

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630008>

Оригинальное исследование



Результаты экспериментальных исследований по определению давления на грунт вездеходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 в условиях районов Крайнего Севера РФ и приравненным к ним местностям

Ф.В. Свойкин¹, В.Ф. Свойкин¹, А.А. Борозна¹, М.В. Тарабан², В.В. Кабаков³¹ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Санкт-Петербург, Россия;³ Московский Авиационный Институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В статье рассматривается влияние вездеходов-снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 на пневматиках сверхнизкого давления с разной конфигурацией оборудования на почву.

Цель работы — исследование колёсного оборудования: Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел -44 и Мамонт 1780×710-32) в части оценки влияния конструктивных параметров двигателей колёсных вездеходов-снегоболотоходов разного класса на почву и определения удельного давления на грунт вездеходов-снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 на пневматиках сверхнизкого давления.

Материалы и методы. Определение давления в шинах (4 и 50 кПа) проведено согласно результатам воздействия такой техники разных классов и конфигураций колёсного оборудования и дополнительного оборудования на грунт в соответствии с ГОСТ Р 58656 – 2019 в природно-производственных условиях районов Крайнего Севера и приравненным к ним местностям РФ.

Результаты. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований воздействия двигателей вездеходов-снегоболотоходов на грунт.

Заключение. Предлагаются методы и способы снижения негативного воздействия двигателей вездеходов-снегоболотоходов на почву. Практическая ценность исследования заключается в практических рекомендациях о возможности апробирования результатов исследований в природно-производственных условиях районов Крайнего Севера и приравненным к ним местностям.

Ключевые слова: вездеход; снегоболотоход; пневматики сверхнизкого давления; почва; давление на почву; уплотнение почвы.

Как цитировать:

Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Борозна А.А., Тарабан М.В., Кабаков В.В. Результаты экспериментальных исследований по определению давления на грунт вездеходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 в условиях районов Крайнего Севера РФ и приравненным к ним местностям // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 779–792. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630008>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630008>

Original Study Article

Results of the experimental studies to determine the soil pressure of the Khishchnik-3930 and Khishchnik-3940 all-terrain vehicles in the conditions of the regions of the Far North of the Russian Federation and the equivalent areas

Fedor V. Svoykin¹, Vladimir F. Svoykin¹, Anatoly A. Borozna¹, Maria V. Taraban², Vitaly V. Kabakov³

¹ Saint Petersburg State Forest Technical University, Saint Petersburg, Russia;

² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia;

³ Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The paper discusses the impact of the Khishchnik-3930 and Khishchnik-3940 all-terrain vehicles with ultra-low pressure tyres on soil with various equipment configurations.

OBJECTIVE: Study of the influence of the Belshina Arctic trans 28.1R26 Bel -44 and the Mammoth 1780×710-32 tyres in the context of evaluation of the design parameters of the propulsors of wheeled all-terrain vehicles of various categories on soil and determination of specific soil pressure of the Khishchnik-3930 and Khishchnik-3940 all-terrain vehicles with ultra-low pressure tyres.

METHODS: Determination of the tyre pressure (4 and 50 kPa) is given according to the results of the impact of the machinery of various categories and configurations of the wheel equipment and the additional equipment on soil in accordance with GOST R 58656-2019 in the natural and operating conditions of the regions of the Far North and the equivalent areas of the Russian Federation are given.

RESULTS: The results of theoretical and experimental studies of the impact of propulsors of the all-terrain vehicles on soil are presented.

CONCLUSIONS: The methods and ways of reduction of negative impact of the all-terrain vehicles' propulsors on soil are proposed. The practical value of the study lies in practical recommendations on the possibility of approbation of the study results in the natural and operating conditions of the regions of the Far North and the equivalent areas.

Keywords: all-terrain vehicle; snow-and-swamp vehicle; ultra-low pressure tyres; soil; soil pressure; soil compaction.

To cite this article:

Svoykin FV, Svoykin VF, Borozna AA, Taraban MV, Kabakov VV. Results of the experimental studies to determine the soil pressure of the Khishchnik-3930 and Khishchnik-3940 all-terrain vehicles in the conditions of the regions of the Far North of the Russian Federation and the equivalent areas. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(6):779–792. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-630008>

Received: 05.04.2024

Accepted: 26.01.2025

Published online: 26.01.2025

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отчётливо наблюдается тренд на минимализацию последствий прохода тяжелой техники по малонарушенным территориям в условиях районов Крайнего Севера РФ и приравненным к ним местностям [1–4]. Воздействие технологических операций при осуществлении логистики грузов и персонала на почву, биоразнообразие и др. следует уменьшать исходя из экологического фактора [5]. Почвы малонарушенных территорий в условиях районов Крайнего Севера и приравненным к ним местностям особо восприимчивы к воздействию тяжёлой агрегатной техники, в особенности при осуществлении логистических работ по доставке грузов и персонала [6]. Гранулометрический состав в совокупности с такими показателями как влажность почвы, содержание органических веществ, уклон местности, тип и размер транспортных средств, давления шин, формы шин, и количество проездов транспортных средств и др. оказывает влияние на масштабы, степень и продолжительность прямого и косвенного воздействия техники на малонарушенные особо чувствительные к нагрузке почвы [2, 6].

Согласно постановлениям [7, 8], в соответствии [9], а также — [10]: «передвижение транспортных средств (ТС) вне границ населённых пунктов возможно только на ТС на пневматическом ходу с удельным давлением шины на грунт более $0,12 \text{ кг/см}^2$ вне зависимости от разрешённой массы ТС». Действие [7–9] распространяется на всю территорию Красноярского края.

Место производства работ по определению влияния вездеходов-снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 на пневматиках сверхнизкого давления на почву:

- Общество с ограниченной ответственностью «МЕГ ВЕСТ», Тюменская обл., г. Тобольск, с. Бизино, ул. Ремонтников, 23.

Предмет исследования:

1. Снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44 (далее ХИЩНИК-3930).
2. Снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940 колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710–32 (далее ХИЩНИК-3940).

Цель исследований:

1. Определить удельное давление шины транспортных средств: ХИЩНИК-3930, ХИЩНИК-3940, на грунт.
2. Установить, соответствуют ли транспортные средства: ХИЩНИК-3930, ХИЩНИК-3940 требованиям Постановления администрации Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа от 01.12.2003 № 450 с изменениями, внесёнными Постановлением Правительства Красноярского края от 31.05.2022 № 475-п в части разрешения передвижения вне границ населённых пунктов на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования являлись:

1. Снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44 (рис. 1).
2. Снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940 колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710–32, далее ХИЩНИК-3940 (рис. 2).

На рассматриваемой территории согласно [7–9] установлен запрет на передвижение ТС на пневматическом ходу с удельным давлением шины на грунт более $0,12 \text{ кг/см}^2$, вне зависимости от разрешённой массы ТС.

Таким образом, с целью оценки воздействия исследуемых транспортных средств на почву при их передвижении, специалистами была произведена оценка воздействия движителей на почву в соответствии с [11].

Для оценки соответствующего воздействия использовалась методика, содержащаяся в п. 5.2. [11].

Согласно методике осуществлён осмотр снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940.

Для расчёта давления на грунт потребовались следующие данные:



Рис 1. Снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930.

Fig. 1. The Khishchnik-3930 snow-and-swamp vehicle with ultra-low-pressure tires.



Рис 2. Снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940.

Fig. 2. The Khishchnik-3940 snow-and-swamp vehicle with ultra-low-pressure tires.

- значения и характеристики на снегоболотоходы ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 — инструкция;
- технические характеристики на шины сверхнизкого давления Белшина (Приложение 2) и Мамонт;
- параметр «площадь пятна контакта движителя на опорную поверхность» потребовал натурного замера в производственных условиях, и был произведён [11].

Определение контурной площади пятна контакта протектора шины трактора описано в приложении А и В применяемого ГОСТа [11].

В ходе исследований проведено определение контурной площади пятна контакта протектора шин соответственно колёсному оборудованию Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44 и Мамонт 1780×710–32 на рабочих давлениях в 50 и 4 кПа согласно диапазону рабочего давления воздуха в колёсном оборудовании, рекомендованных производителем в руководстве по эксплуатации.

Определение площадей произведено в соответствии с описанием, данным в приложении А и В применяемого ГОСТа [11].

Порядок процесса ХИЩНИК-3930 (для давления 50 Мпа).

1. Трактор в процессе измерений был установлен на площадке с бетонным основанием.
2. Отклонение от плоскостности поверхности площадки в пределах габаритов машины не превышало 5 мм.
3. Отклонение от горизонтального положения плоскости, прилегающей к поверхности площадки, в тех же габаритах не превышало 2°.
4. Измерения проводились через 20–25 мин после накачки шин. Погрешность манометра при измерениях давления в шинах по абсолютной величине не превышала 5%.
5. Снегоболотоходы на пневматиках сверхнизкого давления оборудованы в базовой комплектации автоматической центральной подкачкой давления в шинах и штатным манометром для контроля водителем соответствия давления почвенно-грунтовым условиям эксплуатации вездехода (ссылка на инструкцию по эксплуатации и на рисунок с таблицей давления имеется на передней панели снегоболотохода).
6. Давление в шинах одной и той же оси не отличалось более чем на погрешность 5%.
7. Положение колёс соответствовало прямолинейному движению трактора.
8. Отпечаток контурной площади по ГОСТ 17697 [12] ведущего колеса должен быть получен при 4х кратном его опускании (до полного заполнения отпечатка домкратом и отсутствии смещения трактора в горизонтальной плоскости в опущенном положении). При этом после каждого опускания колеса поворачивали на угол, соответствующий ширине выступа протектора.
9. Отпечаток контурной площади определялся по ГОСТ 17697 [12].
10. Нанесение красящего вещества на выступы протектора обеспечило наличие четкого отпечатка без подтеков.

11. Контур всех отпечатков протектора колеса определяли очерчиванием отпечатка плавной кривой, охватывающей выступы.

12. Значение контурной площади протектора колеса определяли путём фотографирования отпечатка цифровой камерой с наложенной на него масштабной квадратной фигурой площадью 0,01 м².

13. Полученный снимок обрабатывался с помощью компьютерных программ (приложение Camera Ruler™ [13]) для автоматического проектирования, в которых имеется командная опция: «измерения; определение площади произвольной фигуры».

14. Поскольку в руководстве по эксплуатации ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 указан диапазон рабочих давлений от 50 до 4 кПа, аналогичным образом специалистами была проведена оценка для давления 4 кПа.

Особенность шин на пневматиках сверхнизкого давления при взаимодействии с разными видами почв и почвогрунтов [14–16] заключается в разном давлении внутри шины в зависимости от почвенно-грунтовых условий, отражённых и заверенных производителем технических решений как в инструкции по эксплуатации [17] таких шин и механизмов на таком движителе, так и на информационной табличке на приборной панели вездехода (рис. 3).

Стоит отметить, что ранее авторами были рассмотрены иные решения для решения логистических задач на пневматиках сверхнизкого давления [18–23].

Измерения размерных характеристик осуществлялось поверенной измерительной рулеткой RGK R-20 S20M0034, длина 20 м, толщина 13 мм с поверкой [24].

Измерение давления осуществлялось поверенным манометром шинным ТМ (ГРСИ 25913-08) 0–1,6 Мпа (0–16 кгс/см²) с поверкой [25–27].



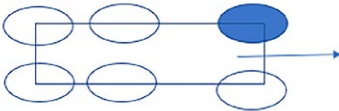
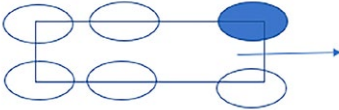
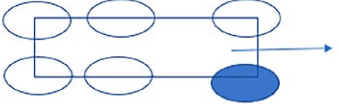
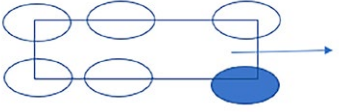
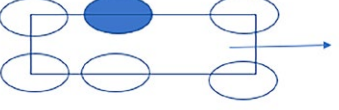
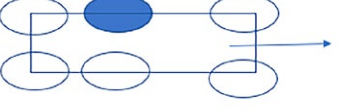
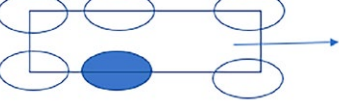
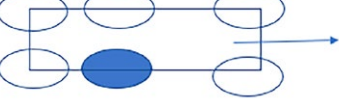
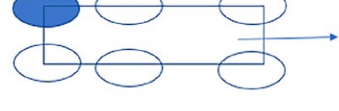
Рис. 3. Диапазон рабочего давления в колёсах снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940.

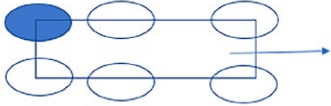
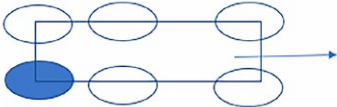
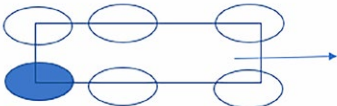
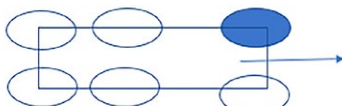
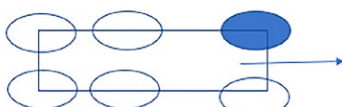
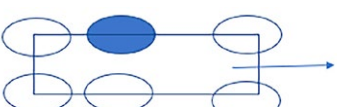
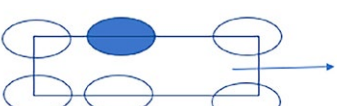
Fig. 3. Range of working pressure in the wheels of the Khishchnik-3930 and the Khishchnik-3940 snow-and-swamp vehicles.

Таким образом, рекомендуемое давление при эксплуатации техники на болотистых, лесных участках, на полях и с/х угодьях — 4 кПа. Значение контурной площади протектора каждого измеренного колеса приведено в табл. 1.

Для производства расчётов требуется масса снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940. Реальная масса измерялась специалистами с помощью электронных весов, как сумма масс передней (двигатель, одна ось и кабина) и задней части (грузовой отсек и 2 оси) (табл. 2).

Таблица 1. Значение контурной площади протектора каждого измеренного колеса
Table 1. Values of contour contact area of each measured wheel

Модель	Расположение шины в модели	Давление, на котором получено пятно контакта, кПа	Ширина пятна, см	Длина пятна, см	Площадь пятна контакта, м ²
ХИЩНИК-3930		50	62	52	0,27
ХИЩНИК-3930		4	66	114	0,69
ХИЩНИК-3930		50	62	52	0,27
ХИЩНИК-3930		4	67	100	0,69
ХИЩНИК-3930		50	68	58	0,21
ХИЩНИК-3930		4	76	91	0,68
ХИЩНИК-3930		50	62	53	0,25
ХИЩНИК-3930		4	68	87	0,64
ХИЩНИК-3930		50	54	52	0,23

Модель	Расположение шины в модели	Давление, на котором получено пятно контакта, кПа	Ширина пятна, см	Длина пятна, см	Площадь пятна контакта, м²
ХИЩНИК-3930		4	69	80	0,56
ХИЩНИК-3930		50	58	52	0,23
ХИЩНИК-3930		4	70	76	0,56
ХИЩНИК-3940		50	45	31	0,18
ХИЩНИК-3940		4	65	106	0,73
ХИЩНИК-3940		50	45	58	0,2
ХИЩНИК-3940		4	66	113	0,68
ХИЩНИК-3940		50	43	46	0,15
ХИЩНИК-3940		4	65	106	0,65
ХИЩНИК-3940		50	40	47	0,14
ХИЩНИК-3940		4	62	104	0,59

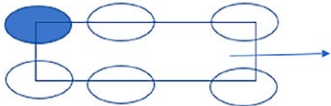
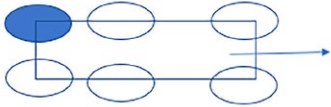
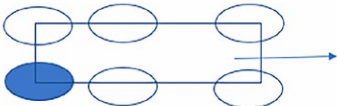
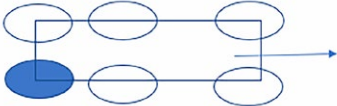
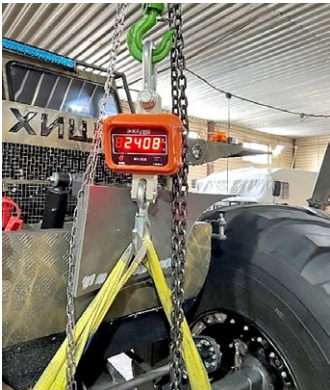
Модель	Расположение шины в модели	Давление, на котором получено пятно контакта, кПа	Ширина пятна, см	Длина пятна, см	Площадь пятна контакта, м²
ХИЩНИК-3940		50	43	46	0,17
ХИЩНИК-3940		4	62	104	0,64
ХИЩНИК-3940		50	39	53	0,14
ХИЩНИК-3940		4	62	103	0,64

Таблица 2. Реальная измеренная масса снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940
Table 2. Real measured mass of the Khishchnik-3930 and the Khishchnik-3940 snow-and-swamp vehicles

Снегоболотоход	Масса по паспорту, кг	Масса передней части, кг	Масса задней части, кг	Масса фактическая, кг
ХИЩНИК-3930	4000			$2408 + 1866 = 4\,274$
ХИЩНИК-3940	4200			$2372 + 1924 = 4296$

РЕЗУЛЬТАТЫ. ПОРЯДОК РАСЧЁТОВ

На основании полученных в ходе натурного осмотра данных, а также характеристик, указанных в техпаспортах, специалистами произведён расчёт воздействия движителей на почву по ГОСТ Р 58656-2019.

Результаты расчетов максимального нормального давления на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 50 кПа, сведены в табл. 3.

Однако, в ГОСТе Р 58656-2019 есть указание для индивидуального расчёта K (коэффициент продольной неравномерности распределения давления по площади контакта шины) — для новых высокоэластичных шин может быть уточнён при определении по методике, согласованной с представителями потребителя, заказчика и разработчика шин.

Как говорилось выше, для снегоболотоходов ХИЩНИК-3930 и ХИЩНИК-3940 рекомендуемое давление при эксплуатации техники на болотистых, лесных участках, на полях и с/х угодьях — 4 кПа что является сверхнизким значением и, соответственно, требует применения шин большей эластичности.

Авторам не удалось обнаружить аттестованную методику, согласованную с представителями потребителя, заказчика и разработчика шин.

Поскольку авторами во время выезда были измерены все параметры размера шин в соответствии с требованиями данного ГОСТа, а также измерено пятно контакта. А также с учетом того, что приведённый в ГОСТе и рассчитанный выше пример и расчёт проводится без измерения реального пятна контакта каждой шины, было принято решение о вычислении площади пятна и соответствующего ему реального давления колеса на почву расчётным методом по фактическим собранным данным без учета коэффициентов.

Площадь пятна контакта, измеренная опытным путём снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 50 кПа, представлено в табл. 4.

Аналогичным образом далее даны расчёты максимального нормального давления на почву с завышенным коэффициентом K_2 , а также расчётным методом по фактическим собранным данным без учета коэффициентов:

Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 4 кПа представлено в табл. 5.

Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 4 кПа, представлена в табл. 6.

Таблица 3. Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 50 кПа

Table 3. Maximal vertical soil pressure of the Khishchnik-3930 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low-pressure tyres Belshina Arctic trans 28.1R26 Bel -44, tyre pressure is 50 kPa

Наименование	Значение показателя
Масса автомобиля, M , кг	$M = 4\,274$
Размер колеса	28.1R26 Бел-44
Вертикальная нагрузка на заднюю шину, G_k , кН	$G_k = 6,986$
Внутреннее давление воздуха на шине, P_w , кПа	$P_w = 50$
Посадочный диаметр обода, d , м	$d = 0,66$
Наружный диаметр, D , м	$D = 1,7$
Ширина профиля, B , м	$B = 0,75$
Высота профиля, H , м	$H = 0,5$
Норма слойности, n	$n = 3$
Статический радиус, r_o , м	$r_o = 0,85$
Допустимый статический прогиб, f , м	$f = 0,04$
Коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины колеса, K_1	$K_1 = 1,1$
Коэффициент продольной неравномерности распределения давления, K_2	$K_2 = 1,5$
Постоянный коэффициент, P_o	$P_o = -22,712$ (т. к. $P_o < 0$, $P_o = 0$)
Площадь контакта, F_{k1} , м ²	$F_{k1} = 0,115$
Максимальное нормальное давление на почву, q_{max1} , кг/см ²	$q_{max1} = 0,846$

Таблица 4. Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 50 кПа

Table 4. The experimentally measured contact area of tyres of the Khishchnik-3930 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low-pressure tyres Belshina Arctic trans 28.1R26 Bel-44, tyre pressure is 50 kPa

Наименование	Значение показателя
Площадь пятна контакта, переднее левое колесо, $S_{пл1}$, м ²	$S_{пл1} = 0,27$
Площадь пятна контакта, переднее правое колесо, $S_{пр1}$, м ²	$S_{пр1} = 0,27$
Площадь пятна контакта, среднее левое колесо, $S_{срл1}$, м ²	$S_{срл1} = 0,21$
Площадь пятна контакта, среднее правое колесо, $S_{срп1}$, м ²	$S_{срп1} = 0,25$
Площадь пятна контакта, заднее левое колесо, $S_{зл1}$, м ²	$S_{зл1} = 0,23$
Площадь пятна контакта, заднее правое колесо, $S_{зп1}$, м ²	$S_{зп1} = 0,23$
Площадь средняя, $S_{ср1}$, м ²	$S_{ср1} = 0,243$
Опытное суммарное среднее давление колёс на поверхность, q_{max1} , кг/см ²	$q_{max1} = 0,293$

Таблица 5. Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 4 кПа

Table 5. Maximal vertical soil pressure of the Khishchnik-3930 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low pressure tyres Belshina Arctic trans 28.1R26 Bel-44, tyre pressure is 4 kPa

Наименование	Значение показателя
Масса автомобиля, M , кг	$M = 4\ 274$
Размер колеса	28.1R26 Бел-44
Вертикальная нагрузка на заднюю шину, G_k , кН	$G_k = 6,986$
Внутреннее давление воздуха на шине, P_w , кПа	$P_w = 4$
Посадочный диаметр обода, d , м	$d = 0,66$
Наружный диаметр, D , м	$D = 1,7$
Ширина профиля, B , м	$B = 0,75$
Высота профиля, H , м	$H = 0,5$
Норма слойности, n	$n = 3$
Статический радиус, r_o , м	$r_o = 0,57$
Допустимый статический прогиб, f , м	$f = 0,28$
Коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины колеса, K_1	$K_1 = 1,1$
Коэффициент продольной неравномерности распределения давления, K_2	$K_2 = 1,5$
Постоянный коэффициент, P_o	$P_o = -22,712$ (т. к. $P_o < 0$, $P_o = 0$)
Площадь контакта, F_{k2} , м ²	$F_{k2} = 0,644$
Максимальное нормальное давление на почву, q_{max2} , кг/см ²	$q_{max2} = 0,151$

Аналогичные параметры были рассчитаны для снегоболотоход на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940 колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, далее ХИЩНИК-3940.

Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 50 кПа, приведено в табл. 7.

Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным

оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 50 кПа, приведена в табл. 8.

Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 4 кПа, приведено в табл. 9.

Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 4 кПа, приведена в табл. 10.

Таблица 6. Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3930, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Белшина Арктик транс 28.1R26 Бел-44, давление в шинах 4 кПа

Table 6. The experimentally measured contact area of tyres of the Khishchnik-3930 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low-pressure tyres Belshina Arctic trans 28.1R26 Bel-44, tyre pressure is 4 kPa

Наименование	Значение показателя
Площадь пятна контакта, переднее левое колесо, $S_{пл2}$, м ²	$S_{пл2} = 0,67$
Площадь пятна контакта, переднее правое колесо, $S_{пр2}$, м ²	$S_{пр2} = 0,69$
Площадь пятна контакта, среднее левое колесо, $S_{срл2}$, м ²	$S_{срл2} = 0,68$
Площадь пятна контакта, среднее правое колесо, $S_{срп2}$, м ²	$S_{срп2} = 0,64$
Площадь пятна контакта, заднее левое колесо, $S_{зл2}$, м ²	$S_{зл2} = 0,56$
Площадь пятна контакта, заднее правое колесо, $S_{зп2}$, м ²	$S_{зп2} = 0,56$
Площадь средняя, $S_{ср2}$, м ²	$S_{ср2} = 0,633$
Опытное суммарное среднее давление колёс на поверхность, q_{max2} , кг/см ²	$q_{max2} = 0,112$

Таблица 7. Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 50 кПа

Table 7. Maximal vertical soil pressure of the Khishchnik-3940 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low pressure tyres Mammoth 1780×710-32, tyre pressure is 50 kPa

Наименование	Значение показателя
Масса автомобиля, M , кг	$M = 4296$
Размер колеса	Мамонт 1780×710-32
Вертикальная нагрузка на заднюю шину, G_k , кН	$G_k = 7,021$
Внутреннее давление воздуха на шине, P_w , кПа	$P_w = 50$
Посадочный диаметр обода, d , м	$d = 0,81$
Наружный диаметр, D , м	$D = 1,78$
Ширина профиля, B , м	$B = 0,69$
Высота профиля, H , м	$H = 0,45$
Норма слойности, n	$n = 4$
Статический радиус, r_o , м	$r_o = 0,82$
Допустимый статический прогиб, f , м	$f = 0,08$
Коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины колеса, K_1	$K_1 = 1,1$
Коэффициент продольной неравномерности распределения давления, K_2	$K_2 = 1,5$
Постоянный коэффициент, P_o	$P_o = -14,229$ (т. к. $P_o < 0$, $P_o = 0$)
Площадь контакта, F_k , м ²	$F_{k3} = 0,205$
Максимальное нормальное давление на почву, q_{max} , кг/см ²	$q_{max3} = 0,477$

ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ

- По результатам исследований и вычислений измеренное реальное фактическое удельное давление шин транспортных средств на грунт принимает следующие значения:
 - ХИЩНИК-3930 — 0,112 кг/см²
 - ХИЩНИК-3940 — 0,109 кг/см²
- Транспортные средства ХИЩНИК-3930, ХИЩНИК-3940 соответствуют требованиям Постановления администрации Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного

округа от 01.12.2003 № 450 с изменениями, внесёнными Постановлением Правительства Красноярского края от 31.05.2022 № 475–п в части разрешения передвижения вне границ населённых пунктов на территории Таймырского (Долгано-Ненецкого) автономного округа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные представляют интерес для апробации в РФ, поскольку на данный момент к районам Крайнего Севера и приравненным к ним местностям отнесены

Таблица 8. Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 50 кПа

Table 8. The experimentally measured contact area of tyres of the Khishchnik-3940 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low-pressure tyres Mammoth 1780×710-32, tyre pressure is 50 kPa

Наименование	Значение показателя
Площадь пятна контакта, переднее левое колесо, $S_{плз}$, м ²	$S_{плз} = 0,18$
Площадь пятна контакта, переднее правое колесо, $S_{ппз}$, м ²	$S_{ппз} = 0,2$
Площадь пятна контакта, среднее левое колесо, $S_{срлз}$, м ²	$S_{срлз} = 0,15$
Площадь пятна контакта, среднее правое колесо, $S_{српз}$, м ²	$S_{српз} = 0,14$
Площадь пятна контакта, заднее левое колесо, $S_{злз}$, м ²	$S_{злз} = 0,17$
Площадь пятна контакта, заднее правое колесо, $S_{зпз}$, м ²	$S_{зпз} = 0,14$
Площадь средняя, $S_{срз}$, м ²	$S_{срз} = 0,163$
Опытное суммарное среднее давление колёс на поверхность, q_{max3} , кг/см ²	$q_{max3} = 0,438$

Таблица 9. Максимальное нормальное давление на почву снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 4 кПа

Table 9. Maximal vertical soil pressure of the Khishchnik-3940 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low pressure tyres 1780×710-32, tyre pressure is 4 kPa

Наименование	Значение показателя
Масса автомобиля, M , кг	$M = 4\,296$ кг
Размер колеса	Мамонт 1780×710-32
Вертикальная нагрузка на заднюю шину, G_k , кН	$G_k = 7,021$ кН
Внутреннее давление воздуха на шине, P_w , кПа	$P_w = 4$ кПа
Посадочный диаметр обода, d , м	$d = 0,81$ м
Наружный диаметр, D , м	$D = 1,78$ м
Ширина профиля, B , м	$B = 0,69$ м
Высота профиля, H , м	$H = 0,45$ м
Норма слойности, n	$n = 4$
Статический радиус, r_o , м	$r_o = 0,57$ м
Допустимый статический прогиб, f , м	$f = 0,32$ м
Коэффициент, зависящий от наружного диаметра шины колеса, K_1	$K_1 = 1,1$
Коэффициент продольной неравномерности распределения давления, K_2	$K_2 = 1,5$
Постоянный коэффициент, P_o	$P_o = -14,229$ (т. к. $P_o < 0$, $P_o = 0$)
Площадь контакта, $F_{к4}$, м ²	$F_{к4} = 0,64$
Максимальное нормальное давление на почву, q_{max4} , кг/см ²	$q_{max4} = 0,153$

отдельные города, городские округа, муниципальные округа и районы 17 регионов России, а также вся территория Якутии, Магаданской, Мурманской областей, Ненецкого, Чукотского, Ямало-Ненецкого автономных округов, которые обладают во многом схожими природно-производственными условиями. Учитывая схожие транспортно-технологические машины, используемые при логистике грузов и населения (персонала) в данных природно-климатических условиях РФ, сравнение давления на грунт разными типами и конфигурациями техники с несущей способностью самого грунта позволит существенно улучшить технологический

процесс логистики в таких районах в части оптимального подбора логистического оборудования и транспорта, его конфигурации и комплектации, сезона осуществления логистических работ, трассировки маршрутов, возможности захода и начала работы на тех или иных участках в зависимости от сезонов года.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Ф.В. Свойкин — обзор литературы, сбор и анализ литературных источников, обработка результатов

Таблица 10. Измеренная опытным путём площадь пятна контакта снегоболотохода на шинах сверхнизкого давления ХИЩНИК-3940, колёсная формула 6×6 с колёсным оборудованием Мамонт 1780×710-32, давление в шинах 4 кПа

Table 10. The experimentally measured contact area of tyres of the Khishchnik-3940 snow-and swamp 6x6 vehicle with the ultra-low-pressure tyres Mammoth 1780×710-32, tyre pressure is 4 kPa

Наименование	Значение показателя
Площадь пятна контакта, переднее левое колесо, $S_{пл4}$, м ²	$S_{пл4} = 0,73$
Площадь пятна контакта, переднее правое колесо, $S_{пп4}$, м ²	$S_{пп4} = 0,68$
Площадь пятна контакта, среднее левое колесо, $S_{срл4}$, м ²	$S_{срл4} = 0,65$
Площадь пятна контакта, среднее правое колесо, $S_{срп4}$, м ²	$S_{срп4} = 0,59$
Площадь пятна контакта, заднее левое колесо, $S_{зл4}$, м ²	$S_{зл4} = 0,64$
Площадь пятна контакта, заднее правое колесо, $S_{зп4}$, м ²	$S_{зп4} = 0,64$
Площадь средняя, $S_{ср4}$, м ²	$S_{ср4} = 0,655$
Опытное суммарное среднее давление колёс на поверхность, q_{max4} , кг/см ²	$q_{max4} = 0,109$

теоретических и экспериментальных данных, написание текста и редактирование статьи; В.Ф. Свойкин — разработка теоретических основ и практических рекомендаций проектируемых решений, обзор литературных источников, обработка теоретических данных, написание текста статьи; А.А. Борозна — подготовка и проведение экспериментальных исследований по определению характеристик шин, обработка экспериментальных данных, написание текста статьи; М.В. Тарабан — разработка теоретической модели проведения исследования пневматиков сверхнизкого давления, обзор литературы и анализ литературных источников, написание текста статьи; В.В. Кабаков — проведение экспериментальных исследований по определению удельного давления почву пневматиков сверхнизкого давления, обработка и анализ экспериментальных данных, написание текста статьи. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. F.V. Svoykin — literature review, collection and analysis of literary sources, processing of the theoretical and experimental data, writing the text and editing the manuscript; V.F. Svoykin — development of theoretical fundamentals s and practical recommendations for the designed solutions, literature review, processing of the theoretical data, writing the text of the manuscript; A.A. Borozna — preparation and conducting the experimental studies to determine the characteristics of tyres, processing of the experimental data, writing the text of the manuscript; M.V. Taraban — development of a theoretical model for conducting a study of ultra-low pressure tyres, literature review and analysis of literary sources, writing the text of the manuscript; V.V. Kabakov — conducting experimental studies to determine the specific soil pressure of ultra-low pressure tires, processing and analysis of the experimental data, writing the text of the manuscript. All authors confirm that their authorship complies with the international ICMJE criteria (all authors made a significant contribution to the development of the concept, the conduct of the study and the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. The authors declare that they received no external funding for this study.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Svoykin FV, Zhukova AI, Tsygarova MV, Lepilin DV. Mathematical model of soil deformation during tractor turning. *Izvestiya SPbGLTA*. 2011;195:120–128. (In Russ.) EDN: PJQGZX

2. Dymov AA. The impact of clear-cutting in boreal forests of Russia on soils (review). *Soil Science*. 2017;3:787–798. (In Russ.) doi: 10.7868/S0032180X17070024 EDN: YTMAZJ

3. Gainullin IA, Zainullin AR. The impact of design parameters of propellers and load modes of tractors on the soil. *Fundamental Research*. 2017;2:31–36. (In Russ.) EDN: YGGCIX

4. Ilyintsev AS, Bykov YuS, Soldatova DN, et al. Impact of Modern Logging Equipment on the Physical Properties of Soils in the Northern Taiga of the Arkhangelsk Region. *Anthropogenic Transformation of the Natural Environment*. 2018;4:153–155. (In Russ.) EDN: YPWALZ

5. Marchi E, Chung W, Visser R, et al. Sustainable Forest Operations (SFO): A new paradigm in a changing world and climate. *Science of the Total Environment*. 2018;634:1385–1397. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.084
6. Cambi M, Certini G, Neri F, Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils: A review. *Forest Ecology and Management*. 2015;338:124–138. doi: 10.1016/j.foreco.2014.11.022
7. Resolution of the Administration of the Taimyr (Dolgano-Nenets) Autonomous Okrug dated 01.12.2003 No. 450 “On the procedure for the movement of vehicles through the inter-settlement territories of the Taimyr (Dolgano-Nenets) Autonomous Okrug”. <https://docs.cntd.ru/document/432848300?ysclid=m651yrqce1469123748>
8. Resolution of the Government of Krasnoyarsk Krai No. 475-p dated 31.05.2022 “On Amendments to the Resolution of the Administration of the Taimyr (Dolgano-Nenets) Autonomous Okrug dated 01.12.2003 No. 450 “On the procedure for the movement of vehicles through the inter-settlement territories of the Taimyr (Dolgano-Nenets) Autonomous Okrug”. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2400202206060003?ysclid=m65252tr ue419854415>
9. Federal Constitutional Law dated 14.10.2005 No. 6-FKZ “On Education as part of the Russian Federation of a new subject of the Russian Federation as a result of the unification of Krasnoyarsk Krai, Taimyr (Dolgano-Nenets) Autonomous Okrug and Evenki Autonomous Okrug”. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/22941>
10. Law of Krasnoyarsk Krai dated November 25, 2010 No. 11-5343 “On the protection of the original habitat and traditional way of life of indigenous peoples of Krasnoyarsk Krai”. <http://www.krskstate.ru/docs/0/doc/4556?ysclid=m652dtbyc5971119070>
11. GOST R 58656 - 2019 Mobile agricultural machinery. Methods for determining the impact of propellers on the soil. Moscow: Standartinform; 2019. (In Russ.)
12. GOST 17697 - 72 Cars. Wheel rolling. Terms and definitions. Moscow: SovMin SSSR; 1972. (In Russ.)
13. User manual. Camera Ruler™ IBN Software; 2023.
14. Vadyunina AF, Korchagina ZA. *Methods for studying the physical properties of soils*. Moscow: Agropromizdat; 1986. (In Russ.)
15. Shein EV. *Course in Soil Physics*. Moscow: MGU; 2005. (In Russ.)
16. Revut I.B. *Soil Physics*. Moscow: Kolos, 1972. (In Russ.)
17. Operating instructions for the “PREDATOR 29014:3910,3920,3930,3940 snow and swamp-going vehicle”. RE 2900-0020. Tobolsk, 2023. (In Russ.)
18. Svoykin FV, Svoykin VF, Ugryumov SA. Results of experimental studies of the use of the twelve-wheel hydromechanical all-terrain vehicle TROM20 in the natural and industrial conditions of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug — Yugra, Tyumen Region, PJSC SURGUTNEFTEGAZ field. *Repair. Restoration. Modernization*. 2022. No. 1. P. 33–40. (In Russ.) doi: 10.31044/1684-2561-2022-0-1-33-40 EDN: RVZMFW
19. Katsadze VA, Svoykin FV, Svoykin VF, Ugryumov SA. Review of modern domestic solutions for transport development of hard-to-reach logging sites. *Repair. Restoration. Modernization*. 2022;3:3–12. (In Russ.) doi: 10.31044/1684-2561-2022-0-3-3-12 EDN: JYRDAY
20. Svoykin FV, Svoykin VF, Ugryumov SA. Results of experimental studies of the use of the eight-wheel hydromechanical all-terrain vehicle TROM8 UES with mulching attachments in the natural and industrial conditions of Western Siberia. *Repair. Restoration. Modernization*. 2022;9:3–11. (In Russ.) doi: 10.31044/1684-2561-2022-0-9-3-11 EDN: TTWKMK
21. Svoykin FV, Rossikhin KV. Economic justification for using the TROM wheeled timber picker based on an all-terrain vehicle at the stage of primary timber removal. In: *State and prospects for the development of the forestry complex in the CIS countries. collection of articles of the II International Scientific and Technical Conference within the framework of the International Youth Forum on Forestry Education (Forest-Science-Innovation-2022)*. Minsk: Belarusian State Technological University; 2022:127–130. (In Russ.) EDN: PYYCNT
22. Rossikhin KV, Svoykin FV, Katsadze VA. Improving the technological process of primary timber removal by using domestic solutions based on TROM all-terrain vehicles. In: *Actual problems of forestry complex development. Proceedings of the XX International Scientific and Technical Conference. Editor-in-chief E.A. Ivanishcheva*. Vologda; 2022:328–332. (In Russ.) EDN: PYYCNT
23. Rossikhin KV, Svoykin FV, Ugryumov SA. Improving the primary timber removal method by replacing equipment with foreign components with domestic ones. In: *Collection of articles based on the materials of the scientific and technical conference of the Institute of Technological Machinery and Forest Transport based on the results of scientific research work 2021. Proceedings of the conference reports. Editor-in-chief E.G. Khitrov*. Saint Petersburg; 2022:80–85. (In Russ.) EDN: IEVKLR
24. Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 1451 dated 21.06.2019. Certificate of approval of the measuring instrument pattern. OS.S.27.070.A No. 74166 until 21.06.2024. Name of the measuring instrument pattern: RGK R-20 S20M0034 series metal measuring tapes, length 20 m, thickness 13 mm. Verification document MP APM 118-18. SI series No. 036532. (In Russ.) https://oei-analitika.ru/kurilka/order_info.php?order_id=96676&ysclid=m652n6b74c413162179
25. Order of Rosstandart No. 1735 dated 25.07.2019. Description of the measuring instrument pattern. Appendix No. 33358/1. Instructions and verification for the tire pressure gauge TM (GRSI 25913-08) 0–1.6 MPa (0–16 kgf/cm²). Verification document MP 406121-2018 dated 12/19/2018. (In Russ.) https://oei-analitika.ru/kurilka/order_info.php?order_id=104080&ysclid=m652pwq3 dp202864005
26. GOST 2405-88 Pressure gauges, vacuum gauges, pressure gauges, draft gauges, and indicating and recording draft and pressure gauges. General specifications. Moscow: SovMin SSSR; 1988. (In Russ.)
27. TU 4212-001-4719015564-2008 Indicating pressure gauges TM, TV, TMV and TMTB. Specifications (with amendments No. 3). Moscow: Standartinform; 2008. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

*** Кабаков Виталий Валериевич,**

старший преподаватель кафедры 104 «Технологическое проектирование и управление качеством»;
адрес: Россия, 125993, Москва, Волоколамское ш., д. 4;
ORCID: 0000-0002-8648-6317;
eLibrary SPIN: 9472-7267;
e-mail: kabakov_mai@mail.ru

Свойкин Федор Владимирович,

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств;
ORCID: 0000-0002-8507-9584;
eLibrary SPIN: 8938-6910;
e-mail: fsvoikin@mail.ru

Свойкин Владимир Федорович,

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры технологии лесозаготовительных производств;
ORCID: 0000-0001-8989-4626;
eLibrary SPIN: 7574-5519;
e-mail: svoikin_vladimir@mail.ru

Борозна Анатолий Алексеевич,

канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедры технологии промышленного транспорта;
ORCID: 0000-0001-7549-9297;
eLibrary SPIN: 3705-7499;
e-mail: borozna.a.a@mail.ru

Тарабан Мария Всеволодовна,

канд. техн. наук,
доцент кафедры математики;
ORCID: 0000-0003-3410-9250;
eLibrary SPIN: 7023-1741;
e-mail: maritaraban@mail.ru

AUTHORS' INFO

*** Vitaly V. Kabakov,**

Senior Lecturer of the Technological Design and Quality Management Department;
address: 4 Volokolamskoe hwy, Moscow, Russia, 125993;
ORCID: 0000-0002-8648-6317;
eLibrary SPIN: 9472-7267;
e-mail: kabakov_mai@mail.ru

Fedor V. Svoikin,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of the Technology of Logging Production Department;
ORCID: 0000-0002-8507-9584;
eLibrary SPIN: 8938-6910;
e-mail: fsvoikin@mail.ru

Vladimir F. Svoikin,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of the Technology of Logging Production Department;
ORCID: 0000-0001-8989-4626;
eLibrary SPIN: 7574-5519;
e-mail: svoikin_vladimir@mail.ru

Anatoly A. Borozna,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Associate Professor of the Industrial Transport Technology Department;
ORCID: 0000-0001-7549-9297;
eLibrary SPIN: 3705-7499;
e-mail: borozna.a.a@mail.ru

Maria V. Taraban,

Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Mathematics Department;
ORCID: 0000-0003-3410-9250;
eLibrary SPIN: 7023-1741;
e-mail: maritaraban@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author