

## ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПЛОТНЯЕМОЙ СНЕЖНОЙ МАССЫ

*Русмиленко А.К., Егоров А.Л., Егоров М.А.  
Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Ключевые слова:** толщина снежной массы, пневмоколесный каток, лабораторная установка, уплотнение снежной массы, глубина проседания штампа, оптимальное количество проходов, плотность снежной массы, пятно контакта.

**Аннотация.** В статье рассматривается проведение экспериментальных исследований по определению влияния параметров уплотняемой снежной массы на качество уплотнения пневмоколесным катком. В качестве основных параметров были выбраны: толщина снежной массы, изменение нагрузки и количество проходов. Экспериментальная часть разделена на 2 части: с применением штампа и лабораторной установки. Лабораторная установка имитирует работу пневмоколесного катка по уплотнению снежной массы, и представляет собой линейно передвигающуюся подвижную опору с шиной, имитирующей рабочий орган пневмоколесного катка, и изменяемым грузом. Полученные результаты можно будет применить для определения оптимальной толщины насыпаемого слоя снежной массы и количества проходов с целью достижения наилучшего результата с наименьшими затратами при строительстве автозимников, а также для того, чтобы правильно подобрать технику для выполнения работ.

## CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES TO DETERMINE THE EFFECT OF THE PARAMETERS OF AN AIR-WHEELED ROLLER ON THE QUALITY OF COMPACTION OF SNOW MASS

*Rusmilenko A.K., Egorov A.L., Egorov M.A.  
Tyumen Industrial University, Tyumen*

**Keywords:** snow mass thickness, pneumatic tire roller, laboratory installation, snow mass compaction, stamp subsidence depth, optimal number of passes, snow mass density, contact patch.

**Abstract.** The article discusses the conduct of experimental studies to determine the influence of the parameters of the compacted snow mass on the quality of compaction with a pneumatic tire roller. The main parameters chosen were: thickness of the snow mass, change in load and number of passes. The experimental part is divided into 2 parts: using a stamp and a laboratory setup. The laboratory installation simulates the work of a pneumatic roller to compact the snow mass, and is a linearly moving movable support with a tire simulating the working body of a pneumatic roller, and a variable load. The results obtained can be used to determine the optimal thickness of the poured layer of snow mass and the number of passes in order to achieve the best result at the lowest cost during the construction of winter roads, as well as to select the right equipment for the work.

### Введение

С 2019 года и до 2030 год проходит реализация национального проекта «Безопасные и качественные автодороги», в рамках которого проводятся масштабные работы, направленные на повышение качества и безопасности автомобильных дорог [1]. Но программа нацелена на повышение качества и безопасности автомобильных дорог постоянного пользования, исключая дороги временного пользования, к которым, например, относятся автозимники, которые в некоторых регионах являются жизненной артерией для населенных пунктов, являются стратегически значимыми для промышленности и регионов, и сезонно лидируют по протяженности [2]. Поэтому целью работы является повышение качества передвижения автомобильного транспорта по автозимникам за счет формирования более прочного покрытия проезжей части при строительстве, при этом с наименьшими затратами [3]. Но снежная масса, из которой формируется проезжая часть автозимника, является недостаточно изученной, как следствие неопределённости зависимости, влияющие на качество уплотнения

снежной массы [4]. Часть экспериментальных исследований, направленных на определение влияния параметров на качество уплотнения, рассмотрена в данной работе.

Задачи экспериментальной части:

1) определение влияние толщины снежной массы на глубину проседания штампа [5];

2) определение влияния толщины снежной массы на качество уплотнения;

3) определение влияния количества проходов на качество уплотнения [6].

Схема экспериментальных исследований представлена на рисунке 1. Измеряемыми параметрами будет глубина образовавшейся колеи и плотность снежной массы после прохода в пятне контакта.

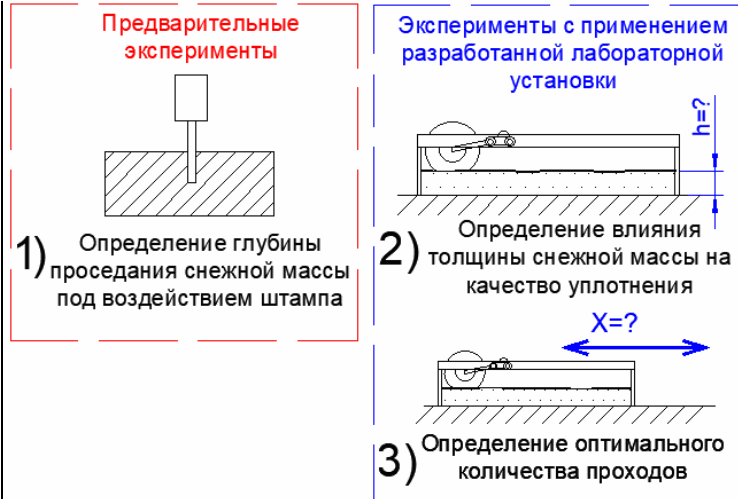


Рис. 1. Схема экспериментальных исследований

Порядок действий для проведения экспериментов №1 по определению влияния толщины снежной массы на глубину проседания штампа:

1) сформировать область снежной массы 10 см, 15 см, 20 см, 25 см, 30 см, 35 см, 40 см (предварительно подготовить ровное основание, затем разрыхлить и насыпать снег слоями до требуемой высоты, уплотняя их, тем самым имитируя работу снегороторного снегоочистителя по наброске снежной массы);

2) подготовить к работе штамп с требуемыми параметрами (для того чтобы штамп создавал нагрузку идентичную пневмоколесному катку массой 15 тонн, он должен обладать следующими характеристиками, которые были ранее рассчитаны: если его форма круглая, то диаметр индентора должен быть равным 6 см, при условии приложения нагрузки 85 килограмм);

2) произвести внедрение индентора в снежную массу определенной высоты (время выдерживания 2 секунды);

3) произвести замеры требуемых параметров;

4) повторить действия для снежной массы другой высоты.

Для проведения остальных экспериментальных исследований потребуется лабораторная установка, показанная на рисунке 2, представляющая собой линейно передвигающуюся подвижную опору с шиной и изменяемым грузом.

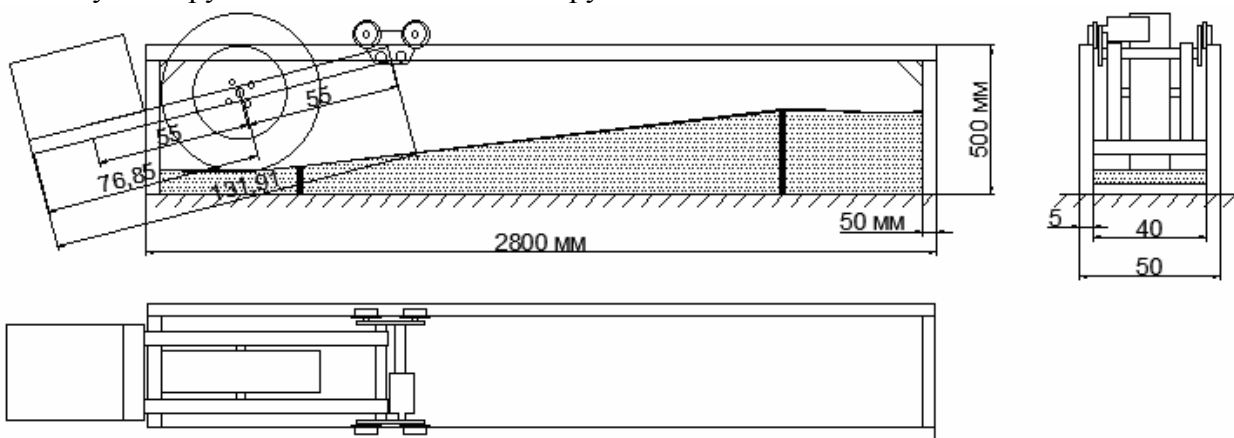


Рис. 2. Общий вид лабораторной установки

Порядок действий для проведения экспериментов №2 по определению влияния толщины снежной массы на качество уплотнения снежной массы:

- 1) сформировать область снежной массы с перепадом высоты вдоль лабораторной установки 10 см, 15 см, 20 см, 25 см, 30 см, 35 см, 40 см (предварительно подготовить ровное основание, затем разрыхлить и насыпать снег слоями до требуемой высоты, уплотняя их, тем самым имитируя работу снегороторного снегоочистителя по наброске снежной массы);
- 2) подготовить к работе лабораторную установку с подвижной частью, оказывающей нагрузку 14 кг (масса подвижной части без груза);
- 3) произвести прокат подвижной части вдоль неподвижной до конца;
- 4) произвести замеры требуемых параметров;
- 5) повторить действия с подвижной частью, оказывающей нагрузку 45 кг (масса подвижной части с грузом).

Для определения влияния количества проходов на качество уплотнения необходимо по снежной массе, толщиной 35 сантиметров провести до 7 проходов колеса без нагрузки и с нагрузкой с замером параметров.

Порядок действий для проведения экспериментов №3 по определению влияния количества проходов на качество уплотнения снежной массы:

- 1) сформировать область снежной массы с высотой 35 см по всей длине лабораторной установки (предварительно подготовить ровное основание, затем разрыхлить и насыпать снег слоями до требуемой высоты, уплотняя их, тем самым имитируя работу снегороторного снегоочистителя по наброске снежной массы);
- 2) подготовить к работе лабораторную установку с подвижной частью, оказывающей нагрузку 14 кг (масса подвижной части без груза);
- 3) произвести прокат подвижной части вдоль неподвижной до конца;
- 4) произвести замеры требуемых параметров;
- 5) затем выполнить до 7 повторов, между каждым делая замеры требуемых параметров;
- 6) повторить действия с подвижной частью, оказывающей нагрузку 45 кг (масса подвижной части с грузом).

### **Проведение экспериментальных исследований**

Экспериментальные исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» 26 февраля 2024 года, при температуре окружающего воздуха – 5°C, скорости ветра 0 м/с. Общий вид области проведения экспериментальных исследований представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Проведение экспериментальных исследований

Для проведения экспериментальных исследований была сформирована область снежной массы с изменяемой высотой, от 10 до 40 см и шагом 5 см, представленная на рисунке 4. А также область снежной массы с высотой 35 см [7]. Общая занимаемая площадь сформированной снежной массы для экспериментальных исследований представляла собой прямоугольник с размерами 3000×2700 мм.



Рис. 4. Лабораторная установка со сформированной снежной массой требуемой толщины

Измерение глубины образовавшейся колеи и плотности снежной массы в пятне контакта после прохода шины лабораторной установки представлены на рисунке 5. Замер плотности производился методом керновых колец [8].



Рис. 5. Замер показателей после прохождения шины лабораторной установки

### Результаты

По результатам проведенных экспериментальных исследований №1 по определению влияние толщины снежной массы на глубину проседания штампа были составлены графические зависимости, представленные на рисунках 6 и 7.

Вывод по эксперименту №1: с увеличением толщины снежной массы происходит увеличение глубины проседания штампа, но плотность снежной массы не увеличивается, следовательно, с увеличением толщины снежной массы происходит более активное выдавливание снега [9].



Рис. 6. Влияние толщины снежной массы на глубину проседания штампа

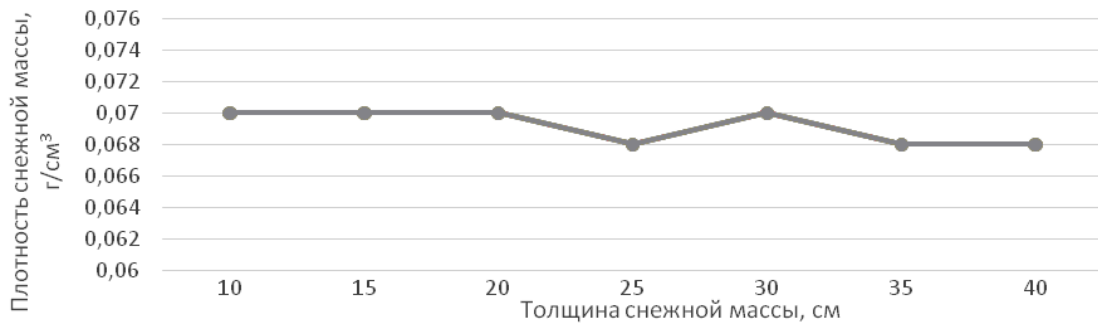


Рис. 7. Влияние толщины снежной массы на плотность

По результатам проведенных экспериментальных исследований №2 по определению влияния толщины снежной массы на качество уплотнения были составлены графические зависимости, представленные на рисунках 8 и 9.

Вывод по эксперименту №2: с увеличением толщины снежной массы возрастает глубина колеи, но на конечную плотность толщина снежной массы в заданных пределах почти не влияет [10].

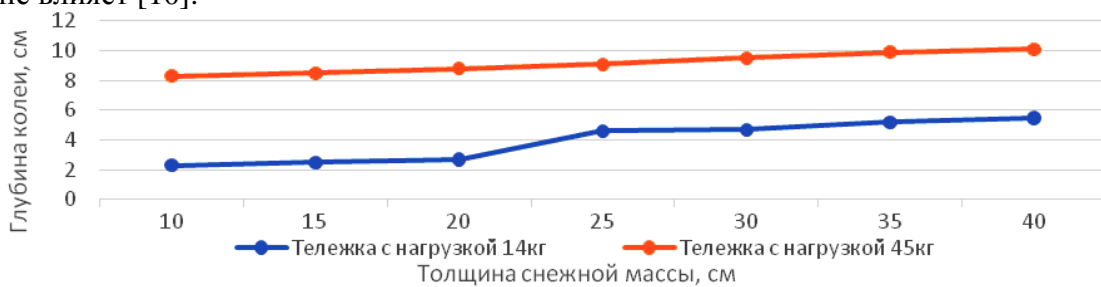


Рис. 8. Влияние толщины снежной массы на глубину образовавшейся колеи

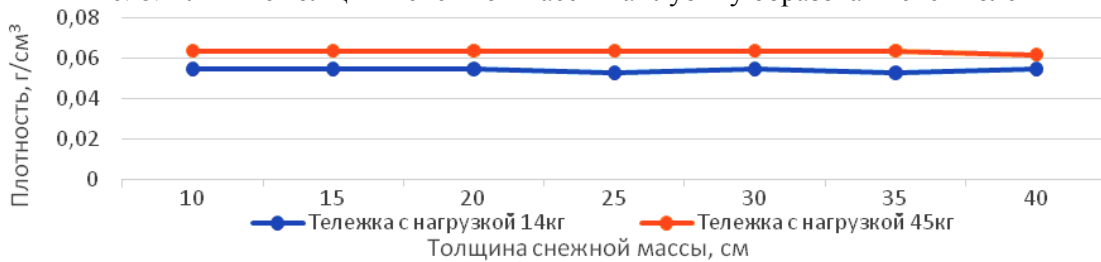


Рис. 9. Влияние толщины снежной массы на плотность

По результатам проведенных экспериментальных исследований №3 по определению влияния количества проходов на качество уплотнения были составлены графические зависимости, представленные на рисунках 10 и 11.

Вывод по эксперименту №3: с количеством проходов возрастает глубина колеи, но плотность перестает увеличиваться после 3-го прохода.

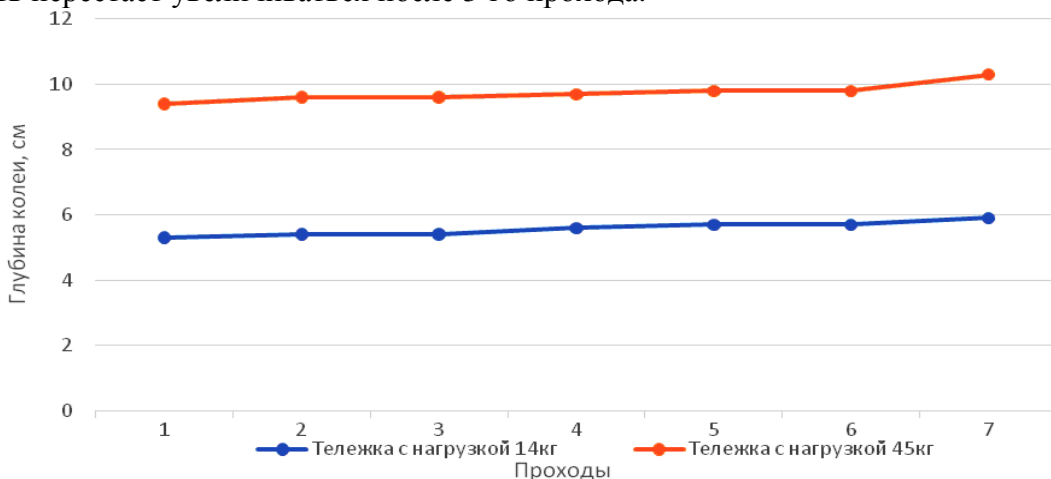


Рис. 10. Влияние количества проходов на глубину образовавшейся колеи



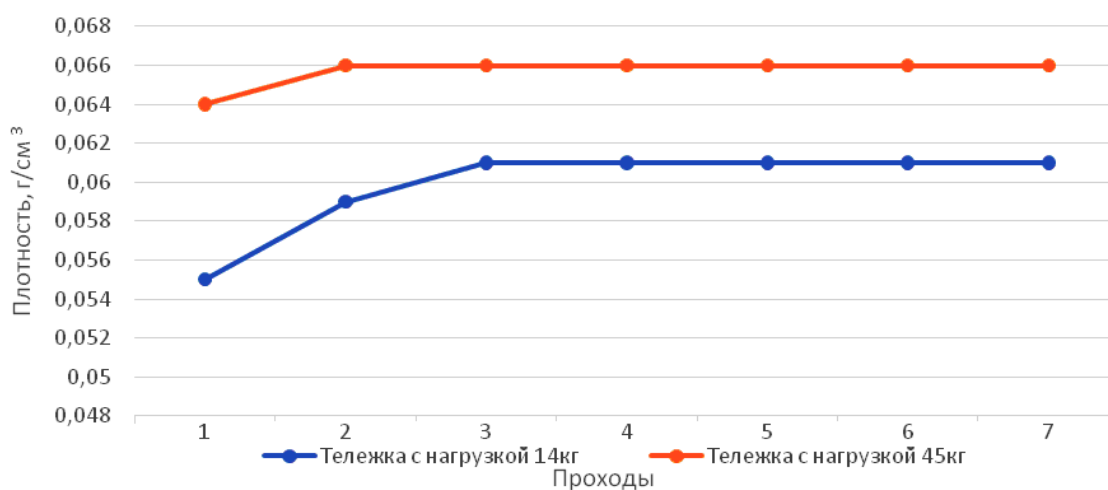


Рис. 11. Влияние количества проходов на плотность

### Выводы

В соответствии с поставленной целью была разработана лабораторная установка для проведения экспериментов, а так же разработан и проведен комплекс экспериментальных исследований, направленный на определение влияния параметров уплотняемой снежной массы, включающий: определение влияния толщины снежной массы на глубину и конечную плотность в результате воздействия штампа; влияние толщины снежной массы на конечную плотность и глубину образования колеи в результате прохода шины лабораторной установки; а так же влияние количества проходов на конечную плотность и глубину образования колеи после проходы шины лабораторной установки.

Таким образом, на основании определенных экспериментальным путем зависимостей можно установить коэффициенты, необходимые для дальнейшей разработки математической модели уплотнения снежной массы уплотняющей техникой. Путем применения разработанной математической модели можно будет определить оптимальные рабочие параметры и режимы работы снегоуплотняющей техники при строительстве автозимников.

### Список литературы

1. Русмиленко А.К., Мадьяров Т.М., Егоров А.Л. Технология строительства магистральных автозимников с применением универсальной техники // Научная территория: технологии и инновации: материалы Международной научно-практической конференции, Тюмень, 17-18 ноября 2022 года. Том II. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2022. – С. 142-144.
2. Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Мерданов Ш.М. Основные аспекты развития транспортной инфраструктуры крайнего севера // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 3-1. – С. 31-36.
3. Русмиленко А.К. Методика проведения экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров работы снегоуплотняющей техники // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2023. – № 23. – С. 85-94. – DOI: 10.26160/2658-3305-2023-23-85-94.
4. Плохов А.А., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Мерданов Ш.М. Планирование многофакторного эксперимента "вибрационный гидрошинный каток – уплотнение снежной массы" // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5-2. – С. 286-290.
5. Артеменко В.А., Желукевич Р.Б., Кайзер Ю.Ф., Лысянников А.В. Уплотнение снежной массы в замкнутом объеме при различных условиях окружающей среды // Транспортные системы Сибири. Развитие транспортной системы как катализатор роста экономики государства: Международная научно-практическая конференция, Красноярск, 07-08 апреля 2016 года. Часть 1. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2016. – С. 290-293.
6. Костырченко В.А., Мадьяров Т.М., Егоров А.Л., Сидоров В.И. Создание 3D модели лабораторной установки и определение факторов, влияющих на уплотнение снежной массы в замкнутом объеме // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-2. – С. 302-306.
7. Егоров Д.Л., Цыдыпова Д.О., Петухова О.А., Костырченко В.А. Методы уплотнения снежной массы при строительстве снеголедовых дорог // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Тюмень, 14-16 ноября 2012 года. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2012. – С. 163-166.

8. Мерданов Ш.М., Плохов А.А., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Изготовление опытного образца вибрационного гидрошинного катка // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 5-2. – С. 270-275.
9. Мадьярова Л.Г., Костырченко В.А., Мадьяров Т.М. Экспериментальная установка для определения параметров уплотнения снежной массы // Проблемы функционирования систем транспорта: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. В 2-х томах, Тюмень, 22-23 декабря 2017 года. Том 1. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. – С. 112-114.
10. Патент № 173054 РФ. Устройство для уплотнения снежной массы / И.Н. Изотов. – Заявка № 2017105273 от 17.02.2017; опубл. 08.08.2017.

#### References

1. Rusmilenko A.K., Madyarov T.M., Egorov A.L. Technology of construction of main winter roads using universal equipment // Scientific territory: technologies and innovations: materials of the International scientific and practical conference, Tyumen, November 17-18, 2022. Vol. II. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2022. – P. 142-144.
2. Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Merdanov Sh.M. Main aspects of the development of transport infrastructure in the Far North // Fundamental Research. 2016, no. 3-1, pp. 31-36.
3. Rusmilenko A.K. Methodology for conducting experimental research to determine the optimal operating parameters of snow compacting equipment // Transport, mining and construction engineering: science and production. 2023, no. 23, pp. 85-94. DOI: 10.26160/2658-3305-2023-23-85-94.
4. Plokhov A.A., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Merdanov Sh.M. Planning a multifactorial experiment “vibrating hydraulic tire roller - snow mass compaction” // Modern science-intensive technologies. 2016, no. 5-2, pp. 286-290.
5. Artemenko V.A., Zhelukevich R.B., Kaiser Yu.F., Lysyannikov A.V. Compaction of snow mass in a closed volume under various environmental conditions // Transport systems of Siberia. Development of the transport system as a catalyst for the growth of the state economy: International scientific and practical conference, Krasnoyarsk, April 07-08, 2016. Part 1. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2016. – P. 290-293.
6. Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M., Egorov A.L., Sidorov V.I. Creation of a 3D model of a laboratory installation and determination of factors influencing the compaction of snow mass in a closed volume // Fundamental Research. 2016, no. 12-2, pp. 302-306.
7. Egorov D.L., Tsydyпова D.O., Petukhova O.A., Kostyrchenko V.A. Methods for compacting snow mass during the construction of snow-ice roads // Problems of functioning of transport systems: Materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists, Tyumen, November 14-16, 2012. – Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University, 2012. – P. 163-166.
8. Merdanov Sh.M., Plokhov A.A., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M. Manufacturing of a prototype of a vibratory hydraulic tire roller // Modern science-intensive technologies. 2016, no. 5-2, pp. 270-275.
9. Madyarova L.G., Kostyrchenko V.A., Madyarov T.M. Experimental installation for determining the parameters of compaction of snow mass // Problems of functioning of transport systems: Materials of the International scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists. In 2 volumes, Tyumen, December 22-23, 2017. Vol. 1. – Tyumen: Tyumen Industrial University, 2018. – pp. 112-114.
10. Patent No. 173054 RU. Device for compacting snow mass / I.N. Izotov. – Appl. No. 2017105273 from 17.02.2017; publ. 08.08.2017.

#### Сведения об авторах:

#### Information about authors:

<b>Русмиленко Антон Константинович</b> – аспирант	<b>Rusmilenko Anton Konstantinovich</b> – postgraduate student
<b>Егоров Андрей Леонидович</b> – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные и технологические системы»	<b>Egorov Andrey Leonidovich</b> – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of transport and technological systems
<b>Егоров Максим Андреевич</b> – студент rustorm@bk.ru	<b>Egorov Maxim Andreevich</b> – student

Получена 26.03.2024