

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СНЕГОБОЛОТОХОДА «БАЙКАЛ» НА ШИНАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 6×6

С.Е. Манянин¹, А.А. Калилец², А.М. Беляев³,
А.А. Ключкин¹, В.В. Беляков¹, В.С. Макаров^{1,3✉}

¹ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), 603155, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Минина, д. 24

²ФКУ «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, НИИ специальной техники, Центр специальных транспортных средств (ФКУ НПО «СТИС» МВД России, НИИСТ, ЦСТС), 111024, Россия, г. Москва ул. Пруд-Ключики, д. 2

³ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ), 109542, Россия, Москва, Рязанский пр-т, д. 99

makvl2010@gmail.com

Рассмотрены вопросы исследования колесных машин на шинах низкого и сверхнизкого давления на примере снегоболотохода «Baikal» ЗТМ 30081-10. Приведен обзор литературных источников по данной теме. Сформулированы цель и задачи испытаний, определены измеряемые параметры, описаны приборы и оборудование для проведения измерений. Проведены исследования по определению максимальных скоростей на различных дорожно-грунтовых поверхностях: асфальтобетонном покрытии, грунтовом поле, снежной целине. Получены значения уровня шума в салоне машины в районе головы водителя и вибраций на месте водителя. Проверен минимальный радиус поворота, реализуемый машиной. Рассчитаны параметры, определяющие проходимость по снегу при разных давлениях в шинах. Дана оценка возможности преодоления водных преград и движению на открытой воде. Даны рекомендации по конструкции машины для производителя данной техники в целях ее совершенствования.
Ключевые слова: подвижность, проходимость, снегоболотоход, снег, скорость, шины низкого давления

Ссылка для цитирования: Манянин С.Е., Калилец А.А., Беляев А.М., Ключкин А.А., Беляков В.В., Макаров В.С. Экспериментальные исследования снегоболотохода «Baikal» на шинах низкого давления с колесной формулой 6×6 // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2026. Т. 30. № 1. С. 122–137.
DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-122-137

Лесные магистрали представляют собой сформированные исключительно естественным грунтовым покрытием дороги без какого-либо искусственного укрепления или специальной подготовки. Их основная особенность заключается в крайне низкой интенсивности транспортного потока. Движение носит нерегулярный эпизодический характер: оно может быть строго сезонным (например, активизироваться лишь в сухое время года или зимой), крайне редким (для служебного доступа), связанным с циклами плановой лесозаготовительной деятельности в конкретном квартале.

Редкая эксплуатация, полное отсутствие содержания таких дорог и подверженность постоянному естественному воздействию формирует их специфические свойства. Со временем на проезжей части неизбежно накапливаются

препятствия в виде упавших веток, сучьев, а иногда и деревьев, поваленных ветром или вследствие естественного отмирания. Кроме того, движитель транспортных средств постепенно разрушает верхний слой грунта, поэтому на поверхности появляются ранее скрытые корневища близрастущих деревьев или кустарников. Эти корневища образуют на дорогах непрерывные продольные гребни либо отдельные жесткие выступы, создают характерные дискретные препятствия, серьезно затрудняют движение. Таким образом, лесная магистраль представляет собой постоянно изменяющийся объект, который находится в непрерывном взаимодействии с окружающей экосистемой.

Помимо таких профильных препятствий, как корневища и поваленные деревья, передвижение по «лесным дорогам» неизбежно предполагает преодоление протяженных заболоченных участков. Это связано с самой природой лесных экосистем, для которых характерно

тесное переплетение и взаимное проникновение различных типов ландшафтов. Особенно острой эта проблема становится в периоды межсезонья, когда уровень грунтовых вод значительно повышается вследствие обильного выпадения осадков и таяния снежного покрова. В это время даже относительно сухие летние тропы могут превращаться в труднопроходимые топкие участки.

В связи с этим при выборе транспортного средства для проведения работ в таких условиях крайне важно руководствоваться его способностью уверенно передвигаться по переувлажненным участкам лесной дороги. Основными характеристиками при этом становятся высокая проходимость, полный привод, система регулирования давления в шинах и, что немаловажно, низкое удельное давление на грунт. Обширные болотистые массивы в таких случаях могут служить единственно возможными маршрутами для передвижения транспортного средства, поскольку в отличие от густых лесных зарослей, на открытых заболоченных пространствах практически отсутствует плотная древесная и кустарниковая растительность, которая препятствует проезду. Таким образом, способность машины эффективно функционировать на заболоченной местности — критически важное требование, выполнение которого необходимо для обеспечения мобильности транспорта в условиях лесной глуши.

Отдельно можно выделить движение по зимним лесам, которое сопряжено с уникальным набором условий. Важно учитывать, что в зависимости от преобладающего типа леса снежный покров будет характеризоваться различными параметрами. Так, в густом, плотном хвойном лесу, где кроны деревьев создают существенное затенение и задерживают солнечное излучение, формируется высокий, но зачастую рыхлый снежный покров с относительно низкой плотностью. Напротив, в лиственном лесу, который зимой пропускает значительно больше солнечной энергии по причине отсутствия листвы, снег подвергается более интенсивному воздействию и солнца, и ветра. Это приводит к активному подтаиванию и последующему уплотнению снежного покрова, в результате чего его высота здесь, как правило, меньше, но плотность заметно выше, а поверхность часто покрыта более жестким настом.

Такие различия физико-механических свойств снежного покрова (высота, плотность, несущая способность и структура) напрямую связаны с микроклиматом под пологом леса, главным фактором которого является солнечная радиация. Данный фактор является важным, и

его необходимо учитывать при выборе транспортного средства. Таким образом, тип леса и прогнозируемое состояние снега становятся ключевыми элементами в планировании маршрута и подборе технологичного транспорта для эксплуатации в зимних условиях.

Именно в таких случаях используются специальные снегоболотоходные колесные машины на шинах низкого давления. Их обширные исследования проведены в Нижегородской научно-практической школе транспортного снеговедения [1–4]. Научные исследования были выполнены учеными и инженерами из Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева (НГТУ) в частности А.А. Аникиным (рассмотрена теория передвижения колесных машин по снегу, в том числе на шинах низкого давления) [5–7], Л.В. Барахановым (рассмотрены характеристики снежного покрова как полотна пути для транспортно-технологических машин) [6, 8], В.В. Беляковым (общая теория подвижности транспортно-технологических машин, в том числе при передвижении по снегу) [7, 9, 10], А.Н. Блохиным (исследованы вопросы связанные распределением давлений в зоне контакта шин низкого давления со снегом) [11, 12], У.Ш. Вахидовым (исследовано влияние движителя при движении сельхозтехники) [9, 13], И.О. Донато (исследованы средства повышения проходимости) [6, 7], Д.В. Зезюлиным (проведены исследования в части эффективности движения по снегу) [9, 11, 12], В.С. Макаровым (исследован статистический подход к оценке проходимости транспортно-технологических машин) [14–16], С.Е. Маняниным (рассмотрены вопросы повышения проходимости колесных и гусеничных машин при движении по снегу) [17], Ю.И. Молевым (специалист в области исследования надежности специально вездеходной техники) [9, 13] и др. Кроме того, исследованиям таких машин посвящено много работ ученых и исследователей МГТУ им. Н.Э. Баумана (рассматриваются экспериментальные, стендовые и теоретические исследования движения колесных вездеходных транспортных средств и снегоходов) [18–22].

Современные снегоболотоходы на шинах сверхнизкого давления представляют собой узкоспециализированную транспортную платформу, область применения которой строго определена уникальными характеристиками. Их основное предназначение заключается в эффективном и безопасном передвижении по разным типам слабонесущих грунтов, в частности снежной целине, заболоченным участкам и вязкой почве.

Одним из важных качеств этих машин является их способность передвигаться вплавь за счет большого объема колес и наличия водоизмещающего корпуса, что позволяет им уверенно преодолевать значительные водные преграды вброд или на плаву.

В отличие от многих других вездеходов данные транспортные средства обладают универсальностью, позволяющей им перемещаться по дорогам общего пользования с усовершенствованным твердым покрытием благодаря соответствию их конструкции установленным правилам дорожного движения в части габаритов, массы и оборудования (наличия световых приборов, регистрационных знаков и т. д.). Таким образом, снегоболотоходы устраняют ключевую логистическую проблему, поскольку не требуют для переброски к месту работы использования спецтранспорта типа трейлеров или тягачей, что существенно повышает их мобильность и автономность.

Хорошая проходимость за счет шин сверхнизкого давления обеспечивает малое удельное давление на грунт, что позволяет передвигаться в сложных дорожно-грунтовых условиях и делает их незаменимыми для геологов, нефтяников, спасателей, охотников и путешественников, работающих в отдаленных и труднодоступных местах.

В НГТУ в разное время были проведены обширные исследования транспортных средств, работающих на шинах низкого давления, при движении по снегу [5, 11, 12, 23–27]. Отдельно можно выделить изучение функционирования шин низкого и сверхнизкого давления на разных грунтах и снеге, определение сопротивления качения и сцепления в зависимости от внутреннего давления воздуха [5, 11, 17]. Исследованы также управляемость и устойчивость [13] движения, общая эффективность движения в разных условиях эксплуатации [28–30]. Результаты экспериментально-теоретических исследований были апробированы на машинах, разработанных в Научно-исследовательской лаборатории «Транспортных машин и транспортно-технологических комплексов» (НИЛ ТМ и ТТК) при НГТУ, опытных и серийных образцов производства ООО «Завод Вездеходных Машин» [31] и ООО «Завод транспортных машин» (ООО «ТрансМаш») [32].

Необходимость применения снегоболотохода «Baikal» (ЗТМ-30081-10) на шинах низкого давления с колесной формулой 6×6 производства ООО «ТрансМаш» обусловлена недостаточной развитостью дорожной сети в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, вызывающей большие затруднения в осуществлении транс-

портно-технологических операций. Основной задачей машины «Baikal» (ЗТМ 30081-10) является транспортировка грузов и людей по бездорожью, снежной целине и болотам с преодолением водных участков. Колесные вездеходы, аналогичные вездеходу «Baikal» (ЗТМ 30081-10) применяются при геологоразведке, в промышленном и дорожном строительстве, для обслуживания предприятий энергетики и связи, в сельском и лесном хозяйстве, при промышленной рыбной ловле, в охотничьем хозяйстве, нефтегазовых отраслях промышленности, используются поисково-спасательными службами, в том числе при устранении последствий чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий [33, 34], а также в экспедициях и сложных туристических маршрутах.

Имеющийся в НГТУ задел по созданию машин на шинах низкого давления был использован при разработке вездехода «Baikal» (ЗТМ 30081-10). Испытания, проведенные для этого транспортного средства, показали свою практическую ценность и научную значимость.

Описание объекта испытаний. Снегоболотоход «Baikal» (ЗТМ 30081-10) хорошо проявил себя в условиях зимних испытаний (рис. 1).

В табл. 1 приведена техническая характеристика снегоболотохода «Baikal» ЗТМ 30081-10: геометрические размеры, параметры силовой установки, характеристики узлов и агрегатов машины.

Цель работы

Цель работы — подтверждение основных характеристик снегоболотохода «Baikal», заложенных в техническом задании, использование полученных результатов для улучшения конструкции, характеристик и создание новой более совершенной машины.

Материалы и методы

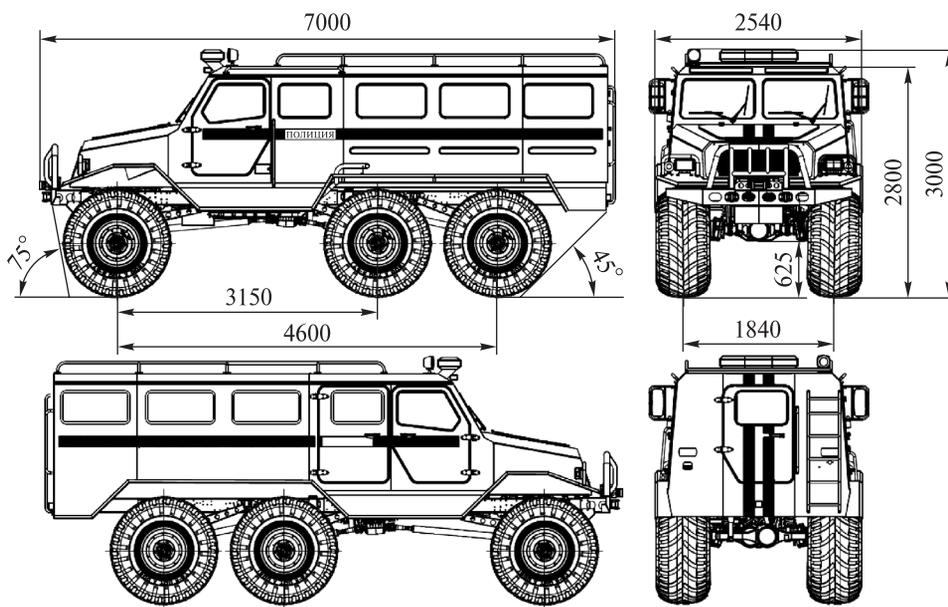
Измеряемые параметры. Все испытания проводились в соответствии с разработанными методиками. Определены следующие величины:

- скорость движения;
- траектория движения;
- шум в салоне машины;
- вибрации на месте водителя;
- силы тяги и сопротивления.

Высота и плотность снега определялись с помощью весового снегомера ВС-43 в соответствии с инструкцией по эксплуатации [35] и по методике, принятой в Нижегородской научно-практической школе транспортного снеговедения.



a



б

Рис. 1. Снегоболотоход «Байкал» (ЗТМ 30081-10): а — внешний вид, б — проекционные виды
Fig. 1. Baikal snow and swamp-going vehicle (ZTM 30081-10): а — exterior view, б — projection views

Оценка амфибийных свойств проходила путем визуального наблюдения, комплексной проверки его способности уверенно передвигаться по воде и выходить из нее.

Оценка работоспособности машины при прохождении 1000 км проводилась путем визуального и инструментального контроля.

Приборы и оборудование. Испытания снегоболотохода «Байкал» выполнены на предва-

рительно поверенных оборудовании и средствах измерения (табл. 2).

Выбор средств измерений обусловлен опытом применения в НГТУ. Для определения координат машины и скоростей движения применялся измерительный комплекс Raselogic (рис. 2), который с помощью навигационного модуля GPS позволяет записывать и обрабатывать данные о местоположении и скорости.

Т а б л и ц а 1

Техническая характеристика снегоболотохода «Байкал» (ЗТМ 30081-10)
Technical specifications of the Baikal snow and swamp-going vehicle (ZTM 30081-10)

Параметр	Характеристика
Тип машины	Колесная на шинах сверхнизкого давления снегоболотоходная
Колесная формула	6×6
Число посадочных мест (включая водителя), чел.	12
Снаряженная масса, кг	3800
Полная масса, кг	5650
Грузоподъемность, кг	2000
Длина, ширина, высота, мм	7000×2540×3000
База, мм	4600
Колея, мм	1840
Дорожный просвет, мм	625
Минимальное давление шины на грунт, кПа	12...20
Максимальная скорость движения, км/ч	70
Угол преодолеваемого машиной подъема / боковой крен, град.	30°/25°
Двигатель	ЗМЗ-409 бензиновый, 4-цилиндровый
Мощность номинальная, кВт (л.с)	110 (149,6)
Трансмиссия	Механическая
Сцепление	Фрикционное сухое однодисковое с гидравлическим приводом
Коробка передач	Механическая 5-ступенчатая с синхронизаторами на всех передачах
Коробка раздаточная	Механическая трехвальная с тремя выходами на карданные валы (один — на передний мост, два — на средний и задний мосты) двухступенчатая с жестко подключаемым передним ведущим мостом
Карданные передачи	Открытого типа с герметичными шарнирами на игольчатых подшипниках и скользящими шлицевыми соединениями
Ведущие мосты	Главная передача коническая гипоидного типа. Дифференциал самоблокирующийся. Поворотные кулаки переднего моста снабжены шарнирами равных угловых скоростей
Колесные редукторы	Двухступенчатые с двумя паразитными шестернями и цилиндрическими косозубыми шестернями внешнего зацепления
Рабочая тормозная система	Двухконтурная с гидроприводом гидровакуумным усилителем. Тормозные механизмы дисковые с суппортами на каждом колесе
Стояночная тормозная система	Трансмиссионная (на раздаточной коробке) с механическим тросовым приводом, тормозной механизм барабанный колодочного типа
Подвеска	Зависимая пружинная на продольных рычагах с поперечными тягами
Рама	Несущие параллельно расположенные лонжероны
Движитель	Колесный с шинами сверхнизкого давления. Норма слойности 2. Размерность шин 1300×700×21»

Т а б л и ц а 2

**Измеряемые величины
и средства измерений**

Measured values and measuring instruments

Параметр	Средство измерения
Скорость движения, км/ч	Racelogic VBox
Траектория движения	Racelogic VBox
Шум в салоне машины, дБ	Шумомер ADA ZSM 130
Вибрации на месте водителя, м/с ²	Виброметр ВК-5М
Тяговые усилия, сопротивления, Н	Динамометр ДОУ-3-100И
Давление воздуха в шинах, Па	Манометр стрелочный GL-820
Высота снега, см	Весовой снегомер ВС-43
Плотность снега, г/см ³	Весовой снегомер ВС-43
Угол уклона, град.	Угломер электронный

Для измерения шума в салоне машины и определения вибраций на месте водителя применялись шумомер ADA ZSM 130 (рис. 3) и виброметр ВК-5М (рис. 4).

Тяговые усилия и сопротивления качения были определены при помощи электронного динамометра ДОУ-3-20И по методике, изложенной в работе [5]. В рамках данной методики в зависимости от определяемого параметра вспомогательная машина соединяется тросом с датчиком силы с испытуемой. В случае определения силы сопротивления вспомогательная машина тянет испытуемую, а при определении силы тяги, наоборот, испытуемая — вспомогательную (рис. 5).

Высота и плотность снега определялись с помощью весового снегомера ВС-43 путем измерения высоты и массы вырезаемой пробы снега. Измерения проводились на мерном участке без заметных сугробов и выдуваний. При наличии отличных от требуемых на мерном участке частей они исключались из расчетов. Средние значения в одной точке определялись по результатам трех-четырех измерений, процедура замеров повторялась по длине мерного участка 5 раз.

Место проведения испытаний. Испытания снегоболотохода «Байкал» в целях определения основных характеристик проводились в разное время года недалеко от г. Семенова (д. Мериново) Нижегородской области. В качестве характерных участков выбрали участки дороги с усовершенствованным покрытием, грунтовую дорогу через поле, поле с высотой



Рис. 2. Измерительный комплекс Racelogic VBox, установленный на панели приборов испытуемой машины

Fig. 2. Racelogic VBox measuring system mounted on the test vehicle's dashboard



Рис. 3. Шумомер ADA ZSM 130
Fig. 3. ADA ZSM 130 sound intensity meter



Рис. 4. Виброметр ВК-5М
Fig. 4. VK-5M vibration sensor

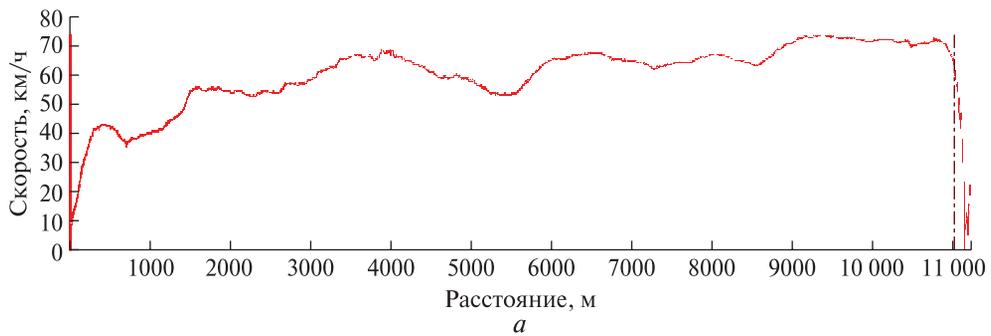


a

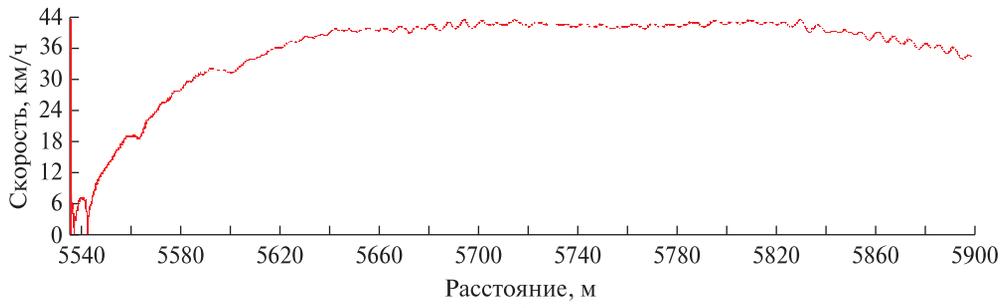


б

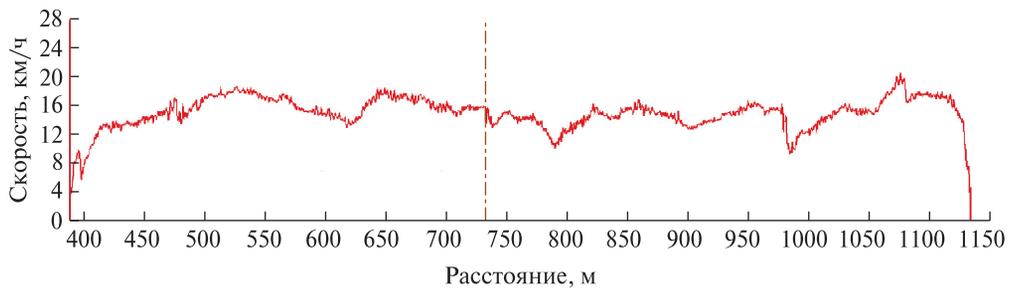
Рис. 5. Электронный динамометр ДОУ-3-20И: *a* — зимой; *б* — летом
Fig. 5. DOU-3-20I electronic dynamometer: *a* — winter; *б* — summer



a



б



в

Рис. 6. Разгон снегоболотохода «Байкал» до максимальной скорости: *a* — на асфальте; *б* — по полю; *в* — на снегу

Fig. 6. Acceleration of the Baikals snow and swamp-going vehicle to maximum speed: *a* — on asphalt; *б* — on a field; *в* — on snow

снега 40...60 см и средней плотностью 0,3 г/см³, ручей близ р. Керженец, р. Керженец на участке с пологим берегом.

Длина мерных участков была достаточной для разгона машины до предельной скорости. Максимальная скорость при движении по полю могла быть ограничена внутренними ощущениями безопасности водителя.

Результаты испытаний снегоболотохода на шинах низкого давления. При измерении скорости машина двигалась по прямолинейному участку местности с большими радиусами поворота. Зафиксированы изменения скорости в течение разгона для трех случаев движения (рис. 6): по дороге с усовершенствованным дорожным покрытием (по асфальту), по грунтовой дороге и по снегу высотой 40...60 см. Данные получены в программе Racelogic VBox.

Максимальные измеренные скорости показали следующие значения:

- для асфальта — более 70 км/ч;
- для грунтового поля — более 40 км/ч;
- для снежного поля — более 20 км/ч.

При измерении шума и вибраций фиксировались значения на скоростях более 70 км/ч и движении транспортного средства по дороге с усовершенствованным дорожным покрытием.

Измеренный шум в салоне машины в районе головы водителя не превышал допустимых значений и составил не более 85 дБА. Вибрации на месте водителя при движении с максимальной скоростью составили не более 10⁻⁶ м/с².

Оценка маневренности машины проводилась на специально подготовленном участке дороги с твердым и ровным опорным покрытием, обеспечивающим стабильное сцепление колес. Маневры выполнялись последовательно с полностью вывернутым рулевым колесом в крайнее левое и в крайнее правое положение. Средние значения радиуса поворота, рассчитанные по колею наружного (идущего по большому радиусу) колеса, составили 12,5 м.

Сопротивление качения движителя машины проводилось путем буксировки испытуемой машины при включенной нейтральной передаче в коробке переключения передач (КПП). При этом полученные значения включают не только сопротивление от движителя, а также влияние КПД трансмиссии вплоть до КПП. Перед испытаниями машина подготавливалась, был сделан пробный заезд, для того чтобы узлы и агрегаты транспортного средства прогрелись и чтобы исключить влияние дополнительного сопротивления от вязкости смазки в КПП, колесных редукторах, карданных передачах. Испытания проводились при следующих значениях давления в шинах: 15 кПа, 50 кПа, 80 кПа.

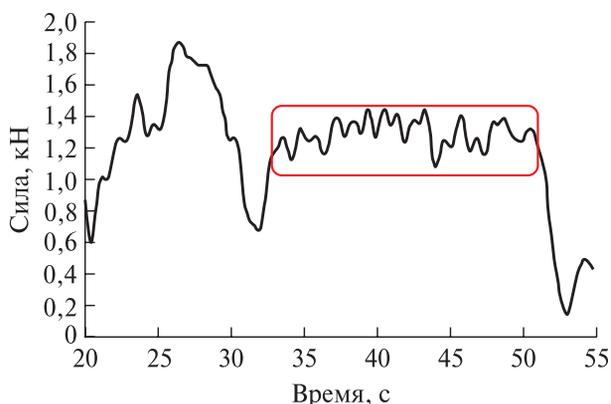


Рис. 7. Замер сопротивления движению
Fig. 7. Measuring driving resistance

Замеры проводились следующим образом. Испытуемую машину прицепляли сзади к вспомогательной машине через датчик замера силы (электронный динамометр ДОУ-3-20И). Вспомогательная машина начинала движение до установления постоянной скорости. Сопротивление движению определялось как среднее на участке протягивания машины с постоянной минимальной скоростью (рис. 7).

В результате были получены следующие средние значения сил сопротивления движению от движителя транспортного средства:

- при 80 кПа — 1,28 кН;
- при 50 кПа — 1,30 кН;
- при 15 кПа — 1,35 кН.

Коэффициент сопротивления качению рассчитывается по зависимости из теории автомобиля [36]

$$f = \frac{G_a}{F_f},$$

где G_a — полный вес снегоболотохода;

F_f — сила сопротивления движению.

В среднем полученные значения соответствуют коэффициенту сопротивления качению порядка 0,03.

В зависимости от давления в шинах установлены следующие средние значения сил сопротивления при движении по снегу:

- при 80 кПа — 8,6 кН;
- при 50 кПа — 7,8 кН;
- при 15 кПа — 7,0 кН.

Полученные значения соответствуют коэффициенту сопротивления качению порядка 0,18...0,23.

Сила тяги определена по максимально реализуемой машиной силе до момента начала интенсивного буксования. При этом машина практически останавливается и смятие снега под движителем происходит значительно

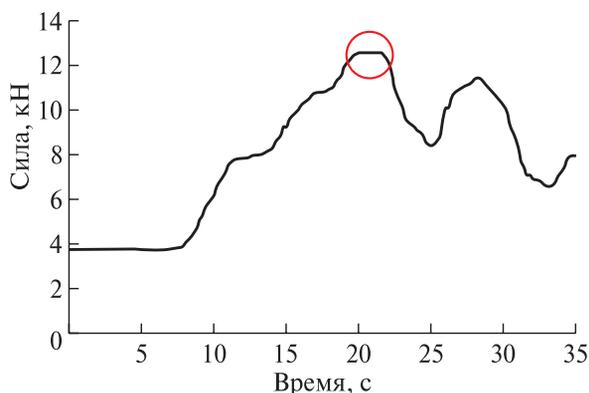


Рис. 8. Замер силы тяги
Fig. 8. Measuring hauling capability

медленнее. Измерения проводились во время буксирования вспомогательной машины с неизмеримой полной массой. Водитель вспомогательной машины плавно тормозил. Фиксировалось максимальное значение (рис. 8).

Получены следующие средние значения силы тяги на снегу при разном давлении:

- при 80 кПа — 11,8 кН;
- при 50 кПа — 12,9 кН;
- при 15 кПа — 14,3 кН.

Коэффициент сцепления рассчитывается по зависимости из теории автомобиля [36]

$$\varphi = \frac{G_a}{F_\phi},$$

где F_ϕ — сила тяги.

Полученные значения соответствуют коэффициенту сцепления порядка 0,32...0,38.

Таким образом, для снегоболотохода «Байкал» движение по снежной целине с высотой снега 40...60 см и его средней плотностью 0,3 г/см³ является преодолимым для всех возможных значений давления в шинах. Репрезентативная выборка при движении по снегу составила порядка 70 % пути, на котором были проведены замеры. Так, мерный участок составил 400 м. На участке пути (30 %) наблюдалось наличие подлежащего слоя (земли, на которой лежал снег) с дискретными препятствиями (деревья и другие, неопределенные объекты), сугробами, выдуваниями, пересечением с колеями. Не учитывался выезд и выезд с данных участков. Измерения проводились сначала в одну сторону, затем в обратную со смещением колеи на 5 м вбок. Характеристики снега определялись между этими колеями.

Для установления амфибийных свойств определяли плав, бродоходность, возможность входа и выхода из воды, скорость, время нахождения на плаву (рис. 9).

Испытания водоходных качеств показали, что снегоболотоход «Байкал» преодолевает водные преграды вброд. Измеренные углы входа и выхода из воды составляли до 20°. Замер углов осуществлялся путем остановки машины при визуальном максимальном задирании вверх носовой (бампера) части машины. При этом электронным угломером фиксировалось значение.

Вездеход показал, что при нахождении на плаву отсутствует проникание воды в салон машины. За счет колесного движителя с шинами низкого давления, транспортное средство может оставаться на плаву неограниченно долго, в том числе с полной загрузкой.

Скорость движения в стоячей воде в целях исключения влияния ветра определялась как среднее значение при движении в одну сторону и обратно. По результатам трех измерений скорость машины на воде за счет вращения движителя составила в пределах 3...5 км/ч.

В ходе пробеговых испытаний, а также замеров по определению параметров проходимости и подвижности, параметров микроклимата (шума, вибрации) салона снегоболотохода машина прошла более 1000 км, при этом не было выявлено поломок и других отклонений, связанных с конструкцией транспортного средства.

Результаты и обсуждение

В ходе экспериментальных исследований снегоболотоход «Байкал» (ЗТМ 30081-10) преодолел более 1000 км. При этом были экспериментально подтверждены его основные технические характеристики, определены параметры подвижности и проходимости.

Максимальные значения скорости на различных дорожно-грунтовых поверхностях составили: на асфальтобетонном покрытии — более 70 км/ч, на грунтовом поле — более 40 км/ч, по снежной целине с высотой снежного покрова 40...60 см — более 20 км/ч.

Дополнительно при испытаниях на асфальтобетонном покрытии при движении с максимальной скоростью были определены уровень шума в салоне машины в районе головы водителя и вибраций на месте водителя: полученные максимальные значения на превысили 85 дБА и 10⁻⁶ м/с² соответственно.

При оценке маневренности снегоболотохода экспериментально подтвержден радиус поворота по колею наружного колеса 12,5 м, что очень важно для определения минимального радиуса разворота машины, а также имеет значение при движении по узким дорогам, выполнении работ, где необходимо маневрировать в лесных массивах.



a



б

Рис. 9. Примеры испытаний водоходных качеств: *a* — пересечение ручья; *б* — плавание на открытой воде

Fig. 9. Examples of testing water propulsion ability: *a* — crossing a stream; *б* — floating in open water

Параметры проходимости по снегу определялись при давлении в шинах 15...80 кПа. Средние значения сил сопротивления движению от двигателя транспортного средства изменяются в пределах 1,35...1,28 кН (большие значения соответствуют меньшим значениям

давления воздуха в шинах). При этом коэффициент внутреннего сопротивления качению шины составляет порядка 0,03. Средние значения сил сопротивления при движении по снегу изменяются в пределах 7,0...8,6 кН. Коэффициент сопротивления движению за счет смятия

снега составляет 0,18...0,23, при этом большие значения соответствуют большим значениям давления воздуха в шинах. Средние значения силы тяги на снегу изменяются в пределах 14,3...11,8 кН. Значения коэффициента сцепления составили 0,32...0,38, при этом большие значения соответствуют меньшим значениям давления воздуха в шинах. В целом для снегоболотохода «Байкал» с колесной формулой 6×6 при движении по снежной целине высотой 40...60 см со средней плотностью 0,3 г/см³ обладает абсолютной проходимостью. Измерения были проведены на участке местности с указанными характеристиками суммарной протяженностью в одну и другую сторону по 280 м.

Конструкция машины обеспечивает преодоление водных преград и движение на открытой воде со скоростью не менее 3...5 км/ч, при этом углы входа и выхода из воды составляют не менее 20°, а само транспортное средство может оставаться на плаву неограниченно долго, в том числе с полной загрузкой.

Выводы

Предложена методика по проверке требований технического задания на проектирование машин и их характеристик в части определения и подтверждения их заданных параметров, которая представляет собой составную часть общей концепции научных, методологических и практических основ реверсивного инжиниринга для решения комплексных задач импортозамещения в агропромышленном и лесном комплексах Российской Федерации.

Полученные данные позволяют дать рекомендации по конструкции машины для производителя данной техники в целях ее совершенствования. На сегодняшний день реализованы технические решения по снижению снаряженной массы машины, которые позволят либо увеличить характеристики проходимости (удельное давление движителя на грунт (снег)), либо повысить грузоподъемность на 1 т. Помимо этого возможно улучшение характеристик микроклимата в салоне машины (снижение шума, вибрации). Использование в конструкции машины алюминиевого кузова позволяет повысить надежность и долговечность конструкции, применение кузовных панелей, крепящихся на вытяжные заклепки, позволяет повысить технологичность сборки и ремонта. Кроме того, такая конструкция кузова снегоболотохода снижает положение центра тяжести, что в свою очередь поперечную и продольную устойчивость и улучшает характеристики движения по воде.

Статья подготовлена в рамках выполнения научно-исследовательской работы, реализуемой за счет средств федерального бюджета (источник финансирования Минобрнауки России) по теме: «Разработка научных, методологических и практических основ реверсивного инжиниринга для решения комплексных задач импортозамещения в агропромышленном комплексе Российской Федерации» (шифр научной темы FZNW-2024-0026).

Список литературы

- [1] Беляков В.В. Нижегородская научно-практическая школа транспортного снеговедения. Юбилейное издание к 105-летию НГТУ им. Р.Е. Алексеева «Научно-практические школы Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева» / сост. И.Б. Никитина. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2022. Ч. 2. С. 251–305.
- [2] Козин В.М. Избранные задачи ледотехники. Средства и методы решения. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2023. 772 с.
- [3] Нижегородская научная школа вездеходных машин, транспортно-технологических комплексов и специального оборудования/ под общ. ред. В.В. Белякова, А.П. Куляшова. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2007. 169 с.
- [4] Антонен В.А., Школа С.В. Рукавишников. Развитие теории систем местность машина и опыт создания на ее основе гусеничных снегоболотоходных машин. Н. Новгород: Изд-во НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017. 298 с.
- [5] Anikin A. Calculation of traction capabilities of wheeled vehicles on low-pressure tires on snow // 19th Int. and 14th European-African Regional Conf. of the ISTVS, Budapest, Hungary, September 25–27, 2017. № 19.
- [6] Аникин А.А., Барахтанов Л.В., Донато И.О. Физико-механические свойства снега как полотна пути для движения машин // Наука и образование, 2010. № 10. С. 5.
- [7] Аникин А.А., Беляков В.В., Донато И.О. Теория передвижения колесных машин по снегу. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 240 с.
- [8] Барахтанов Л.В. Снегоходные машины. Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. 191 с.
- [9] Полотно пути транспортно-технологических машин (справочные материалы к теории «машина — местность») / под ред. В.В. Белякова, А.А. Куркина. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. технического ун-та им. Р.Е. Алексеева, 2014. 446 с.
- [10] Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных машин: дис. ... д-ра техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 1999. 485 с.
- [11] Блохин А.Н. Определение нормальных усилий в контакте шины сверхнизкого давления с опорной поверхностью // Журнал автомобильных инженеров, 2011. № 2 (67). С. 30–33.
- [12] Алипов А.А. Распределение давлений в контакте шины с дорогой // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2011. № 1 (49). С. 15–18.

- [13] Вахидов У.Ш. Обеспечение устойчивости транспортно-технологических машин сельскохозяйственного назначения при торможении на шинах сверхнизкого давления // Инженерные технологии и системы, 2020. Т. 30. № 4. С. 609–623.
- [14] Макаров В.С. Разработка научно обоснованных технических решений по созданию подвижных комплексов мониторинга береговых зон: дис. ... д-ра техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2017. 321 с.
- [15] Макаров В.С. Исследование распределения плотности снега по высоте снежного покрова // Материалы V Байкальской междунар. науч. конф. — стратегической сессии «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли», г. Иркутск, 19–23 июня 2023. Иркутск: Из-во Репроцентр А1, 2025. 224 с.
- [16] Папунин А.В. К вопросу преодоления дискретных снежных препятствий транспортно-технологическими машинами // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2022. № 2 (137). С. 94–104.
- [17] Манянин С.Е. Повышение проходимости колесных и гусеничных машин по снегу путем научно обоснованного выбора конструктивных параметров движителей: дис. ... д-ра техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2019. 412 с.
- [18] Котиев Г.О., Горелов В.А., Ганбаг Д. Моделирование движения колесных вездеходных транспортных средств // Mechanics Development Issues, 2009. С. 151–158.
- [19] Бяков К.Е., Горелов В.А., Чудаков О.И. Технология стендовых испытаний колесных машин с воспроизведением эксплуатационных нагрузочных режимов // Транспортные системы, 2021. № 2 (20). С. 16–24.
- [20] Горелов В.А., Наседкин О.К., Чудаков О.И. Математическая модель криволинейного движения транспортной системы для перевозки крупногабаритных неделимых грузов // Транспортные системы, 2019. № 4 (14). С. 34–41.
- [21] Дьяков А.С. Экспериментальная оценка устойчивости и управляемости снегоходов отечественного производства // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. № 1 (120). С. 148–155.
- [22] Дьяков А.С. Экспериментальная оценка скоростных и тормозных свойств снегоходов отечественного производства // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2018. № 1 (120). С. 156–164.
- [23] Беляков В.В. Обеспечение экологической безопасности движения вездеходных машин на местности // Экологические системы и приборы, 2016. № 12. С. 24–35.
- [24] Манянин С.Е. Повышение проходимости колесных машин по снегу путем применения шин сверхнизкого давления: дис. ... канд. техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2012. 200 с.
- [25] Соколов И.А. Моделирование шин сверхнизкого давления // Проблемы транспортных и технологических комплексов: сб. научных статей III Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 40-летию кафедры «Строительные и дорожные машины» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. С. 175–179.
- [26] Барахтанов Л.В. Исследование базовых характеристик шин сверхнизкого давления // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. № 2 (95). С. 172–178.
- [27] Беляков В.В. Расчет проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу // Вестник Ижевского государственного технического университета, 2010. № 3 (47). С. 35–38.
- [28] Зезюлин Д.В. Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дис. ... канд. техн. наук 05.05.03. Н. Новгород, 2013, 218 с.
- [29] Зезюлин Д.В. Метод повышения эффективности движения колесных машин по снегу путем выбора рациональных параметров движителей // Фундаментальные исследования, 2013. № 10–6. С. 1203–1208.
- [30] Зезюлин Д.В. Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу // Современные проблемы науки и образования, 2012. № 5. С. 84.
- [31] ООО «Завод вездеходных машин». URL: <https://zvm-nn.ru/> (дата обращения 02.12.2024).
- [32] ООО «ТрансМаш». URL: <https://www.transmashnn.ru/> (дата обращения 02.12.2024).
- [33] Тарарыкин А.М., Калач А.В. Перспективный облик и основные характеристики пожарного автомобиля первой помощи на базовом шасси вездехода-амфибии // Техносферная безопасность, 2022. № 1 (34). С. 59–65.
- [34] Тарарыкин А.М., Калач А.В., Елфимова М.В. Разработка снегоболотохода с прицепом для тушения пожаров в труднодоступных плавневых зонах // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика — регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в арктическом регионе: Матер. Междунар. науч.-практ. конф. С.-Петербург, 27 октября 2022 г. С.-Пб.: С.-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2022. С. 30–33.
- [35] Снегомер весовой ВС-43. Руководство по эксплуатации. 18 с.
- [36] Кравец В.Н. Теория автомобиля. Н. Новгород: Изд-во Нижегородского гос. технического ун-та им. Р.Е. Алексеева, 2013. 411 с.

Сведения об авторах

Манянин Сергей Евгеньевич — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), sergmanian@yandex.ru

Калилец Андрей Андреевич — мл. науч. сотр. ФКУ «Научно-производственное объединение «Специальная техника и связь» Министерства внутренних дел Российской Федерации, НИИ специальной техники, Центр специальных транспортных средств (ФКУ НПО «СТиС» МВД России, НИИСТ, ЦСТС)

Беляев Александр Михайлович — канд. техн. наук, директор Центра интеллектуальной собственности и трансфера технологий, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ), am_belyaev1990@guu.ru

Клюшкин Антон Алексеевич — ассистент, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), aak-nttu@yandex.ru

Беляков Владимир Викторович — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ), belyakov@nntu.ru

Макаров Владимир Сергеевич [✉] — д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ); ст. науч. сотр. Лаборатории реверсивного инжиниринга ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» (ГУУ), makvl2010@gmail.com

Поступила в редакцию 08.09.2025.

Одобрено после рецензирования 02.10.2025.

Принята к публикации 11.12.2025.

EXPERIMENTAL STUDIES OF SNOW AND SWAMP-GOING VEHICLE «BAIKAL» WITH LOW-PRESSURE TIRES WITH 6×6 WHEEL

S.E. Manyanin¹, A.A. Kalilets², A.M. Belyaev³,
A.A. Klyushkin¹, V.V. Belyakov¹, V.S. Makarov^{1,3} [✉]

¹Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseeva, 24, Minina st., 603155, Nizhny Novgorod, Russia

²Research Institute of Special Equipment «Scientific and Production Association «Special Equipment and Communications» of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, 2, Prud-Kluchiki st., 111024, Moscow, Russia

³State University of Management, 99, Ryazansky Prospekt, 109542, Moscow, Russia

makvl2010@gmail.com

The research data on wheeled vehicles having low and ultra-low-pressure tires are considered on the example of the «Baikal» (ZTM 30081-10) snow and swamp-going vehicle. A review of literary sources on the topic is provided. The purpose and objectives of the tests are formulated, the parameters to be measured are defined, and the instruments and equipment for carrying out the measurements are described. The research was conducted to determine maximum speeds on various road and ground surfaces such as asphaltic concrete pavement, ground road and virgin snow. The values of noise levels in the vehicle interior in the driver's head area and vibrations at the driver's seat were obtained. The minimum turning radius achievable by the vehicle has been verified. The parameters determining flotation ability on snow at different tire pressures have been calculated. An assessment of the possibility to overcome water obstacles and movement on open water is given. Recommendations in order to improve the vehicle design are given for a manufacturer.

Keywords: mobility, cross-country ability, all-terrain vehicle, snow, speed, low-pressure tires

Suggested citation: Manyanin S.E., Kalilets A.A., Belyaev A.M., Klyushkin A.A., Belyakov V.V., Makarov V.S. *Eksperimental'nye issledovaniya snegobolotokhoda «Baikal» na shinakh nizkogo davleniya s kolesnoy formuloy 6×6* [Experimental studies of snow and swamp-going vehicle «Baikal» with low-pressure tires with 6×6 wheel]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2026, vol. 30, no. 1, pp. 122–137.

DOI: 10.18698/2542-1468-2026-1-122-137

References

- [1] Belyakov V.V. *Nizhegorodskaya nauchno-prakticheskaya shkola transportnogo snegovedeniya* [Nizhny Novgorod Scientific and Practical School of Transport Snow Science]. Yubileynoe izdanie k 105-letiyu NGTU im. R.E. Alekseeva «Nauchno-prakticheskie shkoly Nizhegorodskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. R.E. Alekseeva» [Anniversary publication for the 105th anniversary of R.E. Alekseev NSTU. Scientific and Practical Schools of R.E. Alekseev Nizhny Novgorod State Technical University]. N. Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2022, part 2, pp. 251–305.
- [2] Kozin V.M. *Izbrannye zadachi ledotekhniki. Sredstva i metody resheniya* [Selected Problems of Ice Engineering. Solution Tools and Methods]. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2023, 772 p.
- [3] *Nizhegorodskaya nauchnaya shkola vezdekhodnykh mashin, transportno-tekhnologicheskikh kompleksov i spetsial'nogo oborudovaniya* [Nizhny Novgorod Scientific School of All-Terrain Vehicles, Transport and Technological Complexes, and Specialized Equipment]. Ed. V.V. Belyakov, A.P. Kulyashov. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2007, 169 p.
- [4] Antonets V.A. *Shkola S.V. Rukavishnikova. Razvitie teorii sistem mestnost' mashina i opyt sozdaniya na ee osnove gusenichnykh snegobolotokhodnykh mashin* [S.V. Rukavishnikov's School. Development of the Theory of Terrain-Machine Systems and the Experience of Creating Tracked Snow and Swamp-Going Vehicles Based on It]. Nizhny Novgorod: R.E. Alekseev NSTU, 2017, 298 p.
- [5] Anikin A. Calculation of Traction Capabilities of Wheeled Vehicles on Low-Pressure Tires on Snow. 19th International and 14th European-African Regional Conference of the ISTVS, Budapest, Hungary, September 25–27, 2017, No. 19.
- [6] Anikin A.A., Barakhtanov L.V., Donato I.O. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva snega kak polotna puti dlya dvizheniya mashin* [Physical and mechanical properties of snow as a roadbed for vehicle movement]. Nauka i obrazovanie [Science and education], 2010, no. 10, p. 5.
- [7] Anikin A.A., Belyakov V.V., Donato I.O. *Teoriya peredvizheniya kolesnykh mashin po snegu* [Theory of wheeled vehicle movement on snow]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publishing House, 2006, 240 p.
- [8] Barakhtanov L.V. *Snegokhodnye mashiny* [Snowmobile vehicles]. Gorky: Volga-Vyatka Book Publishing House, 1986, 191 p.
- [9] *Polotno puti transportno-tekhnologicheskikh mashin (spravochnye materialy k teorii «mashina — mestnost'»)* [Roadbed of transport and technological vehicles (reference materials to the «machine — terrain» theory)]. Ed. V.V. Belyakov, A.A. Kurkin. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseeva, 2014, 446 p.
- [10] Belyakov V.V. *Vzaimodeystvie so snezhnym pokrovom elastichnykh dvizhiteley spetsial'nykh transportnykh mashin* [Interaction with snow cover of elastic movers of special transport vehicles]. Dis. D-r Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 1999, 485 p.
- [11] Blokhin A.N. *Opredelenie normal'nykh usilyi v kontakte shiny sverkhnizkogo davleniya s opornoй poverkhnost'* [Determination of normal forces in contact of an ultra-low pressure tire with a supporting surface]. Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov [J. of Automotive Engineers], 2011, no. 2 (67), pp. 30–33.
- [12] Alipov A.A. *Raspredelenie davleniy v kontakte shiny s dorogoy* [Distribution of pressures in contact of a tire with a road]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Izhevsk State Technical University], 2011, no. 1 (49), pp. 15–18.
- [13] Vakhidov U.Sh. *Obespechenie ustoychivosti transportno-tekhnologicheskikh mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya pri tormozhenii na shinakh sverkhnizkogo davleniya* [Ensuring the stability of agricultural transport and technological vehicles when braking on ultra-low pressure tires]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy [Engineering technologies and systems], 2020, v. 30, no. 4, pp. 609–623.
- [14] Makarov V.S. *Razrabotka nauchno obosnovannykh tekhnicheskikh resheniy po sozdaniyu podvizhnykh kompleksov monitoringa beregovykh zon* [Development of scientifically based technical solutions for the creation of mobile coastal zone monitoring complexes]. Diss. D-r Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2017, 321 p.
- [15] Makarov V.S. *Issledovanie raspredeleniya plotnosti snega po vysote snezhnogo pokrova* [Study of snow density distribution by snow cover depth]. Materialy V Baykal'skoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii — strategicheskoy sessii «Snezhnyy pokrov, atmosferynye osadki, aerozoli» [Proceedings of the V Baikal International Scientific Conference — Strategic Session «Snow Cover, Precipitation, Aerosols»], Irkutsk, June 19–23, 2023. Irkutsk: Reprocenter A1, 2025, 224 p.
- [16] Papunin A.V. *K voprosu preodoleniya diskretnykh snezhnykh prepyatstviy transportno-tekhnologicheskimi mashinami* [On the Issue of Overcoming Discrete Snow Obstacles by Transport and Technological Machines]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of R.E. Alekseev NSTU], 2022, no. 2 (137), pp. 94–104.
- [17] Manyanin S.E. *Povyshenie prokhozimosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po snegu putem nauchno obosnovannogo vybora konstruktivnykh parametrov dvizhiteley* [Increasing the Cross-Country Capability of Wheeled and Tracked Vehicles on Snow by Scientifically Substantiated Selection of Design Parameters of Propellers]. Diss. D-r Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2019, 412 p.
- [18] Kotiev G.O., Gorelov V.A., Ganbat D. *Modelirovanie dvizheniya kolesnykh vezdekhodnykh transportnykh sredstv* [Modeling the Movement of Wheeled All-Terrain Vehicles]. Mechanics Development Issues, 2009, pp. 151–158.
- [19] Byakov K.E., Gorelov V.A., Chudakov O.I. *Tekhnologiya stendovykh ispytaniy kolesnykh mashin s vosproizvedeniem ekspluatatsionnykh nagruzochnykh rezhimov* [Technology of bench tests of wheeled vehicles with the reproduction of operational load modes]. Transportnye sistemy [Transport systems], 2021, no. 2 (20), pp. 16–24.
- [20] Gorelov V.A., Nasedkin O.K., Chudakov O.I. *Matematicheskaya model' krivolinyenogo dvizheniya transportnoy sistemy dlya perevozki krupnogabaritnykh nedelimykh gruzov* [Mathematical model of curvilinear motion of a transport system for transportation of large-sized indivisible cargo]. Transportnye sistemy [Transport systems], 2019, no. 4 (14), pp. 34–41.

- [21] D'yakov A.S. *Eksperimental'naya otsenka ustoychivosti i upravlyaemosti snegokhodov otechestvennogo proizvodstva* [Experimental assessment of stability and controllability of domestically produced snowmobiles]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseev], 2018, no. 1 (120), pp. 148–155.
- [22] D'yakov A.S. *Eksperimental'naya otsenka skorostnykh i tormoznykh svoystv snegokhodov otechestvennogo proizvodstva* [Experimental assessment of speed and braking properties of domestically produced snowmobiles]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of NSTU named after R.E. Alekseeva], 2018, no. 1 (120), pp. 156–164.
- [23] Belyakov V.V. *Obespechenie ekologicheskoy bezopasnosti dvizheniya vezdekhodnykh mashin na mestnosti* [Ensuring Environmental Safety of All-Terrain Vehicles on the Terrain]. Ekologicheskie sistemy i pribory [Ecological Systems and Devices], 2016, no. 12, pp. 24–35.
- [24] Manyanin S.E. *Povyshenie prokhozimosti kolesnykh mashin po snegu putem primeneniya shin sverkhnizkogo davleniya* [Improving the Cross-Country Ability of Wheeled Vehicles on Snow by Using Ultra-Low-Pressure Tires]. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2012, 200 p.
- [25] Sokolov I.A. *Modelirovanie shin sverkhnizkogo davleniya* [Modeling of Ultra-Low-Pressure Tires]. Problemy transportnykh i tekhnologicheskikh kompleksov: sb. nauchnykh statey III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 40-letiyu kafedry «Stroitel'nye i dorozhnye mashiny» NGTU im. R.E. Alekseeva [Problems of Transport and Technological Complexes: Collection of Scientific Articles from the III International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 40th Anniversary of the Department of Construction and Road Machines of NSTU named after R.E. Alekseeva], 2012, pp. 175–179.
- [26] Barakhtanov L.V. *Issledovanie bazovykh kharakteristik shin sverkhnizkogo davleniya* [Study of the basic characteristics of ultra-low pressure tires]. Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva [Proceedings of NSTU im. R.E. Alekseeva], 2012, no. 2 (95), pp. 172–178.
- [27] Belyakov V.V. *Raschet prokhozimosti kolesnykh mashin pri krivolinyenom dvizhenii po snegu* [Calculation of the cross-country ability of wheeled vehicles during curvilinear movement on snow]. Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Izhevsk State Technical University], 2010, no. 3 (47), pp. 35–38.
- [28] Zezyulin D.V. *Razrabotka metodiki vybora konstruktivnykh parametrov dvizhiteley, obespechivayushchikh effektivnost' dvizheniya kolesnykh mashin po snegu* [Development of a methodology for selecting the design parameters of propellers that ensure the efficiency of movement of wheeled vehicles on snow]. Diss. Cand. Sci. (Tech.). Nizhny Novgorod, 2013, 218 p.
- [29] Zezyulin D.V. *Metod povysheniya effektivnosti dvizheniya kolesnykh mashin po snegu putem vybora ratsional'nykh parametrov dvizhiteley* [Method for increasing the efficiency of movement of wheeled vehicles on snow by selecting rational propeller parameters]. Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research], 2013, no. 10–6, pp. 1203–1208.
- [30] Zezyulin D.V. *Vliyaniye parametrov dvizhiteley na pokazateli effektivnosti kolesnykh mashin pri dvizhenii po snegu* [The Influence of Propeller Parameters on the Performance of Wheeled Vehicles When Moving on Snow]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education], 2012, no. 5, p. 84.
- [31] *OOO «Zavod Vezdekhodnykh Mashin»* [All-Terrain Vehicle Plant, LLC]. Available at: <https://zvm-nn.ru/> (accessed 02.12.2024).
- [32] *OOO «TransMash»* [TransMash, LLC]. Available at: <https://www.transmashnn.ru/> (accessed 02.12.2024).
- [33] Tararykin A.M., Kalach A.V. *Perspektivnyy oblik i osnovnye kharakteristiki pozhnogo avtomobilya pervoy pomoshchi na bazovom shassi vezdekhoda-amfibii* [Prospective Design and Main Characteristics of a First-Aid Fire Truck on the Basic Chassis of an Amphibious All-Terrain Vehicle]. Tekhnosfernaya bezopasnost' [Technosphere Safety], 2022, no. 1 (34), pp. 59–65.
- [34] Tararykin A.M., Kalach A.V., Elfimova M.V. *Razrabotka snegobolotokhoda s pritsepom dlya tusheniya pozharov v trudnodostupnykh plavnevykh zonakh* [Development of an All-Terrain Vehicle with a Trailer for Fighting Fires in Hard-to-Reach Floodplain Areas]. Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Arktika — region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennyye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v arkticheskom regione: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Security Services in Russia: Experience, Problems, Prospects. The Arctic – a Region of Strategic Interests: Legal Policy and Modern Technologies for Ensuring Security in the Arctic Region: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference], St. Petersburg, October 27, 2022. St. Petersburg: St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Hero of the Russian Federation, General of the Army E.N. Zinichev, 2022, pp. 30–33.
- [35] *Snegomer vesovoy VS-43. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [Weighing Snow Gauge VS-43. Operation Manual], 18 p.
- [36] Kravets V.N. *Teoriya avtomobilya* [Automobile Theory]. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod State Technical University named after R.E. Alekseev, 2013, 411 p.

The article was prepared as part of the research work implemented at the expense of the federal budget (funding source: the Ministry of Education and Science of Russia) on the topic: «Development of scientific, methodological and practical foundations of reverse engineering for solving complex problems of import substitution in the agro-industrial complex of the Russian Federation» (research topic code FZNW-2024-0026).

Authors' information

Manyanin Sergey Evgen'evich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, sergmanian@yandex.ru

Kalilets Andrey Andreevich — Junior Researcher of the Research Institute of Special Equipment «Scientific and Production Association» «Special Equipment and Communications» of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation

Belyaev Aleksandr Mikhaylovich — Cand. Sci. (Tech.), Director of the Center for Intellectual Property and Technology Transfer State University of Management, am_belyaev1990@guu.ru

Klyushkin Anton Alekseevich — Assistant of the Department of Building and Road Machines, Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, aak-nntu@yandex.ru

Belyakov Vladimir Viktorovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, belyakov@nntu.ru

Makarov Vladimir Sergeevich✉ — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev; Senior Researcher, Reverse Engineering Laboratory, State University of Management, makvl2010@gmail.com

Received 08.09.2025.

Approved after review 02.10.2025.

Accepted for publication 11.12.2025.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article

The authors declare that there is no conflict of interest