

УДК 631.123

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ПАРАМЕТРЫ ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ГЛУБИНУ КОЛЕИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ПО СНЕЖНОМУ ПОКРОВУ

Щитов Сергей Васильевич

Д.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код: 4944 -6871

email: shitov.sv1955@mail.ru

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86

Кривуца Зоя Фёдоровна

Д.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код: 6124 -5403

email: zfk20091@mail.ru

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86

Кузнецов Евгений Евгеньевич

Д.т.н., профессор

РИНЦ SPIN-код: 6082-4770

email: ji.tor@mail.ru

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86

Поликутина Елена Сергеевна

Кандидат технических наук

РИНЦ SPIN-код: 5782 -6936

email: e.polikytina@mail.ru

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86

Марков Сергей Николаевич

Кандидат технических наук

РИНЦ SPIN-код: 3532-4069

email: toyota103@mail.ru

Дальневосточный Государственный аграрный университет, Россия, 675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая 86

Сельскохозяйственное производство во многом отличается от других видов производств. Главным отличием является то, что оно во многом зависит от внешних факторов (природно-климатических условий). Характер проведения одних и тех же работ в летних и зимних условиях коренным образом отличаются друг от друга. Особенно это относится к регионам, у которых температурный режим меняется от -45градусов по Цельсию до + 40

UDC 631.123

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

PARAMETERS DETERMINING THE TRACK DEPTH DURING MOVEMENT OF THE ENERGY FACILITY ALONG THE SNOW COVER

Shchitov Sergey Vasilyevich

Dr.Sci.Tech., professor

RSCI SPIN-code: 4944-6871

email: shitov.sv1955@mail.ru

Far Eastern State Agrarian University, Russia, 675005, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya 86

Krivutsa Zoya Fedorovna

Dr.Sci.Tech., professor

RSCI SPIN-code: 6124-5403

email: zfk20091@mail.ru

Far Eastern State Agrarian University, Russia, 675005, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya 86

Kuznetsov Evgeny Evgenievich

Dr.Tech.Sci., professor

RSCI SPIN-code: 6082-4770

email: ji.tor@mail.ru

Far Eastern State Agrarian University, Russia, 675005, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya 86

Polikutina Elena Sergeevna

Candidate of Technical Sciences

RSCI SPIN-code: 5782-6936

email: e.polikytina@mail.ru

Far Eastern State Agrarian University, Russia, 675005, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya 86

Markov Sergey Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences

RSCI SPIN-code: 3532-4069

email: toyota103@mail.ru

Far Eastern State Agrarian University, Russia, 675005, Amur Region, Blagoveshchensk, Politekhnikeskaya 86

Agricultural production differs in many ways from other types of production. The main difference is that it largely depends on external factors (natural and climatic conditions). The nature of the same work in summer and winter conditions is fundamentally different from each other. This is especially true for regions in which the temperature regime varies from - 45 degrees Celsius to + 40 degrees Celsius. In addition, it should be noted that in winter, in order to

градусов по Цельсию. Кроме того, необходимо отметить, что в зимний период времени для обеспечения кормовой базы животным необходимо завозить сено с полей. Наряду с этим, Амурская область является одним из основных поставщиков сена в соседние регионы, где в силу различных обстоятельств не представляется возможность обеспечивать себя кормами. При этом необходимо отметить, что вывозка с полей и дальнейшая транспортировка осуществляется при наличии мерзлотного основания и ледяной корки. В этих условиях с целью обеспечения сцепных свойств возникает необходимость регулировать нагрузку на ведущие колёса энергетического средства. Это достигается за счёт установки дополнительного устройства и использования арочных шин. Постановка арочных шин позволяет снизить глубину колеи на 23,8%, при глубине снежного покрова 0,35 м. При установки предлагаемого устройства снижение глубины колеи составило более 40% по сравнению с серийным вариантом

Ключевые слова: ТОЛЩИНА СНЕЖНОГО ПОКРОВА, ГЛУБИНА КОЛЕИ, НАГРУЗКА НА ДВИЖИТЕЛЬ, АВТОМОБИЛЬ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО

provide a food supply, animals need to import hay from the fields. Along with this, the Amur Region is one of the main suppliers of hay to neighboring regions, where, due to various circumstances, it is not possible to provide themselves with feed. It should be noted that removal from the fields and further transportation is carried out in the presence of a permafrost base and ice crust. In these conditions, in order to ensure coupling properties, it becomes necessary to regulate the load on the driving wheels of the power facility. This is achieved by installing an additional device and using arched tires. Installation of arched tires allows you to reduce the track depth by 23.8%, with a snow depth of 0.35 m. When installing the proposed device, the reduction in track depth was more than 40% compared to the production version

Keywords: THICKNESS OF SNOW COVER, TRACK DEPTH, LOAD ON THE PROPULSOR, CAR, ENERGY MEANS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-200-023>

Введение. При вывозке кормов с поля в зимней период времени основной проблемой является высота снежного покрова. Для этой цели на внутрихозяйственных перевозках используются энергетические средства повышенной проходимости – тракторы с колесной формулой как правило 4К4. Для транспортировки на значительные расстояния в основном используются автомобили семейства КАМАЗ. При этом необходимо отметить, что перевозку осуществляют в северные районы где кормовая база недостаточно развита, но при этом выпадает значительное количество осадков (Рисунок 1).

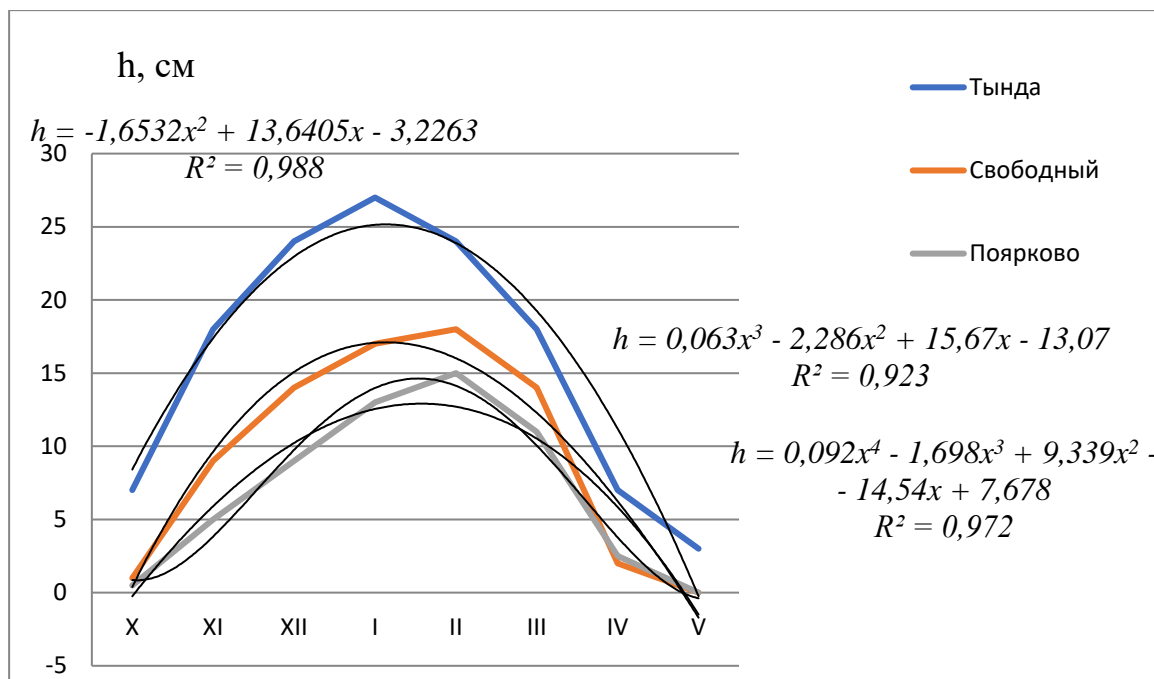


Рис. 1– Толщина снежного покрова

Для детального анализа полученных в результате проведенных исследований необходимо знать аналитическую зависимость между толщиной снежного основания и месяцем года. Представленные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о квадратичной зависимости толщины снежного покрова от времени года для исследуемого диапазона.

$$h_x = b_0 + b_1x + b_2x^2. \tag{1}$$

Применение метода наименьших квадратов позволяет достоверно используя критерий Фишера определить входящие параметры уравнения (1)

$$S = \sum_{i=1}^n (y_{x_i} - \bar{y}_i)^2 = \sum_{i=1}^n (b_0 + b_1x_i + b_2x_i^2 - \bar{y}_i)^2 \rightarrow \min. \tag{2}$$

В нашем случае для решения уравнения необходимо приравнять частные производные к нулю

$$\frac{dS}{db_0} = 0, \quad \frac{dS}{db_1} = 0, \quad \frac{dS}{db_2} = 0,$$

В результате проведенных преобразований были получены следующие уравнения:

$$\left. \begin{aligned} b_0 n + b_1 \sum_{i=1}^n x_i + b_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 &= \sum_{i=1}^n y_i, \\ b_0 \sum_{i=1}^n x_i + b_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + b_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i, \\ b_0 \sum_{i=1}^n x_i^2 + b_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + b_2 \sum_{i=1}^n x_i^4 &= \sum_{i=1}^n y_i x_i^2. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Используя полученные уравнения (3) запишем систему уравнений для толщина снежного покровы в городе Тында:

$$\left. \begin{aligned} 8b_0 + 36b_1 + 204b_2 &= 128 \\ 36b_0 + 204b_1 + 1296b_2 &= 524 \\ 204b_0 + 1296b_1 + 8772b_2 &= 2510. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Применив метод Гаусса в прикладной математической программе Matcad искомые значения коэффициентов в уравнении (4) принимают следующие значения $b_0 = -3,2263$, $b_1 = 13,6405$, $b_2 = -1,6432$, тогда уравнение регрессии определяющее толщину снежного покрова для города Тынды имеет вид:

$$h = -1,6432x^2 + 13,6405x - 3,2264. \quad (5)$$

Для оценки значимости полученных коэффициентов в уравнении (5) применялся метод Фишера. Результаты расчетов показал, что коэффициент детерминации составил $R_{xy}^2 = 0,98$, что свидетельствует о соответствии полученных значений.

Представленные уравнения регрессии толщины снежного покрова на рисунке 1 позволяют более объективно оценивать транспортные работы в зимний период.

Материалы и методы.

Движение энергетического средства по снежному покрову сопровождается сложным процессом деформации слоя снега между двигателем и мерзлым слоем почвы. В следствии нагрузки, приходящейся на двигатель образуется колея, глубина которой зависит от многих факторов. Возникающие касательные напряжения в снежном покрове в следствии воздействия на него двигателя, вызывают горизонтальную деформацию самого снежного покрова. В свою очередь величина деформации снежного покрова зависит от ряда факторов представленных на рисунке 2.

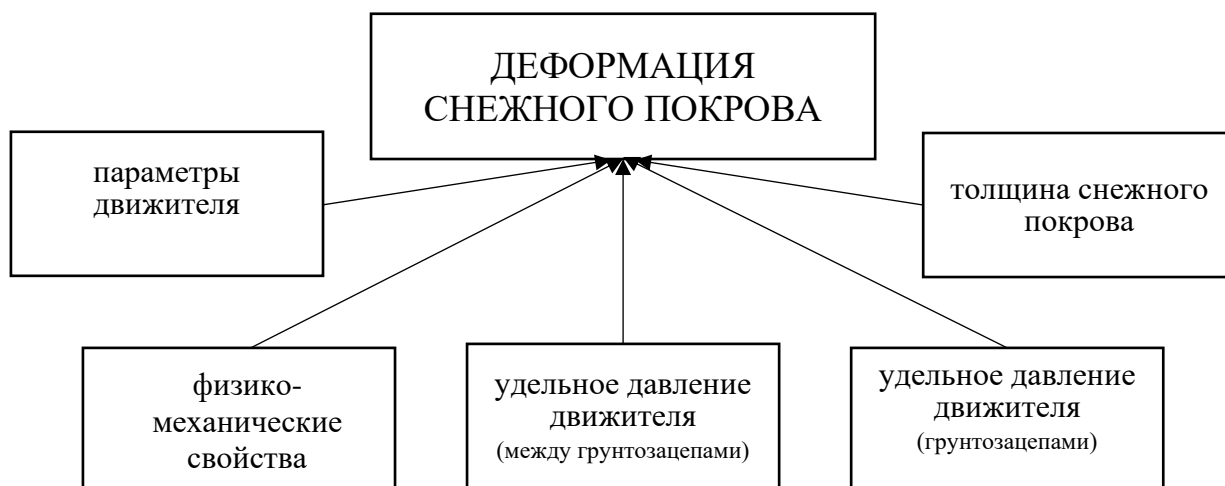


Рис. 2 – Факторы, влияющие на деформацию снежного покрова

Анализируя рисунок 2 можно отметить, что деформация снежного покрова зависит от физико-механических параметров снега и двигателя (удельного давление и параметров).

Обзор работ ранее проведенных исследований [1,2,4] позволил сформировать основные процессы, происходящие при деформации снежного покрова (Рисунок 2).

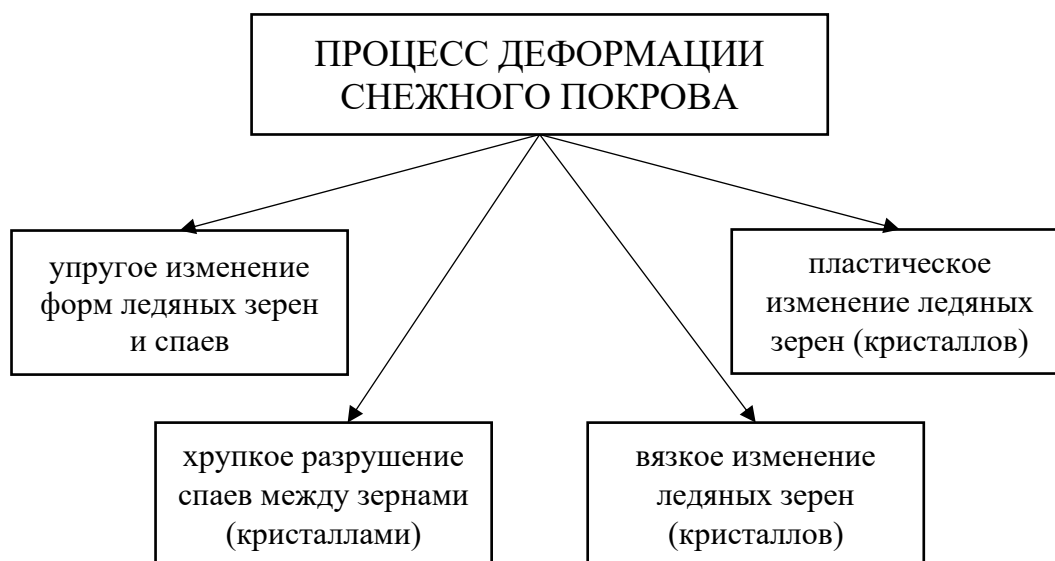


Рис. 3 – Процесс деформации снежного покрова

В процессе взаимодействия движителя со снежным покровом (Рисунок 2) происходит сжатие и сдвиг последнего в различных направлениях, что в конечном итоге влияет на сам процесс деформации. В работе В.М. Янкина установлено, что силу затрачиваемую на преодоление сопротивления возникающего при движении любого колёсного средства по снежному покрову можно определять по формуле [6]

$$q = q_0 e^{kh/H}, \quad (6)$$

где q_0 – несущая способность снега, кН/м^2 ; k – коэффициент характеризующий сжимаемость снега; h – осадка движителя (глубина колеи), м; H – высота снежного покрова, м.

Предложенная зависимость (6), показывает взаимосвязь между нагрузкой на движитель и глубиной колеи. Основываясь на исследованиях В.М. Янкина [1] Н.А. Алексейчик и Ю.И. Томкунас в своей работе [2] предложили глубину колеи образованную колесом на снежном основании определять по формуле

$$h = \frac{H}{k} \ln \left(\frac{Q \cdot k}{H \cdot C \cdot q_0 \cdot B \sqrt{2R}} \right), \quad (7)$$

где C – постоянный коэффициент; Q – нагрузка приходящаяся на гунтозацепы, кН; B – ширина колеса, м; R_k – радиус колеса по гунтозацепам, м.

Анализ формулы (7) позволяет сделать вывод, что глубина колеи зависит от параметров колеса, нагрузки на движитель и физико-механических свойств почвы. Одним из основных показателей влияющих на глубину продавливания снежного основания движителем является нагрузка приходящаяся на него, регулируя которую можно уменьшать или увеличивать глубину следа оставляемого за движителем. Это особенно важно, когда приходится транспортировать корма с поля с применением дополнительных специально установленных устройств [3] способствующих данному регулированию. Величину регулируемой нагрузки можно определить по выражению [9,10]

$$\Delta Q = \pm \frac{T_a(h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l}(B_a + a_a)}{B_a}, \quad (8)$$

где B_a – расстояние между точками соединения, м; T_a – усилие создаваемое тросом лебёдки автомобиля, Н; T_n – усилие создаваемое тросом прицепа, Н; h_a – расстояние от поверхности основания по которому движется автомобиль и его рамой, м; h_n – расстояние от поверхности основания до места соединения прицепа с автомобилем, м; l – расстояние от точки соединения прицепа и автомобиля до точки соединения чалочного крюка N_c , м; n – расстояние между точкой соединения автомобиля с прицепом и местом соединения троса с прицепом, м; φ – изгиб троса (угол).

Результаты и обсуждение

Как было сказано выше снижение глубины колеи может быть достигнуто за счёт увеличения поверхности соприкосновения движителя с основанием (установка арочных шин рисунок 3) и использование специального устройства [8] позволяющего регулировать нагрузку. В

случае применения предлагаемого устройства происходит частичное перераспределение нагрузки, следовательно выражение (7) с учётом зависимости (8) примет вид

$$h = \frac{H}{k} \ln \left(\frac{k(Q - \frac{T_a(h_n - h_a) + T_n \sin \varphi \cdot \frac{n}{l} (B_a + a_a)}{B_a})}{H \cdot C \cdot q_0 \cdot B \sqrt{2R}} \right). \quad (9)$$

Таким образом, на основании полученного выражения (9) установка арочных шин и использование предлагаемого устройства позволит уменьшить глубину колеи. Для установления значимости полученных теоретических разработок, с целью проверки их адекватности, проведены исследования в реальных производственных условиях эксплуатации колесных энергетических средств с шинами увеличенной ширины (Рисунок 4) и в заводской комплектации (Рисунок 5). Исследования проводились в двух вариантах:

- без установки предлагаемой конструкции;
- с установленной предлагаемой конструкции.



Рис. 4 – Автомобиль на шинах с увеличенной шириной



Рис. 5 – Автомобиль в заводской комплектации

Результаты проведенных исследований представлены на рисунке 5.

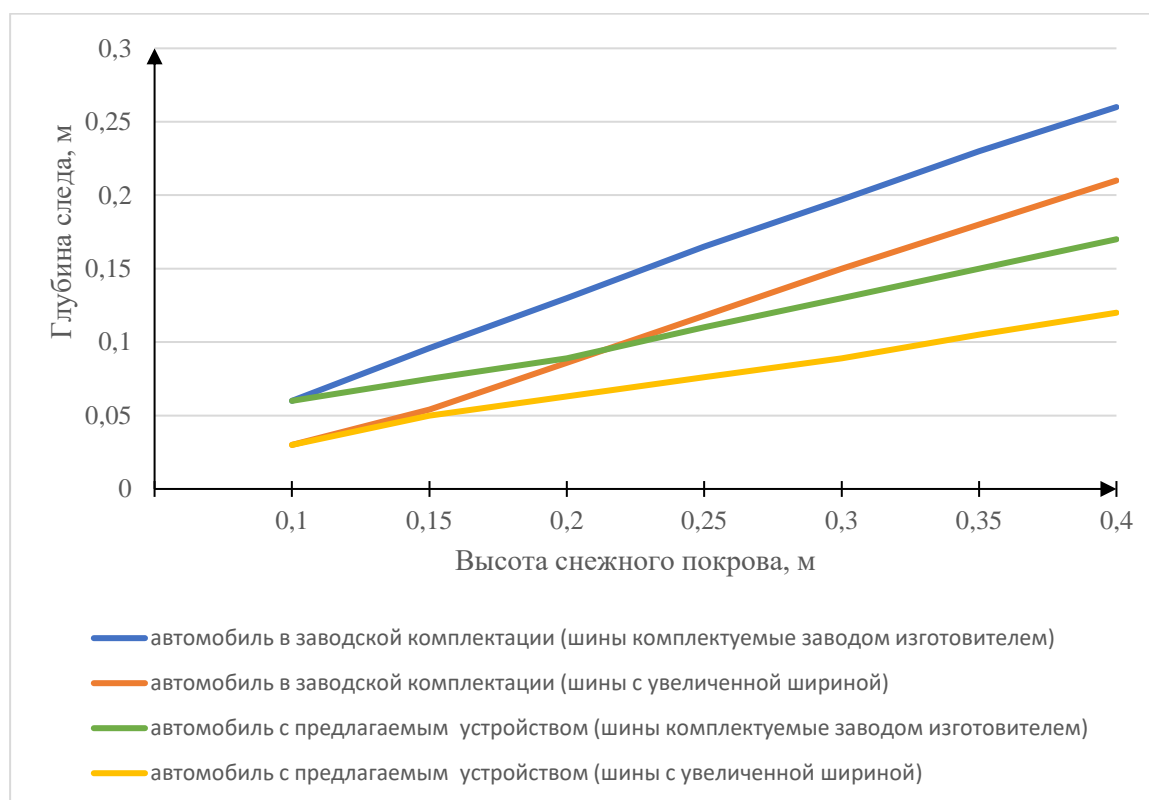


Рис. 6 – Зависимость глубины следа, оставляемого колёсным энергетическим средством, после прохода

по снежному основанию от высоты снежного покрова

Анализируя полученные результаты необходимо отметить следующее:

– на глубину колеи после прохода колёсного энергетического средства по снежному основанию большое влияние оказывает его высота, так при изменении высоты с 0,1м до 0,35м величина глубины колеи возрастает с 0,06м до 0,26м в заводской комплектации шин и с 0,03м до 0,21м при установке шин увеличенной ширины;

– использование предлагаемой конструкции дает возможность уменьшить глубину оставляемого следа после прохода колёсного энергетического средства по снежному основанию с 0,26м до 0,17м и с 0,03м до 0,12 м при высоте снежного покрова 0,35 м.

Заключение. Проведённые исследования показали, что глубина колеи по снегу зависит от нагрузки на движитель и площади контакта его с опорным основанием. Постановка арочных шин позволяет снизить глубину колеи на 23,8%, при глубине снежного покрова 0,35м. Регулировать нагрузку на движитель возможно за счёт её частичного перераспределения внутри энергетического средства. При установке предлагаемого устройства снижение глубины колеи составило более 40% по сравнению с серийным вариантом

Список использованной литературы

1. Янкин В.М. Сопротивление передвижению гусеничного трактора класса 3т по снежной целине. Тракторы и сельхозмашины. 1968. №9 с. 18-19
2. Алексейчик Н.А. Деформация снежного покрова движителем МТЗ-52. //Н.А. Алексейчик, Ю.И. Томкунас. Пути совершенствования с.-х техники. Сборник научных трудов выпуск №26. Издательство «Ураджай», Минск, 1974. с.41-46.
3. Догружающий модуль для грузового автомобиля, патент на изобретение № 2763005. Кузнецов Е.Е и др, заявитель и патентообладатель. федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Дальневосточный государственный аграрный университет, заявка № 202100266 от 11.01.2021 Опубликовано 24.12.2021 Бюл. № 36
4. Щитов С.В. Результаты экспериментальных исследований по использованию высокопроходимых автомобилей марки КАМАЗ в условиях заснеженности полей // С.В. Щитов, С.Н. Марков, Е.Е. Кузнецов/ Агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития: матер. всерос. науч.- практ. конф. (Благовещенск, 21 апреля 2020 г.). В 2 частях. Часть 1. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ, 2021. С. 213-218

References

1. Jankin V.M. Soprotivlenie peredvizheniju gusenichnogo traktora klassa 3t po snezhnoj celine. Traktory i sel'hozmashiny. 1968. №9 s. 18-19
2. Aleksejchik N.A. Deformacija snezhnogo pokrova dvizhitelem MTZ-52. //N.A. Aleksejchik, Ju.I. Tomkunas. Puti sovershenstvovaniya s.-h tehniki. Sbornik nauchnyh trudov vypusk №26. Izdatel'stvo «Uradzhaj», Minsk, 1974. s.41-46.
3. Dogruzhajushhij modul' dlja gruzovogo avtomobilja, patent na izobrenenie № 2763005. Kuznecov E.E i dr, zajavitel' i patentoobladatel'. federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenija vysshego obrazovanija Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet, zjavka № 202100266 ot 11.01.2021 Opublikovano 24.12.2021 Bjul. № 36
4. Shhitov S.V. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij po ispol'zovaniju vysokoprohodimyh avtomobilej marki KAMAZ v uslovijah zasnezhennosti polej // S.V. Shhitov, S.N. Markov, E.E. Kuznecov/ Agropromyshlennyj kompleks: problemy i perspektivy razvitija: mater. vseros. nauch.- prakt. konf. (Blagoveshhensk, 21 aprelja 2020 g.).V 2 chastjah.Chast' 1. Blagoveshhensk: Dal'nevostochnyj GAU, 2021. S. 213-218