

УДК 629.113

В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, В.В. Беляков

## ФОРМИРОВАНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЛАНДШАФТА МЕСТНОСТИ И ОЦЕНКА ПОДВИЖНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН В ТЕЧЕНИЕ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

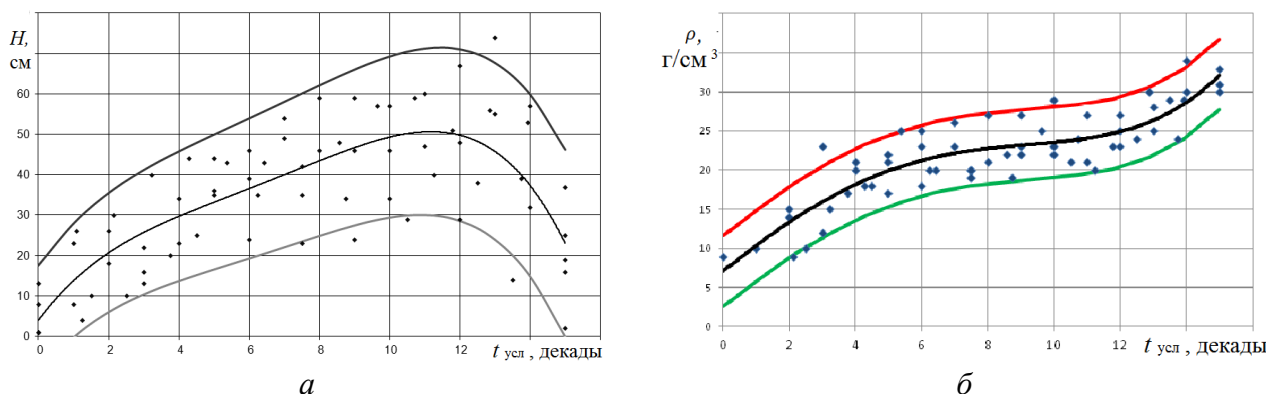
Дано определение подвижности транспортно-технологических машин. Рассматривается частная задача подвижности - проходимость машины в зимний период. Приведена математическая модель изменения характеристик снежного покрова в течение зимнего периода. Даны коэффициенты, учитывающие особенности ландшафта на глубину снега, определяемые его характером, растительностью, ветром, солнечной активностью и прочими факторами. Приводятся графики изменения глубины и плотности снега для снежной целины и леса. Проанализировано изменение силы сопротивления, силы тяги и запаса силы тяги в зависимости от времени. Также показано влияние ландшафта на эти параметры. Делается вывод о времени потери проходимости машины в течение зимнего периода и как следствие простоя транспортного средства. Исследования проведены при поддержке грантов Президента РФ.

*Ключевые слова:* подвижность, статистические характеристики, снег, ландшафт.

Одним из важнейших свойств, характеризующих транспортные средства, является подвижность. *Подвижность* – это интегральное эксплуатационное свойство транспортно-технологических машин (ТТМ), определяющее способность ТТМ выполнять поставленную задачу с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины. Можно выделить потерю подвижности по живучести и мобильности.

*Живучесть (подвижность по живучести)* – это отказная надежность транспортного средства (ТС). *Мобильность (подвижность по мобильности)* – эксплуатационная надежность ТС. При этом *проходимость* – это эксплуатационное свойство, определяющее возможность движения автомобиля в ухудшенных дорожных условиях, по бездорожью, которая относится к критическим условиям подвижности машины по мобильности [1–5, 15].

Проходимость транспортных средств по снегу определяется как конструкцией самой машины, так и характеристиками опорного основания. При оценке проходимости по снегу определяющими факторами являются глубина и плотность снега. На основании [16, 17] можно получить данные по вероятностным характеристикам рассматриваемых параметров.



**Рис. 1. Характеристики снежного покрова в зависимости от условной продолжительности зимнего периода по станции метеонаблюдения «Шахунья» Нижегородской области, полученные по результатам многолетних наблюдений:**  
а – глубина; б – плотность

Средние значения глубины снежного покрова определяются по зависимости

$$H = \sum_{i=0}^4 a_i t_{\text{усл}}^i,$$

где  $a_i$  – эмпирические коэффициенты;  $t_{\text{усл}}^i$  – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом.

Зависимости для определения границ 5 и 95% вероятностей глубин снежного покрова определяется по

$$H_{5(95)} = H \mp e^{0,5} \cdot \zeta \cdot \sigma,$$

где  $\zeta = 15^{-1}(e - 2)t_{\text{усл}} - 1$  – эмпирический коэффициент;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение для станции метеонаблюдения.

Средние значения плотности снежного покрова определяются по зависимости

$$\rho = \sum_{i=0}^4 b_i t_{\text{усл}}^i,$$

где  $b_i$  – эмпирические коэффициенты.

Зависимости для определения границ 5 и 95% вероятностей плотностей снежного покрова определяется по

$$\rho_{5(95)} = \rho \mp e^{0,5} \cdot \sigma,$$

где  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение для станции метеонаблюдения.

Сроки залегания установившегося снежного покрова можно принять  $14 \pm 2$  декады. Для связи реальных сроков залегания установившегося снежного покрова и условных предложена зависимость

$$t_{\text{усл}} = \frac{T_{\text{усл}}(t - 1)}{T - 1} + 1,$$

где  $t$  – текущая декада;  $T$  – число декад продолжительности залегания снежного покрова.

Однако для прогнозирования подвижности на местности необходимо создание математических моделей, учитывающих особенности ландшафта, так как зависимости на рис. 1 и рис. 2 даны для мерных участков, соответствующих ровным полям.

Для адекватности модели необходимо добавить соответствующие коэффициенты, учитывающие районирование:

$$\begin{aligned} H_{\text{действ}} &= H k_H^{\text{местн}}, \\ \rho_{\text{действ}} &= \rho k_\rho^{\text{местн}}, \end{aligned}$$

где  $H_{\text{действ}}$ ,  $\rho_{\text{действ}}$  – глубина и плотность снега с учетом особенностей ландшафта;  $k_H^{\text{местн}}$ ,  $k_\rho^{\text{местн}}$  – коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на глубину и плотность снега, полученные на основании экспериментальных данных.

Изменение параметров глубины и плотности снега связано с характером ландшафта местности, растительностью, ветром, солнечной активностью и прочими факторами

На основании исследований, проведенных авторами работы, а также [18] можно выделить некоторые характерные участки, на которых формирование снега происходит с учетом предложенных зависимостей и поправочных коэффициентов.

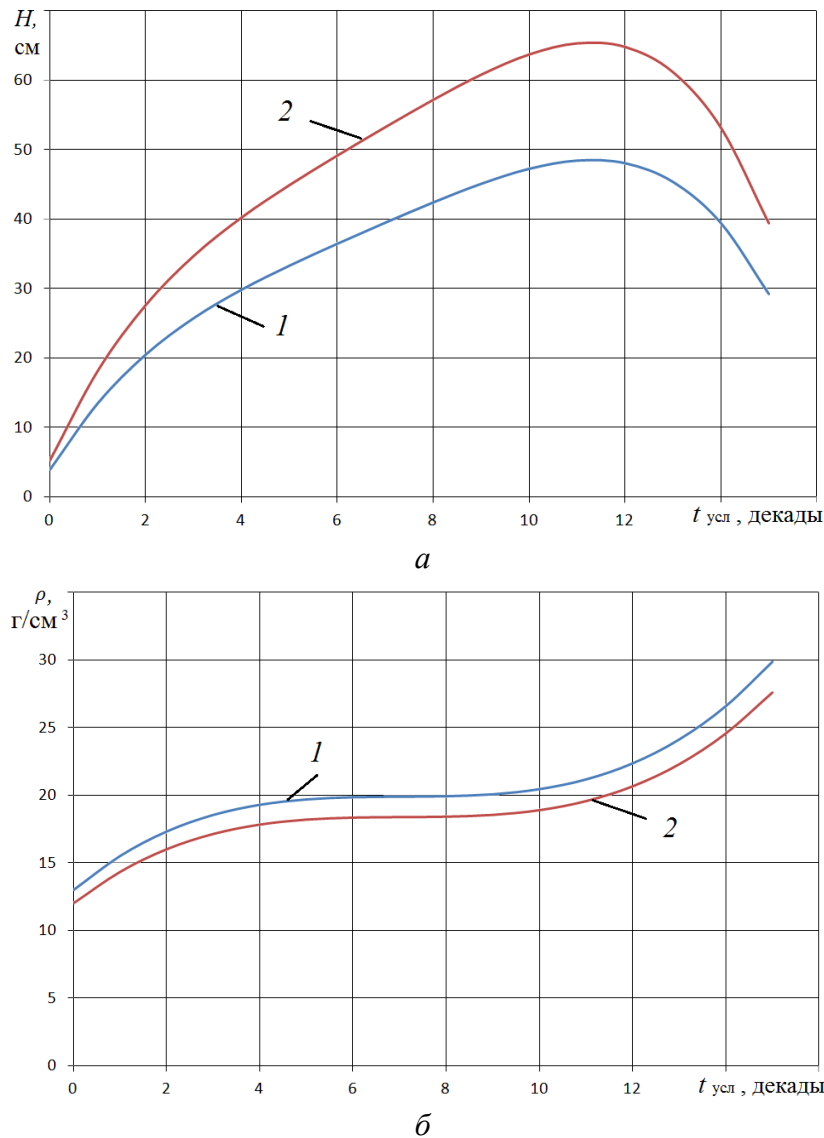
В работе [18] приводятся следующие данные о влиянии ландшафта на глубину залегания снежного покрова (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты, учитывающие влияние ландшафта на глубину снега

| Тип ландшафта                                  | Коэффициент |
|--|-------------|
| Целина   | 1           |
| Открытая ледяная поверхность озер              | 0,4-0,5     |
| Пашня  | 0,9         |
| Холмистые районы                               | 1,2         |
| Крупные лесные массивы                         | 1,3-1,4     |
| Речные русла                                   | 3           |
| Заросли камыша на озерах                       | 3           |
| Лесные колки шириной 100-200 м и лесные опушки | 3,2-3,4     |

Однако данные, приведенные в этом исследовании, показывают только изменение глубины снежного покрова. Как показали исследования авторов, для характерных участков плотность снега также меняется, например, для снежных покровов лесов (исключая лесные опушки и узкие лесополосы) значения предлагаемых коэффициентов равны:  $k_H^{\text{местн}} = 1,3 - 1,4$ ;  $k_\rho^{\text{местн}} = 0,85 - 1$ .



**Рис. 2. Пример влияния ландшафта на характеристики снежного покрова в зависимости от условной продолжительности зимнего периода для целины (1) и леса (2):**  
*a* – глубина; *б* – плотность

Полученные данные позволяют спрогнозировать характеристики снежного покрова с учетом особенностей ландшафта и характеристик дорожно-грунтового основания [6, 8, 10], необходимые при оценке подвижности движения колесных машин по снегу.

Значения прочих параметров, необходимых для оценки подвижность ТТМ по снегу, могут быть найдены по зависимостям из работ [12, 14].

Для того чтобы наглядно оценить возможность движения ТТМ в течение зимы, воспользуемся критерием запаса силы тяги в зависимости от времени.

$$\Delta F_\varphi = F_\varphi - F_f,$$

где  $F_\varphi$  - сила тяги, развиваемая ТТМ;  $F_f$  - сопротивление движению.

Сопротивление движению при передвижении колесной машины по снегу включает в себя следующие составляющие [7, 9, 11, 13]:

$$F_f = F_{f_c} + F_{f_{бэб}} + F_{f_{эб}} + F_{f_{фг}} + F_{f_{дн}} + F_{f_{кр}} + F_{f_{\alpha}} + F_{f_w},$$

где  $F_{f_c}$  - сила сопротивления, обусловленная деформацией снежного полотна пути колесом машины;  $F_{f_{бэб}}$  - приведенная сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов с внешней стороны колеса;  $F_{f_{эб}}$  - сила сопротивления от экскавационно-бульдозерных эффектов;  $F_{f_{фг}}$  - сила сопротивления движению от фрезерования настовой корки и внутримассивных ледяных прослоек;  $F_{f_{дн}}$  - сила сопротивления, возникающая при погружении движителя, превышающем дорожный просвет;  $F_{f_{кр}}$  - сила сопротивления движению от крюковой нагрузки;  $F_{f_{\alpha}}$  - сила сопротивления разгону,  $F_{f_w}$  - сила сопротивления воздуха.

Построим зависимости силы тяги, силы сопротивления и запаса силы тяги на основании средних значений глубины и плотности снежного покрова, меняющихся в течение зимнего периода с установившимся снежным покровом.

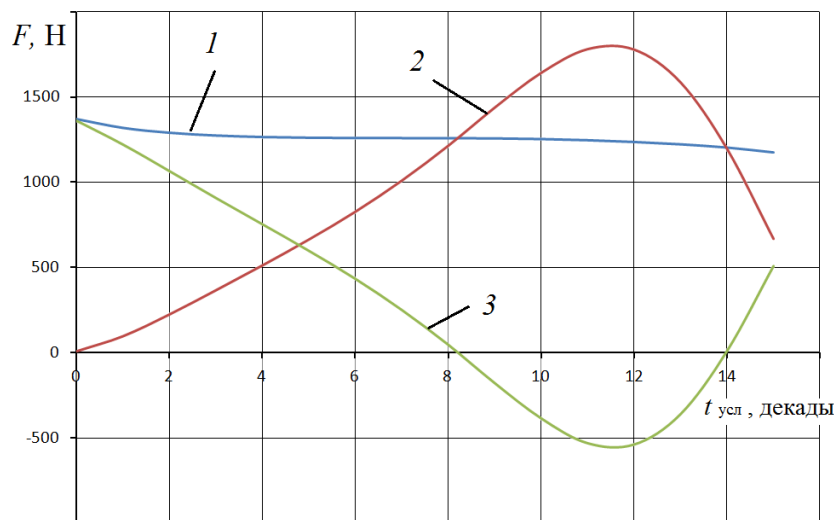


Рис. 3. Изменение силы тяги (1), силы сопротивления (2) и запаса силы тяги (3) в зависимости от условной продолжительности зимнего периода

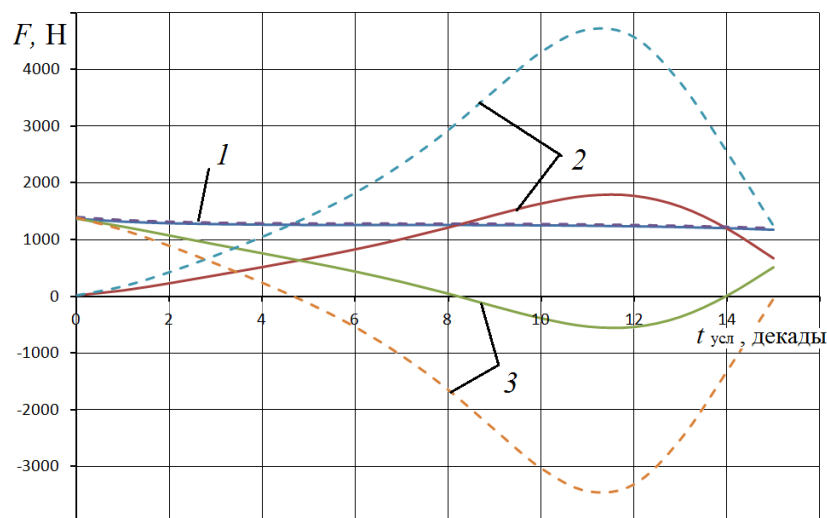


Рис. 3. Влияние ландшафта (пунктирная линия) на силу тяги (1), силу сопротивления (2) и запас силы тяги (3) в зависимости от условной продолжительности зимнего периода

По зависимостям на рис. 3 можно судить о времени, когда ТТМ теряет свою проходимость в течение зимнего периода. Приведенные графики характерны для движения по снежной целине. Рассмотрим, как влияет характер ландшафта на подвижность машины.

На приведенных графиках показаны зависимости для снежной целины (линия) и леса (пунктир). Таким образом, можно оценить не просто подвижность и проходимость ТТМ по снегу, а учесть характер распределения снежного покрова в течение зимы, а также специфику влияния ландшафта на эти параметры.

*Исследования проведены при поддержке грантов Президента РФ.*

#### Библиографический список

1. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментально-теоретические исследования опорной проходимости многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №3. С. 162–170.
2. **Барахтанов, Л.В.** Экспериментальные исследования поворота многоосных колесных машин / Л.В. Барахтанов [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. №4. С. 175–181.
3. **Беляков, В.В.** Оценка эффективности специальных транспортных средств при движении по снегу / В.В. Беляков [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2012. № 2 (95). С. 156–166.
4. **Беляков, В.В.** Подвижность специальных транспортных средств по дорогам типа «stone-road» / В.В. Беляков [и др.] // 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. [www.science-education.ru/106-7882](http://www.science-education.ru/106-7882) (дата обращения: 24.12.2012).
6. **Галкин, Д.А.** Математическая модель преодоления разрушаемого уступа многоосной колесной машиной/ Д.А. Галкин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 28-29.
7. **Гончаров, К.О.** Влияние экскавационно-бульдозерных эффектов возникающих при криволинейном движении колеса на сопротивление качению / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2010 № 6. С. 3–3.
8. **Гончаров, К.О.** Проведение замеров микропрофиля поверхности движения типа ровное поле/ К.О.Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 29-30.
9. **Гончаров, К.О.** Экспериментальные исследования многоосной колесной машины / К.О. Гончаров, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2010. № 12. С. 10-10.
10. **Зайцев, А.С.** Математическая модель преодоления рва многоосной колесной машиной / А.С. Зайцев [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 39-40.
11. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. № 5. [www.science-education.ru/105-6927](http://www.science-education.ru/105-6927) (дата обращения: 17.09.2012).
12. **Зезюлин, Д.В.** Разработка методики выбора конструкционных параметров движителей, обеспечивающих эффективность движения колесных машин по снегу: дисс... канд. техн. наук / Зезюлин Д.В. 05.05.03. – Н. Новгород, 2013. –218 с.
13. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снежному полотну пути / Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Леса России и хозяйство в них. 2012. Т. 1-2. № 42-43. С. 41-42.
14. **Макаров, В.С.** Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: дисс... канд. техн. наук / Макаров В.С.: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. –161 с.
15. **Макаров, В.С.** Определение характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин / В.С. Макаров [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5. <http://www.science-education.ru/105-7111> (дата обращения: 05.10.2012).
16. **Макаров, В.С.** Статистический анализ характеристик снежного покрова / Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289> (дата обращения: 05.02.2013).

- 17 **Макаров, В.С.** Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2013. №1. С. 150–1571.
- 18 Снег: справочник: [пер. с англ.] / под ред. Д. М. Грея, Д. Х. Мэйла. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 751 с.

*Дата поступления  
в редакцию 05.02.2013*

**V.S. Makarov, D.V. Zezyulin, A.M. Belyaev, A.V.Papunin, V.V. Belyakov**

**FORMATION OF SNOW IN RELATION TO TERRAIN LANDSCAPE  
AND EVALUATION MOBILITY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL  
VEHICLE DURING THE WINTER PERIOD**

The Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev

**Subject/topic/purpose:** Experimental and theoretical studies of changes in the characteristics of the snow cover during the winter period.

**Methodology of work:** Assessing the impact of snow cover and terrain features on the mobility and permeability of transport and technological machines.

**Results/application:** Results are important for the activities of research laboratories and automotive companies involved in the development of wheeled transport and technological machines. Experimental and theoretical studies can be used to predict the mobility and permeability of the vehicle, with the possibility of his movement on snow-covered terrain.

**Findings:** It is concluded that the loss of time terrain vehicles during the winter and as a result of vehicle downtime.

*Key words:* mobility, statistical characteristics, snow, landscape.