

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

ENGINEERING AND CONSTRUCTION OF ROADS, SUBWAYS, AIRDROMES, AND TUNNELS

Вестник Томского государственного
архитектурно-строительного университета.
2024. Т. 26. № 3. С. 233–241.

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

Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo
arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta –
Journal of Construction and Architecture.
2024; 26 (3): 233–241.
Print ISSN 1607-1859
Online ISSN 2310-0044

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 624

DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-233-241

EDN: FNJXOL

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СНЕГОПЕРЕДУВАЮЩИХ И СНЕГОЗАЩИТНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ОТ СНЕЖНЫХ ЗАНОСОВ

Денис Николаевич Санников, Вадим Вячеславович Серватинский
Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Россия

Аннотация. Статья посвящена применению методов компьютерного моделирования снегопередувающих процессов для сравнения принципов работы ограждений, защищающих автомобильные дороги от снежных заносов.

Актуальность. Проблема снежных заносов актуальна для многих автомобильных дорог в удаленных, труднодоступных районах и сложных климатических условиях. Снежные заносы значительно увеличивают расходы на зимнее содержание автомобильных дорог, являются причиной разрушения дорожного полотна, а также создают серьезную угрозу безопасности, ухудшая видимость и приводя к потере контроля над транспортным средством.

Моделирование процессов снегопередувания проводилось в программе Solid Works Flow Simulation. Данная программа – это инструмент общего назначения для моделирования потоков жидкости и газа.

В исследовании освещены вопросы, связанные с оценкой состава, скорости и движения снежных частиц в метелевом потоке.

Целью исследования является разработка ограждений, которые будут способствовать передуванию снега через автомобильную дорогу.

Результаты. Определена основная цель и условия работы снегопредувающих конструкций на автомобильных дорогах.

Опыт показал, что внедрение снегопредувающих и снегозащитных ограждений положительно сказывается на зимнем содержании дорог. Рассмотрен процесс снегопредувания и его влияние на снеготранспортируемость. Базисно работа снегопредувающих конструкций направлена на защиту автомобильных дорог от устойчивого метелевого ветра. На основании рассматриваемого подхода выполнен сравнительный анализ установки разных видов снегопредувающих конструкций вдоль участков дороги. Изучены возможности изменения конструктивных доработок и анализ показателей эффективности.

Ключевые слова: снегозащитные ограждения, снеготранспортировка, снеготранспортируемость, снегопредувающие ограждения, сдувание снега, снежные заносы, снежные отложения

Для цитирования: Санников Д.Н., Серватинский В.В. Моделирование работы снегопредувающих и снегозащитных ограждений для защиты автомобильных дорог от снежных заносов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2024. Т. 26. № 3. С. 233–241. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-233-241. EDN: FNJXOL

ORIGINAL ARTICLE

SIMULATION OF SNOW FENCES FOR ROAD PROTECTION FROM DRIFTED SNOW

Denis N. Sannikov, Vadim V. Servatinsky

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Abstract. Purpose: The development of snow fences to provide the snow blowing over automobile roads to protect them from drifted snow.

Methodology/approach: Computer simulation in SOLIDWORKS Flow Simulation of snow fences to study their operation. Discussion of issues related to estimating the composition, velocity, and motion of snow particles in drifted snow. Comparative analysis of different types of snow fences installed along road sections.

Research findings: The main purpose and operations conditions are determined for snow fences on automobile roads. Design modifications and efficiency factors of snow fences are studied herein.

Value: It is shown that the use of snow fences has a positive effect on winter road maintenance.

Keywords: snow fence, drifted snow, snow formation

For citation: Sannikov D.N., Servatinskii V.V. Simulation of snow fences for road protection from drifted snow. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2024; 26 (3): 233–241. DOI: 10.31675/1607-1859-2024-26-3-233-241. EDN: FNJXOL

Введение

Зимой дорожные условия ухудшаются на значительной территории Российской Федерации. Основной причиной сложной обстановки на автомобильных дорогах являются снежные отложения и заносы. Во время метелей снег откладывается на дорожном полотне. Решением данной проблемы может послужить разработка новых методов защиты автомобильных дорог и совершенствование существующих [1].

Несвоевременная уборка автомобильных дорог от снежных отложений увеличивает расходы на их эксплуатацию. Снег на дорожном полотне снижает безопасность передвижения транспортных средств: ухудшается видимость, перекрываются дорожные знаки, вследствие снежных заносов уменьшается ширина проезжей части и заносятся дорожные ограждения.

Опыт разных стран показал, что борьба со снежными метелями и снежными заносами требует дополнительных мер защиты, помимо уборки снега снегоуборочной техникой. К дополнительным мерам можно отнести установку снегозащитных ограждений снегопередающих конструкций, посадку снегозащитных лесополос [2, 3, 4, 5].

Целью настоящего исследования является разработка снегопередающих ограждений для автомобильных дорог, сравнение работы разных снегозащитных и снегопередающих ограждений и выявление их положительных характеристик. Для оценки использовалась К- ϵ RNG модель турбулентности. Расчет и моделирование воздушного потока выполнялись в программе Solid Works Flow Simulation.

Снежная буря – это двухфазный поток, в котором происходит взаимодействие снега (твердого материала) и воздуха. Во время снежной бури происходит непрерывный контакт земной поверхности и воздуха с частицами снега.

Виды фаз метели [6]:

1. Низовое движение – скольжение частиц снега по поверхности (максимальное количество сантиметров).
2. Скачкообразное движение – беспорядочное перемещение частиц «во время прыжка» в воздушном пространстве (по закону броуновского движения).
3. Взвесь (диффузия) – частицы снега поднимаются на высоту более 1 м во время снежной бури.

Процесс скачкообразного движения и диффузии важно учитывать в вопросах защиты от снега и выдувания снега.

Для решения проблемы снежных заносов был проведен анализ разных снегозащитных средств и ограждений. Различие между этими двумя типами заключается в том, что снежные барьеры задерживают снег вблизи искусственных сооружений, а снегопередающие ограждения помогают сдуть снег с дороги, отодвигая снежные отложения на безопасное расстояние [7, 8, 9, 10].

Конструктивные особенности снегопередающих ограждений ускоряют прохождение снега во время метели через дорожное покрытие, предотвращая оседание снежных заносов и способствуя образованию сугробов за дорожным покрытием [3].

Моделирование снегопередающих и снегозащитных ограждений

Моделирование воздушного потока в Solid Works Flow Simulation основано на результатах оценки различных типов защиты от снежных заносов. Расчеты проводились в двумерных условиях. Среднее значение Рейнольдса по уравнению Навье – Стокса рассчитывается с использованием модели турбулентности К- ϵ RNG. Этот тип модели часто применяется в программах аэродинамического моделирования.

В ходе моделирования были приняты стационарные данные для всех ограждений: шероховатость – 10 мкм, давление – 760 мм рт. ст., плотность воздушного потока – $1,2 \text{ кг/м}^3$, температура окружающей среды – минус 20°C и скорость изначального воздушного потока – 11 м/с (рис. 1).

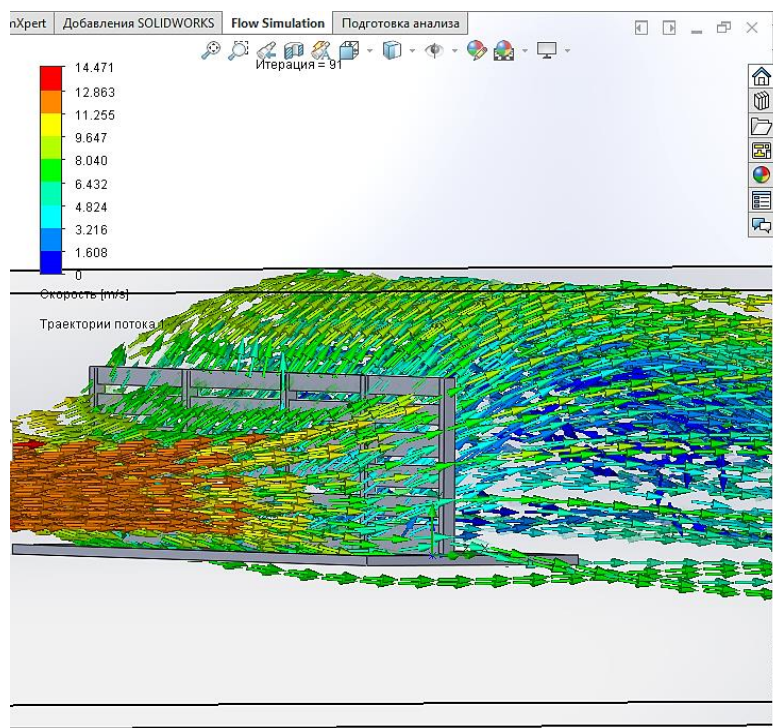


Рис. 1. Моделирование работы снегозащитных ограждений
Fig. 1. Snow fence operation simulated in SOLIDWORKS Flow Simulation

Для анализа аэродинамических свойств метели были смоделированы снегозащитное ограждение без снегопередающего эффекта и снегопередающие ограждения с разным конструктивом.

Для анализа аэродинамических характеристик снежных бурь рассмотрены снегозащитные ограждения без возможности передувания снежной бури и снегопередающие ограждения различной конструкции, имеющие такую возможность.

Снегозащитное ограждение представляет ряд панелей, установленных на опоры с просветностью 0,3. С данным коэффициентом просветности максимально снижается процесс завихрения, который негативно сказывается на подветренной зоне осаждения снежных частиц. В процессе моделирования воздушных масс было выявлено, что такой тип ограждений максимально способствует только задержанию снега без передувającego эффекта. В данном типе ограждения возникает существенная турбулентность, что, в свою очередь, влечет за собой отложения снега за снежным барьером, а именно шлейф снежных отложений достигает внушительных размеров и мешает движению

транспортного средства. Кроме того, во время снежной бури скорость воздушного потока значительно снижается – с 11 до 1,5 м/с.

После анализа снегозащитного ограждения оценили упрощенный вариант снегопередающего ограждения, представленного на рис. 2. Данный тип ограждений отличается от классических снегозащитных ограждений наличием нижнего зазора между земляным полотном и ветропередающей панелью, который находится в соотношении 40 на 60 относительно высоты ограждения. Просветность у такого типа ограждений меньше, чем у снегозащитных, и составляет 0,2 ввиду малой площади ветронаправляющей панели. Зазор в нижней части способствует увеличению скорости воздушного потока за счет эффекта сжатия воздушного потока. Снежная буря передвигается в нижний зазор, увеличивая скорость, переносится через дорожное полотно.

Моделирование работы снегопередающего ограждения показано на рис. 3 и 4. Можно утверждать, что эффект завихрения воздушного потока за ограждением уменьшается по сравнению с работой снегозащитного ограждения, распределение же воздушного потока более равномерное. Также нижняя часть открыта, что создает эффект сжатия и ускорения воздушного потока, передвигającego снег. Снижение скорости воздушного потока в нижней части ограждения является незначительным – с 11 до 9 м/с.

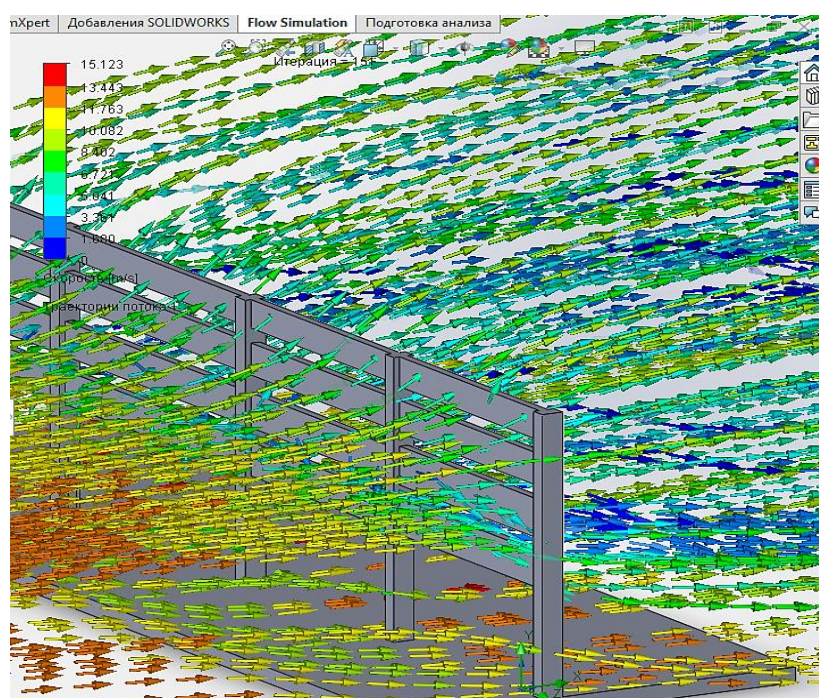


Рис. 2. Моделирование стандартных снегопередающих ограждений
Fig. 2. Standard snow fences simulated in SOLIDWORKS Flow Simulation

Разработано снегопередающее ограждение, отличное от стандартных снегопередающих ограждений, работа которого представлена на рис. 3 и 4.

За счет изменения форм и на основании аэродинамических исследований была выявлена форма с максимальным передуваяющим эффектом. Ветронаправляющая панель представлена в виде полусферы, за счет такой формы ветер максимально эффективно может передуваться через дорожное полотно. Зазор в представленном типе ограждения в самой узкой точке составляет 80:20 по отношению к ветронаправляющей панели. В верхней части конструкции установлен обтекатель, в результате которого между основной ветронаправляющей панелью и обтекателем возникает увеличение скорости воздушного потока. На основе моделирования выбраны оптимальная форма и длина нижнего элемента. Форма разработанного нижнего элемента способствует максимальному сжиманию воздушного потока между ограждением и дорожным полотном, что приводит к повышению скорости и, как следствие, увеличению дальности передувания снега через дорожное полотно.

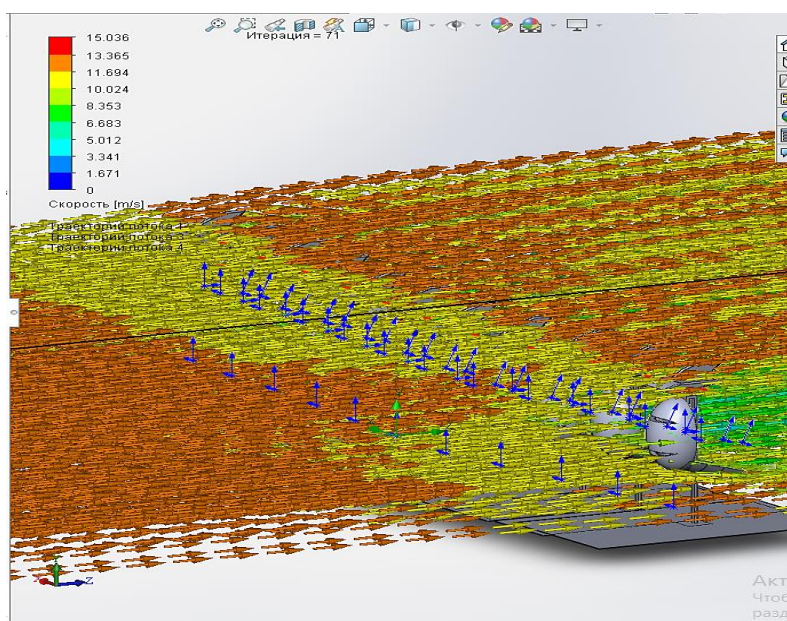


Рис. 3. Моделирование воздушных потоков на предложенном снегопередуваящем ограждении
Fig. 3. Air flows near the proposed snow fences

По результатам моделирования аэродинамических процессов предложенного снегопередуваящего ограждения было выявлено, что форма основной панели соответствует условиям максимального передувания воздушного потока. Зазоры в нижней и верхней частях основной панели уменьшают турбулентность и положительно влияют на обзорность автомобилей во время движения. Согласно закону Бернулли, элементы, добавленные в виде верхних крыльев и нижних зазоров, способствуют возникновению разности давления. Давление внизу конструкции ниже, чем давление в верхней части, в результате чего воздушный поток меняет направление, и, как следствие, скорость перемещения снега увеличивается.

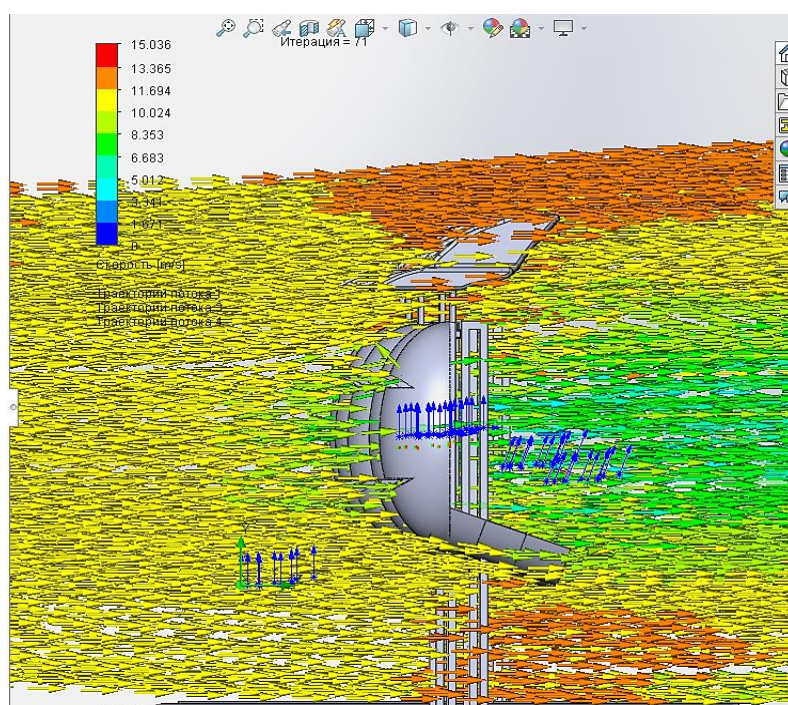


Рис. 4. Моделирование работы разработанных снегопередувающих ограждений
Fig. 4. Operation of proposed snow fences

Анализируя конструктивные особенности упрощенного снегопередувающего ограждения и предложенного снегопередувающего ограждения, можно сделать вывод, что изменение формы основной панели, размера нижнего зазора и внедрение верхнего обтекателя будут способствовать уменьшению воздействия метели и обеспечат защиту дорожного полотна от снежных заносов.

Заключение

В статье рассмотрены проблемы, связанные с предотвращением снежных заносов на автомобильных дорогах. Смоделированы процессы работы снегопередувающих и снегозащитных ограждений для борьбы со снежными бурями на автомобильных дорогах. Можно утверждать, что внедрение дополнительных мер борьбы со снежными отложениями будет снижать объем работы для снегоуборочной техники, а также повысит безопасность передвижения транспорта и долговечность дорожного полотна. На основе полученных данных были сделаны следующие выводы:

1. Внедрение верхнего обтекателя и нижнего элемента в снегопередувающее ограждение позволило увеличить скорость воздушного потока до 14 м/с, что составляет прирост в скорости на 23 % от изначальной. Данные элементы способствуют переносу снежных частиц во время метели через автомобильную дорогу, отодвигая шлейф снежных отложений на требуемое расстояние.
2. Сравнение работы снегозащитных и снегопередувающих ограждений, анализ результатов изменения скорости воздушного потока показали, что

наличие передвигающихся элементов сможет переместить снежные массы за дорожное полотно.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бялобжеский Г.В., Дюнин А.К., Плакса Л.Н., Рудаков Л.М., Уткин Б.В. Зимнее содержание автомобильных дорог / под ред. А.К. Дюнина. 2-е изд., перераб. и доп. Москва : Транспорт, 1983. 197 с.
2. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. Москва : Транспорт, 1993. 270 с.
3. Васильев А.Л. Состояние дорог и безопасность движения автомобилей в сложных погодных условиях. Москва : Транспорт, 1976. 224 с.
4. Васильев А.П. Защита от снега // Автомобильные дороги. 2010. № 12. С. 69–76.
5. Паневин Н.И. Организация борьбы со снегоотложениями на дорогах на основе региональных расчетных параметров метели : специальность 05.23.11 : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Паневин Николай Иванович. Воронеж, 1999. 170 с.
6. Tabler R.D. Controlling blowing and drifting snow with snow fence // Government Engineering. 2005. July-Aug. P. 30–32.
7. Васильев А.Л. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. Москва : Транспорт, 1986. 248 с.
8. Самодурова Т.В., Гладышева О.В. Защита от снега // Автомобильные дороги. 2013. № 11 (984). С. 77–80.
9. Building Research Department, Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization. Verification and improvement of snow control performance of windbreak fence // Research Report. 2018.
10. Kaneko M., Watabe T., Matsuzawa M. Revision of Highway Snowstorm Countermeasure Manual. Focus on Snowbreak Woods // Transportation Research Circular. 2012. NoE-C162. Apr. P. 143–153.

REFERENCES

1. Byalobzhesky G.V., Dunin A.K. (Ed.), Plaksa L.N., Rudakov L.M., Utkin B.V. Winter maintenance of roads. 2nd ed., Moscow: Transport, 1983. 197 p. (In Russian)
2. Babkov V.F. Road conditions and traffic safety. Moscow: Transport, 1993. 270 p. (In Russian)
3. Vasiliev A.L. Road condition and vehicle traffic safety in difficult weather conditions. Moscow: Transport, 1976. 224 p. (In Russian)
4. Vasiliev A.P. Road protection from snow. *Avtomobil'nye dorogi*. 2010; (12): 69–76. (In Russian)
5. Panevin N.I. Road protection from snow formation using regional calculated parameters of snowdrift. PhD Thesis Voronezh, 1999. 170 p. (In Russian)
6. Tabler R.D. Controlling blowing and drifting snow with snow fence. Government Engineering, 2005. Pp. 30–32.
7. Vasilyev A.L. Road design with respect to climatic traffic conditions. Moscow: Transport, 1986. 248 p. (In Russian)
8. Samodurova T.V., Gladysheva O.V. Road protection from snow. *Avtomobil'nye dorogi*. 2013; 11 (984): 77–80. (In Russian)
9. Building Research Department, Local Independent Administrative Agency Hokkaido Research Organization. Verification and improvement of snow control performance of windbreak fence. Research Report 2018.
10. Kaneko M., Watabe T., Matsuzawa M. Revision of highway snowstorm countermeasure manual. Focus on snowbreak woods. Transportation Research Circular, 2012. NoE-C162. Apr. Pp. 143–153.

Сведения об авторах

Санников Денис Николаевич, аспирант, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, BrownGp2@yandex.ru

Серватинский Вадим Вячеславович, канд. техн. наук, Сибирский федеральный университет, 660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 79, vservatinsky@sfu-kras.ru

Authors Details

Denis N. Sannikov, Research Assistant, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, BrownGp2@yandex.ru

Vadim V. Servatinsky, PhD, Siberian Federal University, 79, Svobodnyi Ave., 660041, Krasnoyarsk, Russia, vservatinsky@sfu-kras.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 14.02.2024
Одобрена после рецензирования 15.03.2024
Принята к публикации 12.04.2024

Submitted for publication 14.02.2024
Approved after review 15.03.2024
Accepted for publication 12.04.2024