию для всех процессов При исследованиях температура принята -5°C , что соответствует средней температуре воздуха при метелях
Давление, Па	101325	Давление в расчетной области. Принято соответствующим нормальному атмосферному давлению
g-плотность, кг/м^3	1,3163	Плотность среды

Для задания параметров среды, находящейся на границе расчетной области, были определены граничные условия. В задаче моделирования работы снегозадерживающих заборов из сеток на полимерной основе во время метели применяется четыре вида граничных условий: стенка, свободный выход, вход/выход и симметрия. Параметры граничных условий в зависимости от группы поверхности аэродинамического канала приведены в табл. 3.

Таблица 3
Граничные условия для поверхностей аэродинамического канала
Table 3
Boundary conditions for aerodynamic channel surface

Группа	Граничное условие	Геометрические элементы	Наименование параметра	Значение параметра
1	Стенка	Все поверхности, ограничивающие расчетную область снизу и сетчатое ограждение	Скорость (дисп.) (Фаза #1) Коэффициент норм. Коэффициент танг. (данные коэффициенты определяют характер взаимодействия дисперсной фазы со стенкой – упругий отскок с сохранением касательной составляющей скорости)	$k_x = 1$; $k_y = 1$
2	Свободный выход	Поверхность, ограничивающая расчетную область сверху и поверхность выхода потока	Параметры стандартные	Значения стандартные
3	Вход/Выход	Поверхность входа потока	Скорость (Фаза #0) Массовая скорость Объем фазы (Фаза #1) Значение Скорость (дисп.) (Фаза #1) Скорость частиц	19,7445 кг/м ² с 0,0016 15 м/с
4	Симметрия	Поверхности, ограничивающие расчетную область справа и слева по ходу потока	Объем фазы (Фаза #1) Скорость (дисп.) (Фаза #1)	Проницаемая поверхность Проницаемая поверхность

Описанный подход применяется для моделирования снегозаносимости автомагистралей во время метелей [12–17], что делает возможным его использование для описания процесса обтекания снеговетровым потоком решетчатых снегозадерживающих заборов.

Создание геометрических моделей снегозадерживающих заборов

Проведено моделирование работы снегозадерживающих заборов из сеток на полимерной основе. В серии экспериментов рассматривались однопанельные и двухпанельные конструкции, схемы которых приведены на рис. 2, 3.

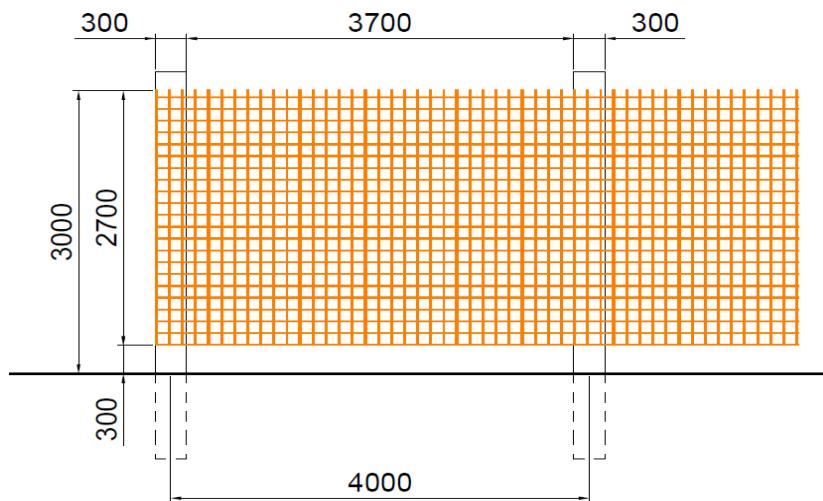


Рис. 2. Однопанельный снегозадерживающий забор из полимерных сеток

Fig. 2. Single-panel polymer mesh wall against snowdrifts

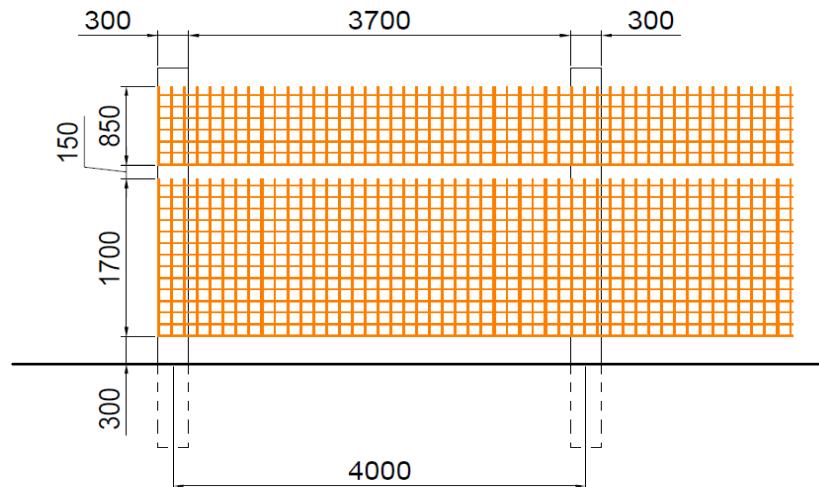


Рис. 3. Двухпанельный снегозадерживающий забор из полимерных сеток

Fig. 3. Double-panel polymer mesh wall against snowdrifts

Выбор конструкции снегозадерживающих заборов обусловлен типовыми конструкциями, которые используются для защиты дорог от снега на автомагистралях. Учитывались их параметры и имеющиеся на рынке размеры полимерных сеток. Ширина стандартного рулона полимерной сетки составляет 1,7 м. Такая

ширина рулона удобна в применении для заборов высотой 2,0 м при относительно небольших объемах снегоприноса во время метелей за зиму. При больших значениях объемов снегоприноса проектируют заборы высотой более 3,0 м.

В настоящем исследовании рассматривались две конструкции снегозадерживающего забора высотой 3,0 м. Первая конструкция предусматривает крепление полимерной сетки шириной 2,7 м на высоте от земли 0,30 м. Вторая конструкция предусматривает двухпанельное крепление сетки с зазором между панелями величиной 0,15 м. Нижняя панель в этом случае имеет ширину 1,7 м, а верхняя – 0,85 м. Моделирование работы такой конструкции во время прохождения метели проведено для оценки влияния зазора между панелями на снегосборную способность забора. Просветность исследуемой полимерной сетки составляет 50 %.

Созданы геометрические модели однопанельного и двухпанельного снегозадерживающих заборов высотой 3,0 м с просветностью 50 %, а также модель канала в программе 3D MAX. Вид геометрической модели двухпанельного снегозадерживающего забора показан на рис. 4.

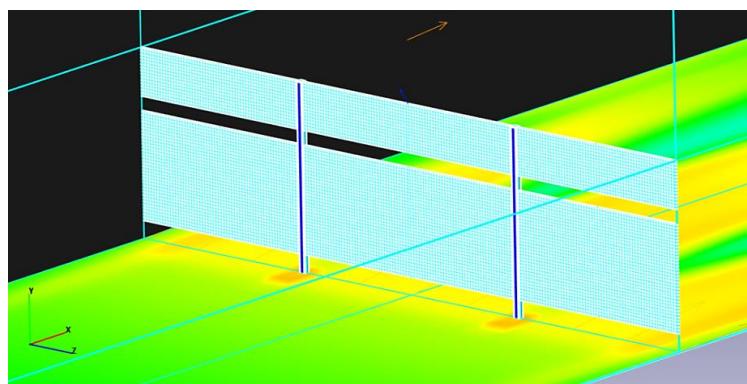


Рис. 4. Общий вид геометрической модели двухпанельного снегозадерживающего забора, загруженной в программный комплекс FlowVision
Fig. 4. FlowVision model of the double-panel wall

Геометрическая модель канала представляет собой замкнутую геометрическую фигуру, приближенную к параллелепипеду, в объеме которого находится снегозащитная конструкция, расположенная под углом 90° к входу в канал.

Длина канала обусловлена расстоянием от обтекаемого тела до границ области. Это расстояние задается таким образом, чтобы граничные условия, заданные на границах области, не оказывали возмущающего влияния на поток вблизи обтекаемого тела. В данной задаче требуется разрешить поток в области снегозадерживающего забора, который был принят за объект обтекания.

Ширина и высота канала приняты 10 м. При назначении высоты канала было учтено условие отсутствия влияния объекта обтекания на полевую скорость снеговетрового потока. Под полевой скоростью снеговетрового потока понимается скорость потока в свободном состоянии при отсутствии препятствий.

На рис. 5 представлена модель канала, в котором размещена геометрическая модель снегозащитной конструкции.

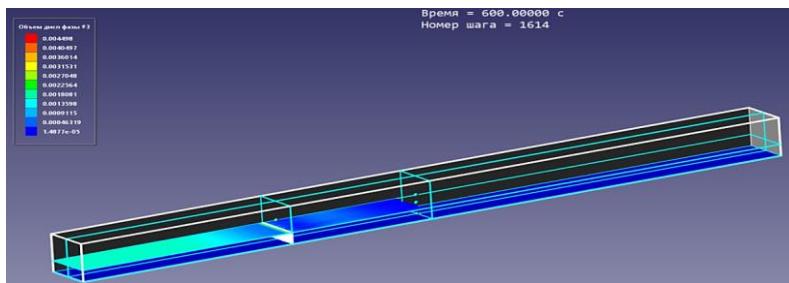


Рис. 5. Геометрическая модель канала
Fig. 5. Channel geometrical model

Моделирование работы снегозадерживающих заборов

Моделирование работы снегозадерживающих заборов проводилось при скорости ветра во время метели 15 м/с. На рис. 6 представлено распределение характеристик снеговетрового потока при моделировании работы двухпанельного снегозадерживающего забора высотой 3,0 м с просветностью 50 %.

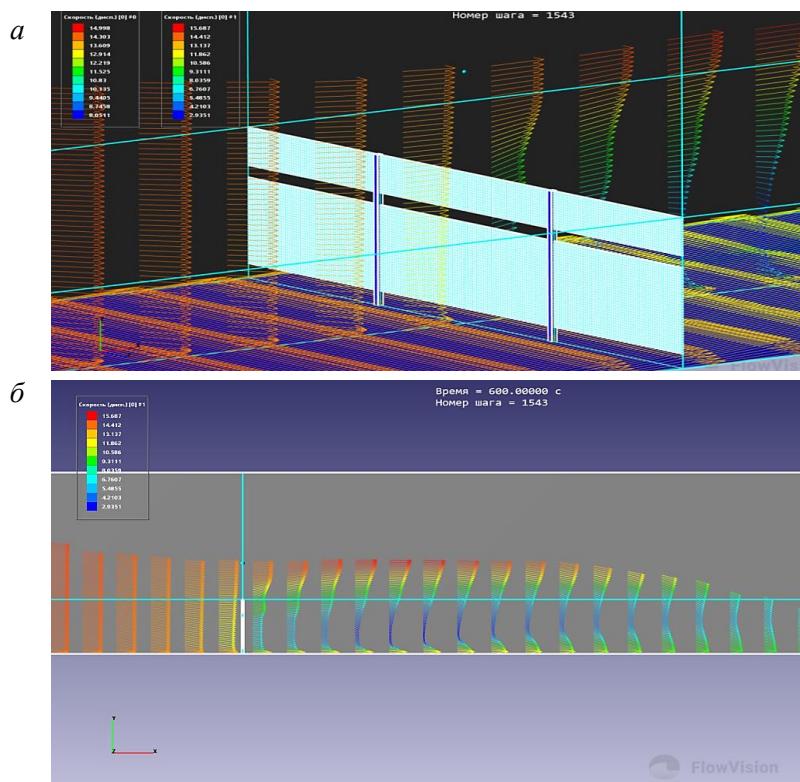


Рис. 6. Моделирование работы двухпанельного снегозадерживающего забора высотой 3,0 м с просветностью 50 % в программном комплексе FlowVision:
а – распределение твердой фазы; б – распределение скорости снеговетрового потока
FlowVision simulation of double-panel wall operation 3.0 m high with 50 % transparency:
a – solid phase distribution; b – snowdrift rate distribution

Результаты моделирования работы снегозадерживающих заборов в виде эпюров распределения скорости снеговетрового потока представлены на рис. 7 и 8.

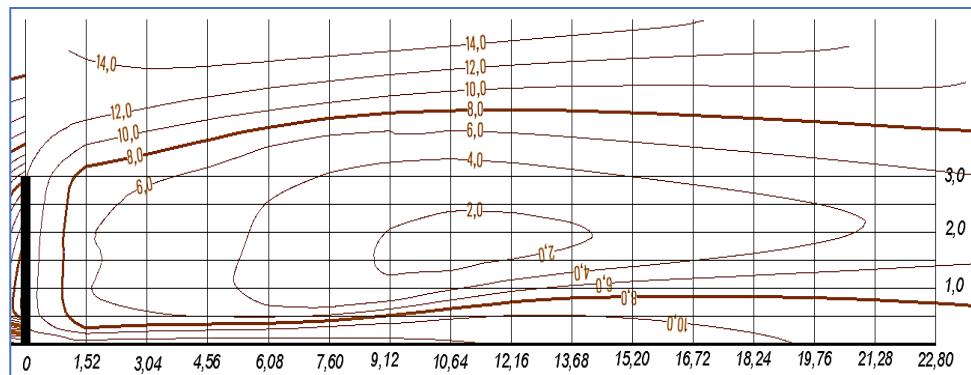


Рис. 7. Распределение скорости снеговетрового потока у однопанельного снегозадерживающего забора высотой 3,0 м с просветностью 50 %

Fig. 7. Snowdrift rate distribution near the single-panel wall 3.0 m high and 50 % transparency

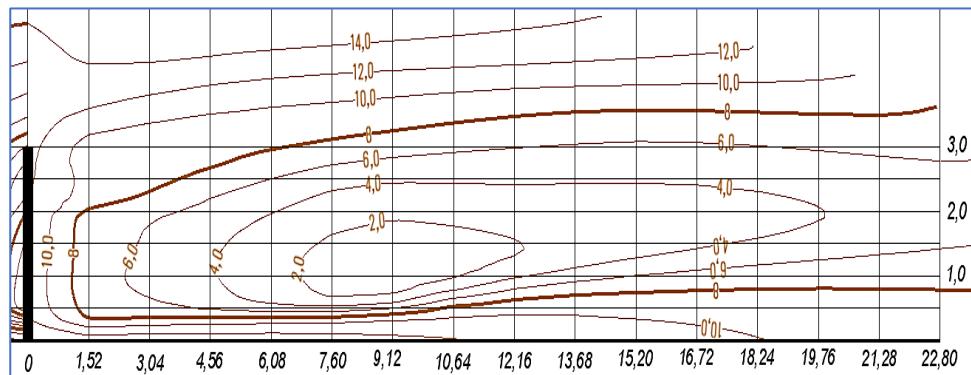


Рис. 8. Распределение скорости снеговетрового потока у двухпанельного снегозадерживающего забора высотой 3,0 м с просветностью 50 %

Fig. 8. Snowdrift rate distribution near the double-panel snow fence 3.0 m high and 50 % transparency

Анализ распределения скоростей снеговетрового потока за снегозадерживающими заборами позволил выявить в горизонтальной и вертикальной проекциях зоны сниженной скорости, в которых ожидается формирование снежных отложений.

Зона распределения наиболее сниженной скорости снеговетрового потока по горизонтали за двухпанельным снегозадерживающим забором образуется на расстоянии 6,5–12,2 м, за однопанельным – на расстоянии 9,0–13,2 м.

Однако скорость снеговетрового потока на расстоянии 1,5 м за двухпанельным снегозадерживающим забором составила 8,0 м/с, а за однопанельным – 6,0 м/с. Таким образом, снижение скорости снеговетрового потока за двухпанельной конструкцией происходит медленнее, чем за однопанельной.

Такое распределение скоростей позволяет сделать вывод, что снежный вал за двухпанельным препятствием будет формироваться на более удаленном расстоянии. Следовательно, вероятность заработанности конструкции во время метели у такой снегозащиты ниже, чем у однопанельной. Наличие продуваемого зазора между панелями способствует отдалению снежного вала от препятствия без увеличения проноса снега. Кроме того, ширина снежного вала у двухпанельных заборов будет большей протяженности.

В то же время общая протяженность зоны сниженной скорости за двухпанельным забором составила не более 50 м, а за однопанельным – не более 60 м.

Зона распределения сниженной скорости снеговетрового потока по вертикали за двухпанельным снегозадерживающим забором формируется ниже, чем за однопанельным. На расстоянии 12,0 м от препятствия за двухпанельным забором высота снежного вала при максимальных объемах снегоприноса на конец зимы прогнозируется до 3,6 м; за однопанельным – до 4,2 м.

Таким образом, наличие просвета между панелями забора не создает условий для размыва потоком воздуха снежного вала за забором, а напротив, способствует его увеличению в длину. Оценка снегосборной способности заборов показала, что у двухпанельных заборов рассматриваемой конструкции этот показатель ожидается не более чем на 5–6 % меньше, чем у однопанельных, при достижении максимальных значений.

Заключение

Анализ результатов моделирования работы двухпанельного снегозадерживающего забора высотой 3,0 м из сеток на полимерной основе с просветностью 50 % показал, что за препятствием с подветренной стороны формируется более широкий и пологий снежный вал, чем за однопанельной конструкцией.

Снегосборная способность двухпанельного забора рассматриваемой конструкции незначительно уступает однопанельному. Однако максимальная протяженность снежных отложений за двухпанельным забором будет меньше, чем за однопанельным, поскольку зона сниженной скорости за двухпанельным забором по протяженности меньше, следовательно, снежные отложения формируются ближе к забору. Таким образом, двухпанельные заборы рассматриваемой конструкции можно устанавливать ближе к дороге, чем однопанельные. Более близкое размещение снегозащиты к автомобильной дороге позволит проектировать конструкции в случае стесненных условий в полосе отвода. Можно сделать вывод, что применение двухпанельных снегозадерживающих заборов рассматриваемой конструкции обосновано в качестве снегозащиты автомобильных дорог.

Исследования снегозадерживающей способности заборов из сеток на полимерной основе повышают надежность снегозащиты, а моделирование работы конструкций снегозащиты и определение параметров их установки снижают вероятность образования снежных заносов на автомобильных дорогах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Самодурова Т.В. Оперативное управление зимним содержанием дорог: Научные основы. Воронеж : Изд-во ВГУ, 2003. 168 с. ISBN 5-9273-0323-4. EDN: QNQXFL

2. Бялобжесский Г.В., Дюнин А.К., Комаров А.А. Снегозащитные щиты и заборы. Москва : Автотрансиздат, 1961. 36 с.
3. Кунгурцев А.А. Проектирование снегозащитных мероприятий на дорогах. Москва : Автотрансиздат, 1961. 108 с.
4. Комаров А.А. Предупреждение снежных заносов на дорогах Заполярья. Новосибирск : Редакционно-издательский отдел Сибирского отделения АН СССР, 1965. 158 с.
5. Потапов М.Г. Защита железнодорожного пути от снега. Москва : Трансжелдориздат, 1958. 120 с.
6. Tabler R.D. Controlling blowing and drifting snow fences and road design. Niwot, Colorado : Tabler and Associates, 2003. 345 p.
7. Basnet K., Constantinescu G., Muste M., Ho H. Method to Assess Efficiency and Improve Design of Snow Fences // Journal of Engineering Mechanics. 2014. October. 12 p.
8. Васильев А.П., Ушаков В.В. Анализ современного зарубежного опыта зимнего содержания дорог и разработка предложений по его использованию в условиях России. Москва : ФГУП «Информавтодор», 2003. 60 с. ISBN 5-900121-18-6. EDN: QNQRTD
9. Корнеева Д.Ю. Совершенствование конструкций временных снегозадерживающих устройств для применения на скоростных дорогах и автомагистралях : специальность 05.23.11 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корнеева Дарья Юрьевна. Москва, 2016. 135 с. EDN: WOPKSD
10. FlowVision. Руководство пользователя. Москва : ООО «ТЕСИС», 2017. 1395 с.
11. Gray D.M., Male D.H. Снег : справочник. Ленинград : Гидрометеоиздат, 1986. 751с.
12. Гладышева О.В., Бончева Е.А., Субботина Е.В. Исследование процесса снегонакопления на насыпях автомагистралей во время метелей в программном комплексе FLOWVISION // Научная опора Воронежской области : сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2020. С. 66–70.
13. Миронова Е.В., Рыбакова К.А., Гладышева О.В. Моделирование снегозаносимости автомаршрутной насыпи при различных скоростях снеговетрового потока во время метели // Научная опора Воронежской области : сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2024. С. 138–141. EDN: DFFRXV
14. Самодурова Т.В., Гладышева О.В., Алимова Н.Ю., Бончева Е.А. Моделирование процесса отложения снега на автомагистралях в программе FlowVision // Научный журнал строительства и архитектуры, 2020. № 2 (58). С 72–83. DOI: 10.36622/VSTU.2020.58.2.006. EDN: ICKNVJ
15. Субботина Е.В., Бончева Е.А., Гладышева О.В. Моделирование снегозаносимости участка автомагистрали М-4 «Дон» в Липецкой области в программе FLOWVISION // Научная опора Воронежской области : сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. Воронеж, 2023. С. 152–155. EDN: EBLINH
16. Миронова Е.В., Бончева Е.А., Гладышева О.В. Моделирование распределения снежных заносов во время метели на участке автомагистрали М-4 «Дон». FLOWVISION // Магистратура – автотранспортной отрасли : материалы VIII Всероссийской межвузовской конференции «Магистерские слушания». Санкт-Петербург, 2024. С. 88–91. EDN: LRBIYM
17. Костин П.С., Субботина Е.В., Гладышева О.В. Создание модели насыпи автомагистрали для исследования процесса снегонакопления во время метелей в программном комплексе FlowVision // Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий, Воронеж, 2019. С. 396–398. EDN: XCFNQX

REFERENCES

1. Samodurova T.V. Operational Management of Road Winter Maintenance: Scientific Foundations. Voronezh: Voronezh State University, 2003. 168 p. ISBN 5-9273-0323-4. EDN: QNQXFL (In Russian)
2. Byalobzheskiy G.V., Dyunin A.K., Komarov A.A. Snow Protection Shields and Fences. Moscow: Avtotransizdat, 1961. 36 p. (In Russian)

3. Kungurtsev A.A. Design of Snow Protection Walls on Roads. Moscow: Avtotransizdat, 1961. 108 p. (In Russian)
4. Komarov A.A. Prevention of Snow Drifts on Roads in the Arctic Region. Novosibirsk, 1965. 158 p. (In Russian)
5. Potapov M.G. Protection of Railway Tracks from Snow. Moscow: Transzheldorizdat, 1958. 120 p. (In Russian)
6. Tabler R.D. Controlling Blowing and Drifting Snow Fences and Road Design. Niwot, Colorado: Tabler and Associates, 2003. 345 p.
7. Basnet K., Constantinescu G., Muste M., Ho H. Method to Assess Efficiency and Improve Design of Snow Fences. *Journal of Engineering Mechanics*. 2014; 12.
8. Vasiliev A.P., Ushakov V.V. Analysis of Modern Foreign Experience in Winter Road Maintenance and Development of Proposals for using in Russia. Moscow: Informavtodor, 2003. 60 p. ISBN 5-900121-18-6. EDN: QNQRTD (In Russian)
9. Korneeva D.Y. "Design improvement of temporary snow protection devices for express roads and highways". PhD Thesis. Moscow, 2016. 135 p. (In Russian)
10. FlowVision. User's Guide. Moscow: OOO "TESIS", 2017.1395 p. (In Russian)
11. Gray D.M., Male D.H. Directory of Snow. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 751 p. (In Russian)
12. Gladysheva O.V., Boncheva E.A., Subbotina E.V. Snow Accumulation Process on Highway Embankments during Snowstorms in FlowVision. In: *Coll. Papers 'Scientific Support of the Voronezh Region'*. Voronezh, 2020. Pp. 66–70. (in Russian)
13. Mironova E.V., Rybakova K.A., Gladysheva O.V. Snowdrift Modeling for Road Embankment at Different Wind Rates during a Snowdrifts. In: *Coll. Papers 'Scientific Support of the Voronezh Region'*. Voronezh, 2024. Pp.138–141. (in Russian)
14. Samodurova T.V., Gladysheva O.V., Alimova N.Yu., Boncheva E.A. Modeling in FlowVision of Snow Deposits on Roads. *Nauchnyi zhurnal stroitel'stva i arkhitektury*. 2020; 2 (58): 12. DOI: 10.36622/VSTU.2020.58.2.006. EDN: ICKNVJ (in Russian)
15. Subbotina E.V., Boncheva E.A., Gladysheva O.V. Modeling of Snowdrift on M-4 "Don" Road Section in the Lipetsk Region using FlowVision. In: *Coll. Papers 'Scientific Support of the Voronezh Region'*. Voronezh, 2023. Pp. 152–155. (In Russian)
16. Mironova E.V., Boncheva E.A., Gladysheva O.V. Modeling in FlowVision of snow distribution on M-4 "Don" road section. In: *Proc. 8th All-Russ. Conf. 'Master's Degree Readings'*. Saint-Petersburg, 2024. Pp. 88–91. (In Russian)
17. Kostin P.S., Subbotina E.V., Gladysheva O.V. Creation of Highway Embankment Model in FlowVision for Studying Snow Accumulation during Snowdrifts. In: *Coll. Papers 'Scientific Support of the Voronezh Region'*. Voronezh, 2019. Pp. 396–398. (In Russian)

Сведения об авторах

Гладышева Ольга Вадимовна, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ov-glad@ya.ru

Алимова Наталья Юрьевна, канд. техн. наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, natalimowa@ya.ru

Бончева Евгения Александровна, аспирант, Воронежский государственный технический университет, 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, evgesha3581@rambler.ru

Миронова Екатерина Валерьевна, аспирант, Воронежский государственный технический университет, 394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, subbotinarulit@yandex.ru

Authors Details

Olga V. Gladysheva, PhD, A/Professor, Voronezh State Technical University, 84, 20 let Oktyabrya Str., Voronezh, Russia, ov-glad@ya.ru

Natalia Y. Alimova, PhD, A/Professor, Voronezh State Technical University, 84, 20 let Oktyabrya Str., Voronezh, Russia, natalimowa@ya.ru

Evgenia A. Boncheva, Research Assistant, Voronezh State Technical University, 84, 20 let Oktyabrya Str., Voronezh, Russia, evgesha3581@rambler.ru

Ekaterina V. Mironova, Research Assistant, Voronezh State Technical University, 84, 20 let Oktyabrya Str., Voronezh, Russia, subbotinarulit@yandex.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contributions

The authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.10.2025
Одобрена после рецензирования 09.10.2025
Принята к публикации 13.10.2025

Submitted for publication 03.10.2025
Approved after review 09.10.2025
Accepted for publication 13.10.2025