

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОВОРОТУ СОЧЛЕНЕННЫХ ДВУХЗВЕННЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Барахтанов Л.В., Вахидов У.Ш., Манянин С.Е.

*«Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е.Алексеева», г. Нижний Новгород, Россия (603950, ГСП-41, Н.Новгород, ул. Минина, д.24), e-mail: [umar-vahidov@mail.ru](mailto:umar-vahidov@mail.ru)*

Статья посвящена определению сил, которые действуют на звенья сочлененной двухзвенной гусеничной машины при совершении поворота, нахождению усилий в гидроцилиндрах, необходимых для обеспечения поворота машины. В статье приведены кинематические схемы поворота двухзвенной гусеничной машины. Дана схема действия внешних сил на звено машины. Рассмотрен наиболее объективный (на наш взгляд) критерий для оценки действия гусеницы на грунт – пиковое давление. Проанализировано влияние типа гусеницы на пиковое давление. Даны формулы для расчета сопротивления поворота гусеничной машины, учитывающие геометрические и силовые параметры. Приведены графики зависимостей сил, действующих на звенья гусеничной машины через гидроцилиндры в зависимости от угла складывания, в пределах от 0 до 30 градусов.

Ключевые слова: звено, момент сопротивления, сила, гусеница.

## THE DETERMINATION OF RESISTANCE FORCES DURING THE TURNING MOTION OF CATERPILLAR SEMI-SECTION VEHICLES

Barakhtanov L.V., Vakhidov U.S., Manyanin S.E.

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, street Minina, 24), e-mail: [umar-vahidov@mail.ru](mailto:umar-vahidov@mail.ru)*

Article is devoted to defining the forces that act on the section of articulated articulated tracked vehicle in the commission of the turn, finding efforts in the hydraulic cylinders necessary for the rotation of the machine. The paper presents the kinematic rotation scheme articulated tracked vehicle. The scheme of the action of external forces on the link in the machine. Considered the most objective (in our opinion) the criterion for evaluating the action on the ground caterpillars – the peak pressure. The influence of the type of caterpillar on peak pressure. Formulas for calculating the resistance to rotation of a tracked vehicle, taking into account the geometric and force parameters. Shows graphs of force acting on the section of the tracked vehicle via hydraulic cylinders, depending on the folding angle, in the range of 0 to 30 degrees.

Keywords: section, moment of resistance, force, caterpillar.

Для расчета подвижности [2-5], проходимости [1] и поворачиваемости (маневренности) гусеничных двухзвенных гусеничных машин, а также для определения нагруженности их конструкции необходимо знать силы, возникающие при повороте. Определить их можно из кинематического и силового анализа.

Для анализа сил, действующих на сочлененные двухзвенные гусеничные машины при совершении маневра «поворот», необходимо знать основные параметры машины, а также задаться коэффициентом сопротивления качению  $f$  и коэффициентом сцепления в боковом направлении  $\varphi_y$ .

Кинематическая схема поворота сочлененной гусеничной машины показана на рис.1.

На схеме изображены основные размеры, необходимые для определения сил, действующих в гидроцилиндрах. Сделано предположение, что центры масс звеньев гусеничной машины находятся посередине базы.

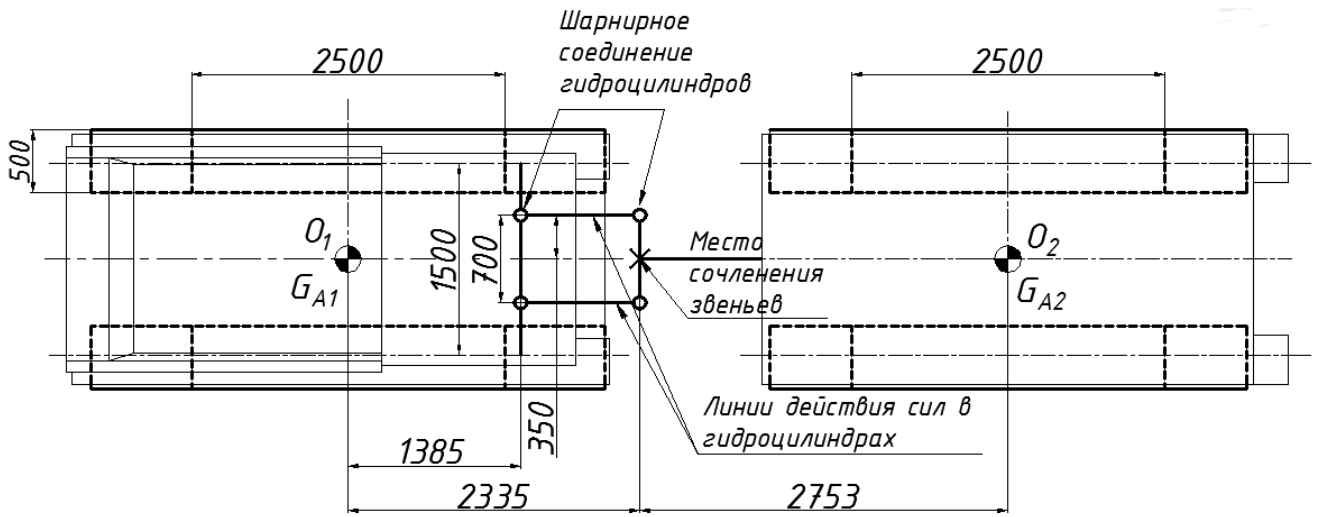


Рис.1. Кинематическая схема поворота

Расчетная схема для определения сил сопротивления повороту представлена на рис. 2.

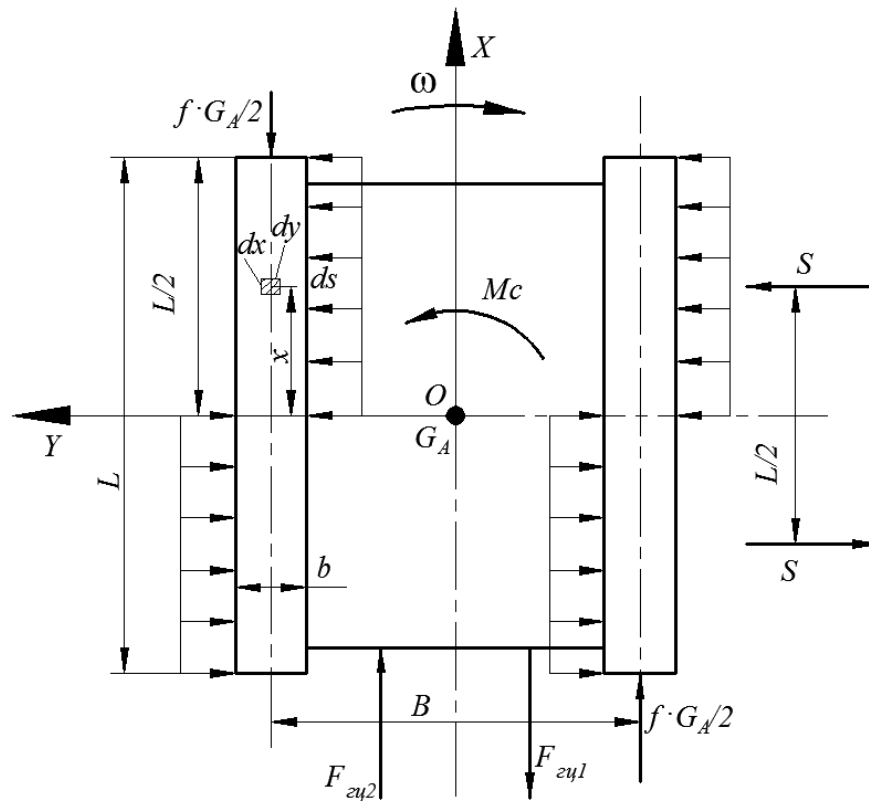


Рис. 2. Внешние силы, действующие на звено машины при повороте

Наиболее объективным (на наш взгляд) критерием для оценки действия гусеницы на грунт является пиковое давление [10]:

$$q_m = kq \quad (1)$$

где среднее давление:

$$q = \frac{G_a}{2 \cdot b \cdot L_i}$$

$k$  – коэффициент динамичности, зависящий в основном от типа гусеницы и скорости движения; он изменяется в пределах: для гусениц с ОМШ 2,8-3,6; для гусениц с РМШ; 2,3-2,8; для гусениц с повышенной обратной жесткостью 1,5-2,4;  $G_A$  – вес машины(Н);  $b$  – ширина гусеницы (м), размер  $L_i$ (м) соответствует базе машины.

Будем считать, что к каждой гусенице приложена сила сопротивления прямолинейному движению  $f \cdot G_A/2$ , где  $G_A$  – вес транспортного средства и поперечные силы  $S$ , препятствующие повороту и образующие момент сопротивления повороту  $M_c$ . На корпус машины со стороны гидроцилиндров действуют силы  $F_{гц1}$  и  $F_{гц2}$ . Предположим также, что распределение давления по длине и ширине гусениц равномерное.

Для определения момента сопротивления повороту  $M_c$  в общем случае с учетом ширины гусениц выделим элементарную площадку на опорной плоскости со сторонами  $dx$  и  $dy$ . Тогда элементарная касательная сила, действующая на эту площадку со стороны грунта [6]:

$$dS = \varphi_y \cdot q \cdot dx \cdot dy \quad (2)$$

а момент сопротивления повороту:

$$M_{c=4} = 4 \cdot \int_0^b dy \int_0^{\frac{L}{2}} \varphi_y \cdot q \cdot x \cdot dx \quad (3)$$

Учитывая формулу (1), получим после интегрирования

$$M_c = \frac{\varphi_y \cdot G_A \cdot L}{4} \quad (4)$$

Момент сопротивления для ведущего звена:

$$M_{c1} = \frac{\varphi_y \cdot G_{a1} \cdot L_1}{4} = \frac{1 \cdot 57000 \cdot 2,5}{4} = 35625 \text{ Н}$$

Момент сопротивления для ведомого звена:

$$M_{c2} = \frac{\varphi_y \cdot G_{a1} \cdot L_2}{4} = \frac{1 \cdot 50000 \cdot 2,5}{4} = 31250 \text{ Н}$$

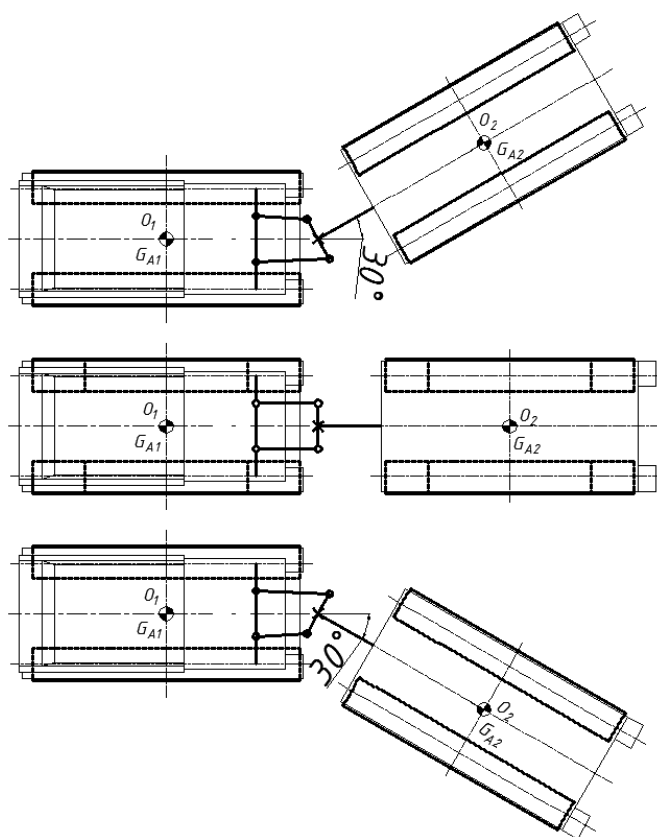


Рис. 3. Максимальные углы складывания в горизонтальной плоскости  
 Расставим силы, действующие на гусеничную машину при повороте.

Со стороны дороги на звенья гусеничной машины действуют:

1. Момент сопротивления повороту  $M_c$ , направленный против вращения звена.
2. На каждую из гусениц действует сила сопротивления качению, создавая пару сил, направленную в ту же сторону, что и момент сопротивления повороту.

Также на корпус звена действуют силы со стороны гидроцилиндров.

Если рассматривать вместе два звена гусеничной машины, то силы, действующие со стороны гидроцилиндров на звенья машины, являются внутренними.

В таком случае будем рассматривать поворот звеньев машины отдельно, т. е. при рассмотрении поворота ведущего звена заменим ведомое звено силами, действующими на гидроцилиндры. Аналогично для ведомого звена.

На рис. 5 и 6 показаны кинематические схемы поворота ведущего и ведомого звеньев гусеничной машины.

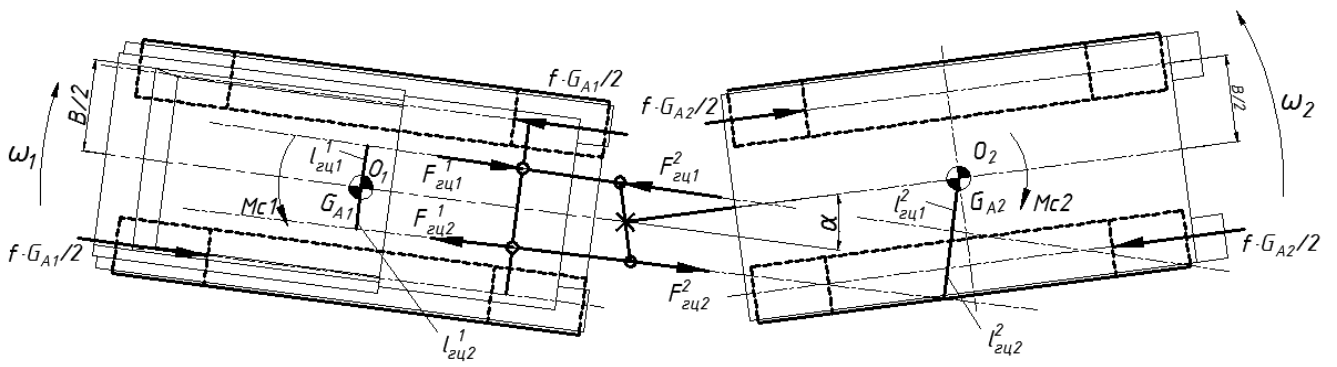


Рис. 4. Силы, действующие на звенья машины при складывании в горизонтальной плоскости

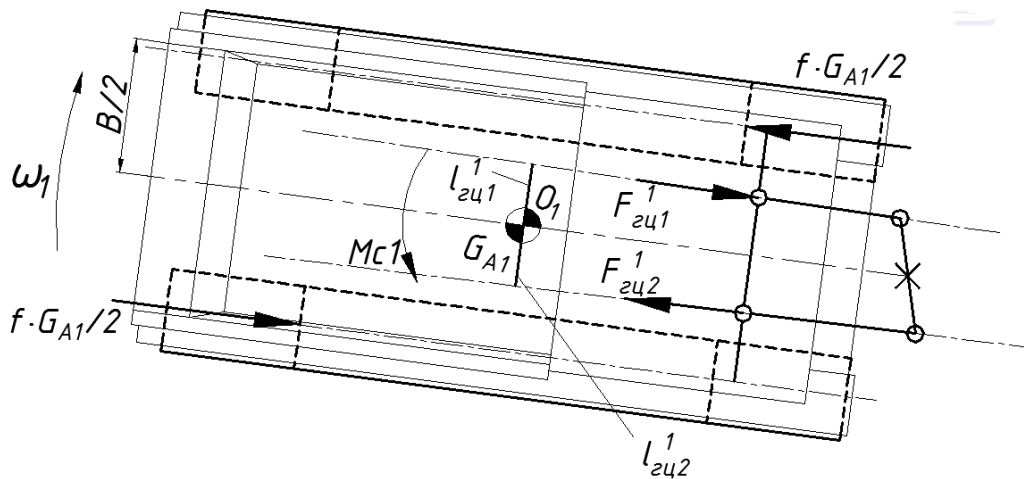


Рис. 5. Поворот ведущего звена сочлененной машины

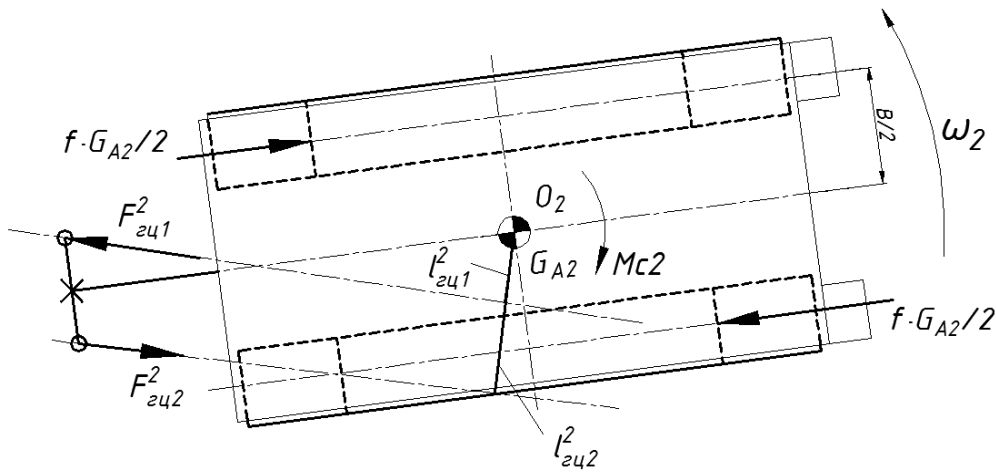


Рис. 6. Поворот ведомого звена сочлененной машины

Чтобы определить силы, действующие в гидроцилиндрах, рассмотрим равновесие ведущего звена гусеничной машины под действием сил сопротивления повороту относительно центра масс звена.

Уравнение моментов, относительно центра масс ведущего звена

$$Mc1 + 2 \cdot \frac{f \cdot G_{A1}}{2} \cdot \frac{B}{2} = F_1 \cdot l_{гц1}^1 + F_2 \cdot l_{гц2}^1, \quad (5)$$

Т.к.  $F_1=F_2=F$  получим:

$$M c_1 + 2 \cdot \frac{f \cdot G_{A1}}{2} \cdot \frac{B}{2} = F \cdot l_{гц1}^1 + F \cdot l_{гц2}^1$$
$$F \cdot (l_{гц1}^1 + l_{гц2}^1) = M c_1 + \frac{f \cdot G_{A1} \cdot B}{2}$$
$$F = \frac{(M c_1 + \frac{f \cdot G_{A1} \cdot B}{2})}{(l_{гц1}^1 + l_{гц2}^1)}, \quad (6)$$

В формуле (5) направление действия сил  $F_1$  и  $F_2$ , а также плечи сил  $l_{гц1}^1$  и  $l_{гц2}^1$  получены путем геометрических построений.

При различных углах между звеньями машины линии действия сил относительно центра масс будет непрерывно меняться, соответственно и плечи сил будут меняться.

Таким образом, будет наблюдаться зависимость силы в гидроцилиндре от угла складывания звеньев в горизонтальной плоскости.

Аналогичная процедура поведена и для ведомого звена.

После проведения расчета сил действующих на звенья гусеничной машины при углах от нуля до 30 градусов были получены графики зависимости силы на гидроцилиндрах в зависимости от угла складывания звеньев машины.

Данные силы получены при условии, что звенья сочлененной гусеничной машины поворачиваются отдельно, т.е. получены силы, которые при данном угле складывания могут преодолеть момент сопротивления повороту звена гусеничной машины.

Если рассматривать сочлененное транспортное средство, то одно звено поворачивается относительно другого, т.е. для осуществления складывания необходимо приложить к гидроцилиндру такую силу, чтобы повернулось одно из звеньев.

Другими словами, для складывания на определенный угол (от 0° до 30°) необходимо приложить к гидроцилиндру минимальную из двух полученных сил (для данного угла складывания) для ведущего и ведомого звена.

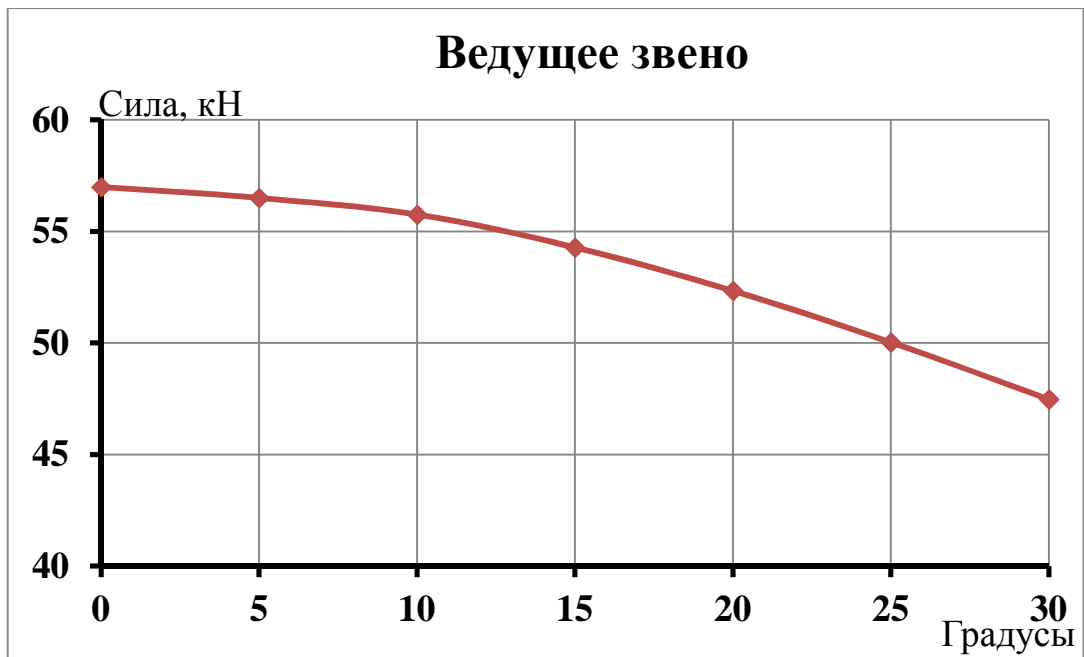


Рис. 7. График зависимости силы на гидроцилиндре от угла складывания ведущего звена



Рис. 8. График зависимости силы на гидроцилиндре от угла складывания ведомого звена

Проведен кинематический и силовой анализ, позволяющий определить силы, возникающие при повороте, необходимые для расчета подвижности [9], проходимости [7, 8] и поворачиваемости (маневренности) гусеничных двухзвенных гусеничных машин, а также для определения нагруженности их конструкции.

## Список литературы

1. Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дис. ... д-ра тех. наук: 05.05.03. – Нижний Новгород, 1999. – 485 с.
2. Беляков, В.В. Концепция подвижности наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 3. – С. 145–174.
3. Беляков, В.В. Подвижность наземных транспортно-технологических машин / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4. – С. 72-77.
4. Беляков, В.В. Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков, У.Ш. Вахидов, Д.А. Галкин, А.С. Зайцев, Е.М. Кудряшов, В.С. Макаров // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2012. – № 1. – С. 143-151.
5. Галкин, Д.А. Влияние параметров шин на подвижность многоосных колесных машин / Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: [www.science-education.ru/106-7882](http://www.science-education.ru/106-7882) (дата обращения: 24.12.2012).
6. Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. – М.: Машиностроение, 1975. – 448 с.
7. Зезюлин Д.В. Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. – 218 с.
8. Макаров В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.
9. Макаров В.С. Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2013. – № 1. – С. 155-160.
10. Снегоходные машины / Л.В. Барахтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.

### Рецензенты:

Беляков В.В., д.т.н., профессор кафедры «Автомобили и тракторы» «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.

Молев Ю.И., д.т.н., профессор кафедры «Строительные и дорожные машины» «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород.