

УДК 629.113

DOI: 10.46960/1816-210X_2023_2_89

ИСПЫТАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЛЕГКОГО КОЛЕСНОГО СНЕГОБОЛОТОХОДА С БОРТОВЫМ СПОСОБОМ ПОВОРОТА

А.В. Федоренко

ORCID: 0009-0001-7176-0037 e-mail: alex.fedorenko.tech@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***К.Я. Лелиовский**

ORCID: 0000-0003-0962-3303 e-mail: kleliovskiy@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

Представлены промежуточные результаты испытаний особо легких снегоболотоходов с бортовым способом поворота. Целью испытаний было выявление показателей технико-эксплуатационных свойств снегоболотоходов, в частности, управляемости. Работы выполнены коллективом исследователей НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Исследуемый снегоболотоход предположительно станет основой модельного ряда наземных транспортно-технологических средств. Разрабатываемая линейка позиционируется для обеспечения индивидуальной мобильности технического персонала, занятого обслуживанием трубопроводов, линий электропередач и связи, а также проведением поисково-спасательных и патрульных работ, в том числе, в условиях приполярных районов Севера. Разработка и модернизация таких конструкций, экспериментальное обоснование принципов их расчета обозначены в качестве дальнейшего направления развития проекта.

Ключевые слова: вездеходные транспортные средства, управляемость, бортовой (силовой) способ поворота, колесные машины, эффективность, подвижность.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Федоренко, А.В. Испытания по определению параметров управляемости легкого колесного снегоболотохода с бортовым способом поворота / А.В. Федоренко, К.Я. Лелиовский // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2023. № 2. С. 89-96. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_2_89

TESTS TO DETERMINE THE CONTROLLABILITY PARAMETERS OF A LIGHT WHEELED SNOWMOBILE WITH AN ON-BOARD TURNING METHOD

A.V. Fedorenko

ORCID: 0009-0001-7176-0037 e-mail: alex.fedorenko.tech@yandex.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
*Nizhny Novgorod, Russia***K.Ya. Leliovskij**

ORCID: 0000-0003-0962-3303 e-mail: kleliovskiy@mail.ru

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The paper represents interim testing results for extra light snow and swamp-going vehicles with skid steering. The testing was aimed to identify technical and operational performance measures of snow and swamp-going vehicles, particularly steerability. The works were carried out by the group of researchers at NNSTU n.a. R.E. Alekseev. An investigated snow and swamp-going vehicle is expected to underlie a model line-up of ground transport and technological machines. A line-up under development is intended to provide personal mobility of technical staff occupied in

pipeline, power transmission and communication line maintenance as well as conducting search-and-rescue and patrol activities, including those carried out in the climate of North polar regions. For further course of project development, authors aimed to design and modernization of such constructions and experimental justification of the corresponding calculation principles.

Key words: off-road vehicles, steerability, forced skid steering, wheeled vehicles, effectiveness, maneuverability.

FOR CITATION: A.V. Fedorenko, K.Ya. Leliovskij. Tests to determine the controllability parameters of a light wheeled snowmobile with an on-board turning method. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2023. № 2. С. 89-96. DOI: 10.46960/1816-210X_2023_1_89

Введение

Современные практики повышения эффективности отслеживания технического состояния трубопроводных трасс, линий электропередач, связи, их патрулирования с целью ликвидации вероятных чрезвычайных происшествий, предполагают применение специальных транспортных средств индивидуальной мобильности обслуживающего персонала. Большинство используемых для этих целей транспортно-технологических машин отличаются значительными массогабаритными характеристиками. Это ограничивает эффективность и повышает затраты на решение подобных задач. Один из вариантов преодоления обозначенных проблем с технической точки зрения – создание вездеходных шасси с минимальными массами и размерами. Их конструирование и расчет интересны также в плане научного обоснования и экспериментального исследования принимаемых инженерных решений. Перспективными областями применения вездеходных транспортных средств особо малого класса может быть обеспечение мобильности техников и другого персонала, осуществляющего обслуживание, ремонт, инспектирование различных линий коммуникаций (трубопроводы, электролинии, линии передач связи). Вездеходное шасси при этом должно нести на себе приборное оснащение массой до 200 кг. Указанная грузоподъемность была бы целесообразна в ходе поисковых, спасательных, эвакуационных работ, а также в ходе военных действий, т.е. в ухудшенных дорожных условиях. Применение легких вездеходов, в том числе, с бортовым способом поворота, дает возможность передвижения по различным труднопроходимым участкам, где тяжелые вездеходы не смогут проехать.

В качестве одного из направлений проектирования особо легких снегоболотоходов с бортовым способом поворота следует выделить выработку методик подбора параметров их узлов и деталей, что на основе дальнейших экспериментальных и теоретических исследований позволит установить рамки технико-эксплуатационных характеристик. Данные разработки в дальнейшем могут применяться при проектировании серий универсальных снегоболотоходов малого класса с бортовым способом поворота для организаций, осуществляющих эксплуатацию и сервис газо- и нефтепроводов и т.п., а также обеспечивать индивидуальную мобильность членов малых геодезических, геологических групп в труднопроходимых районах, в том числе в тех, где важно сохранение целостности почвенного покрова, например, по тундре.

Испытания по определению некоторых характеристик управляемости снегоболотохода

Испытания данного снегоболотохода малого класса с бортовым способом поворота, направленные на изучение параметров его управляемости, реализовывались согласно ГОСТ Р 50943-2011 «Снегоболотоходы. Технические требования и методы испытаний». Данный нормативный документ устанавливает параметры управляемости и устойчивости аналогичные тем, что даны ГОСТ Р 52302-2004 «Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний». Таким образом, обобщенная методика проведения испытаний на устойчивость и управляемость исследуемого легкого снегоболото-

хода, будет аналогична тем, что применяются для обычных транспортных средств. Технические требования, предъявляемые ГОСТ к автомобилям при проведении данных испытаний, а также их методики рассмотрены ниже [1].

Испытания «усилия на руле», согласно ГОСТ Р 50943-2011, предназначены для определения усилий, прикладываемых водителем транспортного для поворота его управляемых колес [2]. Таковым является усилие, приложенное к ободу рулевого колеса в его горизонтальной плоскости, необходимое для начала поворота или его предотвращения. Особенностью устройства рулевого привода исследуемого снегоболотохода малого класса является рулевой колонка мотоциклетного типа [3]. Следовательно, указанная в ГОСТе последовательность действий буквально была неприменима. Поэтому, в качестве допущения усилие на руле, необходимое для начала изменения машиной траектории, принято таковым, которое достаточно.



Рис. 1. Круговое движение по луговине

Fig. 1. Rotary driving on meadow



Рис. 2. Круговое движение по сухому ровному асфальту

Fig. 2. Rotary driving on dry even pavement

Как было указано ранее, особенностью конструкции испытуемого легкого вездехода является бортовой способ поворота. Это обусловило его повышенную траекторную устойчивость и малую чувствительность к воздействию на рулевую колонку. Поэтому прямолинейное движение, при заездах в большинстве случаев реализовывалась транспортным средством удовлетворительно. Замеры осуществлялось, согласно ГОСТ Р 50943-2011, движение вездехода с начальной скорости 10 км/ч, при ее достижении производился переход к движению по окружности радиусом 8 м (минимально допустимым). Разметка криволинейной траектории движения осуществлялась предварительно. Для этого использовались специально изготовленные вехи. Для измерения скорости движения был использован цифровой прибор «Рейслогджик», устанавливавшийся на испытуемый снегоболотоход. Для определения усилия на руле применялся динамометр. Было проведено 5 заездов [3]. Среднее усилие на руле составило: при движении по ровному сухому асфальтовому участку – 7,5 кг с, по ровному травянистому участку – 5,3 кг с (рис. 1,2).

Для сравнения производились измерения усилия на руле также при неподвижном состоянии вездехода. Руль поворачивали с угловой скоростью 50 °/с из нейтрального в крайнее левое и затем, в крайнее правое. Измерялись при этом:

- угол поворота руля;
- усилие на руле;
- время поворота руля.

Результаты замеров:

- среднее значение угла поворота руля – 2,690;
- усредненное усилие, прикладываемое к рулю: 8,01 кгс;
- среднее время поворота руля: 0,82 с.

Вывод по проведенным измерениям: в данном варианте конструкционного исполнения усилие на руле исследуемого легкого вездехода излишне высокое для машин такого класса при излишне малом углу поворота руля. В случае постановке рассматриваемого снегоболотохода данные параметры конструкции потребуют переработки.



**Рис. 3. Испытания «стабилизация»:
заезды по ровному сухому асфальтобетонному покрытию**

Fig. 3. «Stabilization» testing: driving on dry even bituminous-concrete surface

Испытания «стабилизация», согласно ГОСТ Р 50943-2011, предназначены для определения характеристик самостоятельный возврат руля к нейтральной позиции после снятия с него усилий. Определялись также характеристики самовозврата исследуемого снегоболотохода к прямолинейной траектории движения. Заезды состояли в движении по окружности с

изначально постоянной скоростью, с последующим снятием усилия с руля и съездом ходом с круга (рис. 3 и 4). Соблюдались следующие требования:

- отсутствие увеличения угла поворота руля после снятия с него усилия;
- обязательный самовозврат руля;
- угол поворота руля (после 6 с после снятия с него усилия) при повороте, обеспечивающем установившееся движение по траектории постоянного радиуса – менее 30 % начального;
- возврат руля в нейтральное положение – без рывков.



Рис. 4. Испытания «стабилизация»: заезды по ровному задернованному лугу

Fig. 4. «Stabilization» testing: driving on even grass-covered meadow

Радиус поворота колес внутренней (относительно центра поворота) стороны снегоболотохода: (10 ± 1) м. Его скорость движения: 20 ± 2 км/ч. Поворот осуществлялся при поддержании постоянной скорости движения. В ходе данных испытательных заездов прибором «Рейс-лоджик» регистрировались:

- ускорения в вертикальном направлении;
- ускорения в горизонтальном направлении;
- продольные скорости движения.

При помощи другой измерительной аппаратуры регистрировались::

- угол отклонения руля;
- время отклонения руля.

По итогам заездов определялись:

- средние значения величин угла поворота руля $\Delta \theta$, в градусах;
- наличие или отсутствие остаточных колебаний руля.

Заезды осуществлялись на следующих опорных основаниях: ровном асфальтобетонном покрытии (сухом, чистом), задернованном ровном участке луга и незадернованном ровном участке с супесчаным почвами. Радиусы круга выбирались равными $10 \pm 0,5$ м. Маркация трека выполнялась посредством вех. Данные замеров представлены в табл. 1 и 2. Максимально допустимыми принимались скорости, при которых сидящий за рулем был вынужден корректировать траекторию движения. На тех участках, где проводились заезды, такая потребность возникала при начале срезания колесами вездехода верхнего слоя опорного основания. Результаты измерений показывают: излишние люфты рулевого управления испытуемого снегоболотохода отсутствуют ввиду того, что его способ поворота – бортовой; наивысшие значения параметров управляемости исследуемого транспортного средства при испытаниях «усилия на руле», «стабилизация» были зарегистрированы в ходе заездов по сухой задернованной целине, незадернованному супесчаному участку (на деформируемых поверхностях).

Таблица 1.

Характеристики управляемости вездехода, зарегистрированные при испытаниях

Table 1.

Handling characteristics of the all-terrain vehicle registered during tests

Поворот руля (δ_n), град			Время поворота руля (t), с			Средние значения остаточного угла поворота руля ($\Delta\delta_n$), град		
асфальтобетон	луг	супесчаный участок	асфальтобетон	луг	супесчаный участок	асфальтобетон	луг	супесчаный участок
2,69	2,71	2,69	2,29	2,49	3,21	0,0	0,0	0,0

Таблица 2.

Характеристики управляемости вездехода, зарегистрированные при испытаниях

Table 2.

Handling characteristics of the all-terrain vehicle registered during tests

Максимальные вертикальные ускорения, m/c^2			Максимальные горизонтальные ускорения, m/c^2			Предельные линейные скорости движения, км/ч		
асфальтобетон	луг	супесчаный участок	асфальтобетон	луг	супесчаный участок	асфальтобетон	луг	супесчаный участок
1,701	1,599	1,499	2,302	1,902	2,198	26,79	23,71	25,41

Испытания «рывок руля» были проведены для оценки курсовой устойчивости снегоболотохода с бортовым способом поворота [4]. Его курсовая устойчивость определяется согласно ГОСТ Р 50943-2011 «Снегоболотоходы. Технические требования и методы испытаний». Параметры: характеристика поворачиваемости, характеристика чувствительности к управлению; величина «заброса» угловой скорости; время 90 %-ной реакции по угловой скорости. Согласно ГОСТ Р 50943-2011, характеристика времени 90 %-ной реакции транспортного средства – график зависимости времени 90 %-ной реакции (Δt_{90}) от его бокового ускорения $\Delta t_{90} = f_3(a_y)$. Характеристика заброса угловой скорости транспортно-технологической машины представляет зависимость заброса угловой скорости $\Delta\psi$ от углового ускорения $\Delta\psi = f_2(a_y)$. ГОСТ Р 50943-2011 допускает определение данных характеристик в рамках проведения испытаний по определению «стабилизации рулевого управления». В ходе проведенных замеров, выполненных при проведении заездов транспортно-технологического средства «Корсак», требуемые величины для вычерчивания указанных характеристик были получены. Часть из них приведена в (табл. 1,2).

На рис. 5 [4] приведены примеры характеристик управляемости снегоболотохода, зарегистрированные при заездах по луговине. В частности, приведены графики зависимости времени 90 %-ной реакции Δt_{90} от бокового ускорения и заброса угловой скорости $\Delta\psi$ от углового ускорения. Также были получены в ходе замеров параметров управляемости при заездах по открытому супесчаному и асфальтовому участку. Их общий вид в целом аналогичен представленному на рис. 5. Построенные характеристики позволяют получить дополнительную информацию об управляемости исследуемого снегоболотохода [3].

По результатам проведенных измерений и вычислений данных характеристик можно сделать следующие выводы: они в целом подтверждают и дополнительно иллюстрируют выводы, сделанные по результатам испытаний «стабилизация рулевого управления». Полученные графики характеристик зависимости времени 90 %-ной реакции Δt_{90} от бокового ускорения и заброса угловой скорости $\Delta\psi$ от углового ускорения, согласно величинам значений также свидетельствуют о том, что колебаний на руле данного вездехода в ходе проведенных исследований практически не наблюдается. Это можно объяснить особенностями конструкции рулевого привода, а так же способом поворота – бортовым [5].

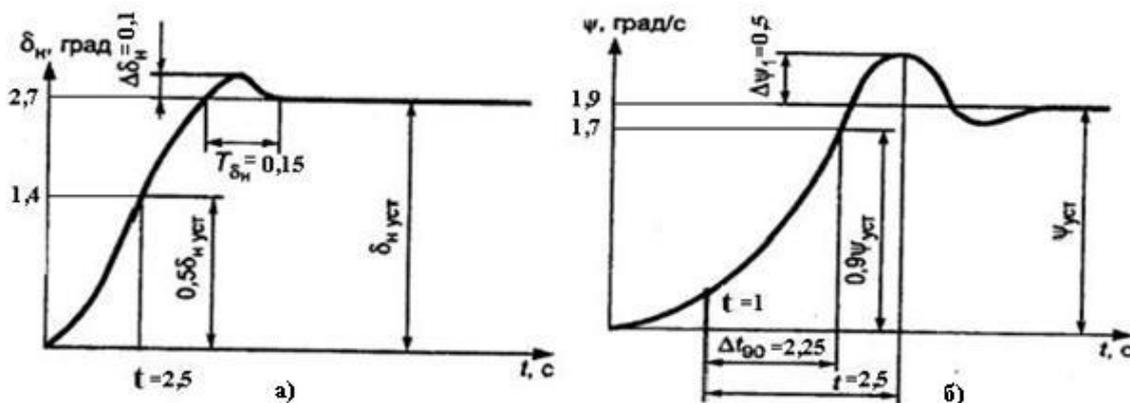


Рис. 5. Примеры графиков характеристик управляемости легкого вездехода, полученных при заездах на луговине:

а) – неравномерности угловой скорости поворота; б) – 90 % отклика рулевого управления

Fig. 5. Examples of graphs of the controllability characteristics of a light all-terrain vehicle obtained during races in the meadow:

a) – irregularities in the angular speed of rotation; b) – 90 % steering response

Заключение

Приведенные результаты исследований показателей управляемости легкого колесного снегоболотохода с бортовым способом поворота могут быть полезными для разработки транспортно-технологических машин, предназначенных для обслуживания трубопроводов, линий электропередач и связи, проведения поисково-спасательных и патрульных работ, в труднодоступных районах нашей области, страны, в том числе, в условиях приполярных районов Севера. Исследования позволят выработать рекомендации по выбору оптимальных режимов и приемы эксплуатации, исходя из их тактико-технических показателей, в частности, из области управляемости. Важность этого обуславливается тем, что упомянутые показатели являются значимыми, в числе других, с точки зрения подвижности изучаемой автотранспортной техники, особенно с учетом ее оперативно-функционального назначения – машины для обеспечения мобильности, (в том числе, индивидуальной), сотрудников разного рода служб обслуживания, а также быстрого реагирования. Исследуемый легкий колесный снегоболотоход является в настоящее время ходовым макетом, предназначенным для отработки реализуемых конструкторских решений, в том числе, в области обеспечения его управляемости. Как показали результаты испытаний, бортовой способ поворота, реализованный в его конструкции, накладывает некоторые ограничения на методику организации измерений, а также обуславливает величины полученных в ходе них параметров и характеристик, отличающихся от тех, что свойственны транспортным средствам, направление движения которых изменяется за счет поворота управляемых колес [6].

Таким образом, кроме явного конструкционного упрощения рулевого управления, связанного с отсутствием ряда элементов, обязательно присутствующих на транспортно-технологических машинах с «традиционной» конструкцией рулевого привода, предложенный вариант его конструкции потребует уточнения целого проектировочных и компоновочных решений. Не все параметры, отражающие управляемость снегоболотохода при существующих конструкционных решениях являются оптимальными и даже приемлемыми для его повседневной эксплуатации. В ходе нее водитель-оператор, который также часто является техником-механиком, специализирующимся на проведении каких-либо спасательных или иных технологических операций, (т.е. не обладает, в отличие от водителя-испытателя, управлявшего данным снегоболотоходом при испытательных заездах, специальными навыками и приемами вожде-

ния именно этого транспортного средства), с высокой долей вероятности столкнется с затруднениями при управлении. В критической ситуации это может оказаться существенным фактором, который обусловит потерю снегоболотоходом проходимости и даже подвижности. Следовательно, полученные результаты испытаний могут послужить основанием для изменения параметров и компоновки механизмов управления «блокировки бортов» снегоболотохода.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 52302-2004. Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний. Введ. 2005-01-01. – М.: Стандартиздат, 2004. – 16 с.
2. ГОСТ Р 50943-2011. Снегоболотоходы. Технические требования и методы испытаний. Введ. 2011-01-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2011. – 12 с.
3. **Федоренко, А.В.** Испытания по определению показателей управляемости легкого колесного снегоболотохода «Корсак» с бортовым способом поворота / А.В. Федоренко, К.Я. Лелиовский // Арктика. инновационные технологии, кадры, туризм: сборник матер. междун. науч. – практ. конф. / Воронеж. гос. лес. тех. ун-т. – Воронеж, 2021, С. 213-221.
4. **Огороднов, С.М.** Испытания транспортных машин: дорожные испытания. Стендовые испытания узлов и агрегатов: учеб. пособие / С.М. Огороднов, К.Я. Лелиовский. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2012. – 234 с.
5. **Тарасик, В.П.** Теория движения автомобиля / В.П. Тарасик. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
6. **Фаробин, Я.Е.** Теория поворота транспортных машин / Я.Е. Фаробин. – М.: Машиностроение, 1970. – 176 с.

*Дата поступления
в редакцию: 10.01.2023*

*Дата принятия
к публикации: 03.06.2023*