

УДК 629.113

СНЕГ КАК ПОЛОТНО ПУТИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Макаров В.С., Зезюлин Д.В., Беляков В.В.

*Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
Нижний Новгород, e-mail: makvl2010@gmail.com*

В статье приведен аналитический обзор отечественных и зарубежных работ по исследованию снежного покрова как полотна пути для транспортных средств. На основании анализа результатов многолетних наблюдений за свойствами снега выявлено значительное изменение его характеристик во времени за последние годы. Таким образом, в существующих работах по исследованию свойств снежного покрова используются устаревшие результаты статистических исследований. В данной работе приведены соответствующие современному состоянию математические зависимости, демонстрирующие изменения среднестатистических характеристик высоты и плотности снега. Представлены формулы жесткости, связности и угла внутреннего трения снега в зависимости от его плотности. Показаны изменения средних значений этих характеристик в зависимости от времени. Данные параметры используются при определении сил сопротивления движению машины и силы тяги по сцеплению движителя с опорной поверхностью.

Ключевые слова: снег, статистические характеристики, глубина и плотность, транспортное снеговедение

SNOW AS SURFACE OF MOVEMENT FOR VEHICLES

Makarov V.S., Zezyulin D.V., Belyakov V.V.

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod,
e-mail: makvl2010@gmail.com*

The paper presents an analytical overview of the domestic and foreign studies on snow as a support surface for vehicles. Significant change of snow characteristics versus time in the recent years was detected on the basis results of the analysis of long-term observations of snow properties. Thus, the existing publications on snow properties offer outdated statistical findings. In this paper contains actual mathematical relationships demonstrating the changes of the average statistical characteristics of snow (height and density). Formulas of snow stiffness, snow connectivity and the angle of internal friction depending on its density were introduced. Changes of the averages values for these characteristics versus time were shown. These parameters are used when determining motion resistance forces and traction force of all-terrain vehicles.

Keywords: snow, statistical characteristics, height and density, vehicles

Рассмотрим работы, которые были посвящены исследованию снежного покрова, как полотна пути для транспортных средств.

Одной из выдающихся работ по исследованию свойств снега является книга Г.Д. Рихтера [8]. В этой работе рассмотрены особенности формирования снега, а также районирование территории стран бывшего СССР по характеру снежного покрова. В основу районирования положены два показателя: максимальная толщина снежного покрова и продолжительность многоснежного периода. За максимальную толщину принята наибольшая среднедекадная толщина снежного покрова, взятая из выборки многолетних средних величин по каждой из метеостанций [10]. Также в этой работе приводятся различные классификации снега, причем превалирует качественное описание видов снега, в основном, по внешним признакам (структуре) и плотности.

Значительный интерес представляет работа, выполненная под редакцией Д.М. Грея и Д.Х. Мэйла [9]. Авторы также описывают особенности формирования и представляют классификацию снежного покрова. Однако снег в рамках данной работы классифицируется не только по внеш-

ним (структурным) признакам, но и как полотно пути для транспортных средств. Раскрываются особенности формирования в различных условиях движения, приводятся данные о влиянии ландшафта на глубину залегания снежного покрова.

Ведущее место в области транспортно-снеговедения и исследований характеристик снежного покрова в России занимает Отраслевая научно-исследовательская лаборатория вездеходных машин (ОНИЛВМ). Актуальное название лаборатории ОНИЛВМ – НИЛ Транспортных машин и транспортно-технологических комплексов (НИЛ ТМ ТТК). В работах основателя лаборатории С.В. Рукавишникова и его учеников [10] снег исключительно рассматривается как полотно пути для транспортно-технологических машин. В основу классификации положена способность снега к различным видам деформации движителями. Определяющий вклад в описание данных характеристик снега внесли исследователи Малыгин В.А. и Панов В.И.

Зарубежная научная школа объединяет исследователей из Лаборатории исследования полярных районов (CRREL) США. Необходимо отметить историческое сходство

характера проведения исследований лабораторий CRREL и ОНИЛВМ. Однако у отечественных разработок акцент сделан на фундаментальность математических моделей и проектирование конечной продукции. Зарубежный подход отличается использованием более простых математических зависимостей при оперативной оценке свойств снега и чрезмерная склонность к созданию сложных виртуальных моделей при оценке проезжаемости конкретных территорий местности.

Несмотря на имеющиеся расхождения между методологиями транспортного снеговедения, исследователями разных стран в качестве основных параметров снега как полотна пути используются его глубина и плотность. Зная статистические характеристики снега: плотность и глубину залегания в течение года, а также продолжительность и сроки начала сезона в разных районах рассматриваемой территории, можно получить все необходимые параметры для оценки эффективности функционирования машин.

Необходимо особенно подчеркнуть, что конкретные рекомендации зарубежных исследователей и необходимые данные для моделирования снежного покрова являются закрытой информацией и практически не публикуются в открытой печати. А в большинстве отечественных работ при формировании вероятностной модели изменения характеристик снежного покрова во времени используются недостаточно обоснованные либо устаревшие результаты статистических исследований.

Рассмотрим более подробно особенности формирования снежного покрова на территории России. На основании данных Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ) [2] проанализируем тенденции и особенности формирования снежного покрова в России за последние годы. При этом особое внимание уделим факторам, определяющим подвижность транспортно-технологических машин.

Появление снега колеблется по разным годам и достаточно часто мало отличается от средних по многолетним наблюдениям. Однако в отдельных регионах могут наблюдаться тенденции к существенному смещению сроков. Кроме того, за последние десятилетия даты появления первого снега на территории России колеблются в пределах 2-4 декад для всех регионов.

В период с 1976 по 2012 гг. на территории РФ преобладает тенденция к уменьшению продолжительности залегания снежного покрова (в северной половине ЕЧР,

в Западной Сибири, на Таймыре, на большей части Восточной Сибири и Якутии). В то же время на крайнем юге Восточной Сибири, в Забайкалье, Приморье и на восточном побережье Камчатки тенденция противоположная (продолжительность залегания снежного покрова увеличивается) [2].

В период с 1976 по 2012 гг. на севере Западной и на значительной части Восточной Сибири, на побережье Охотского моря и юге Дальнего Востока, в центральных областях Европейской территории преобладает тенденция к увеличению максимальной за зимний период высоты снежного покрова. Однако в центре Западной Сибири максимальная высота уменьшается [2].

Таким образом, изменения природно-климатических условий России в последние годы привело к изменению во времени характеристик снега. На примере Нижегородской области более подробно рассмотрим, как изменяются характеристики снега.

На основании наблюдений 2006-2012 гг. (по данным Гидрометеоцентра по Нижегородской области) были получены зависимости изменения глубины и плотности снежного покрова в течение зимнего периода [6, 7].

В общем виде средние значения высоты снежного покрова находятся по зависимости:

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

где a_i – эмпирические коэффициенты, $t_{\text{усл}}$ – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом в декадах.

Для удобства использования этих зависимостей целесообразно изменения высоты снега в течение зимнего периода рассчитывать по следующей зависимости:

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

где $H_{\text{max}}^{\text{cp}}$ – средняя максимальная высота снега за период в см, a_i^H – эмпирические коэффициенты.

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

$$H_{5(95)} = H \mp e^{0.5} \zeta \sigma_H,$$

$$\zeta = T_{\text{усл}}^{-1} (e - 2) t_{\text{усл}} + 1,$$

где ζ – эмпирический коэффициент, σ_H – среднее квадратичное отклонение для наблюдаемой территории, $T_{\text{усл}}$ – условная

продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом.

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:

$$\rho_{5(95)} = \rho \mp e^{0.5} \sigma_{\rho},$$

где σ_{ρ} – среднеквадратичное отклонение для рассматриваемой территории.

Для связи реальных сроков залегания установившегося снежного покрова и условных предложена зависимость:

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

где t – текущая декада и T – число декад, продолжительности залегания снежного покрова.

Необходимо отметить, что соотношение высоты и плотности может быть различным, поэтому целесообразно рассматривать все возможные варианты.

Таким образом, разработаны математические модели, описывающие распределе-

ние снежного покрова и его характеристики на территории Нижегородской области [4].

Для оценки проходимости и подвижности транспортно-технологических машин по снегу помимо высоты и плотности снега нужно знать как минимум значения жесткости $K_{\text{ж}}$, связности c и угла внутреннего трения φ снега, входящие в формулы для определения сил сопротивления и сцепления [1, 10]. В соответствии с работой [1] обобщающие зависимости для определения этих показателей в зависимости от продолжительности залегания снежного покрова будут выглядеть следующим образом:

$$K_{\text{ж}}(t_{\text{усл}}) = e^{\sum_{j=0}^s [b_j \rho(t_{\text{усл}})^j]},$$

$$c(t_{\text{усл}}) = e^{\sum_{j=0}^s [c_j \rho(t_{\text{усл}})^j]},$$

$$\varphi(t_{\text{усл}}) = \sum_{j=0}^s [d_j \rho(t_{\text{усл}})^j],$$

где b_j, c_j, d_j – эмпирические коэффициенты [1].

Зная характер изменения плотности снега в течение зимнего периода, можно оценить изменения жесткости, связности и угла внутреннего трения.

Связность снега

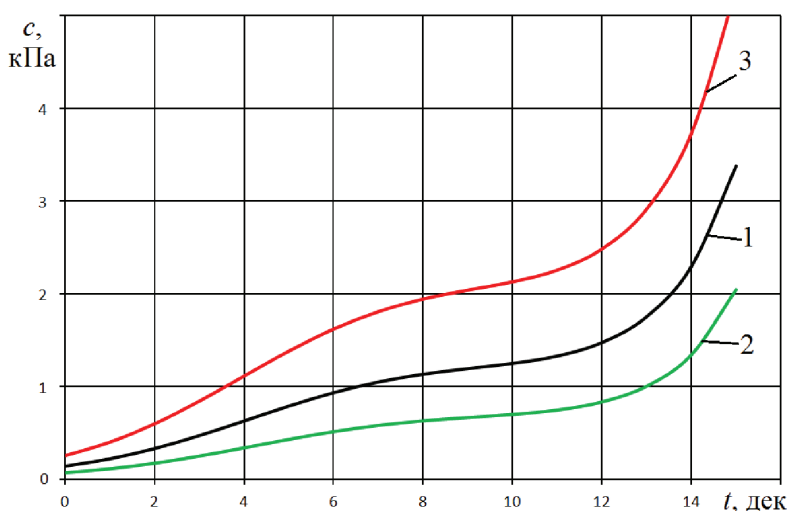


Рис. 1. Зависимость изменения коэффициента жесткости снега от времени (декады)

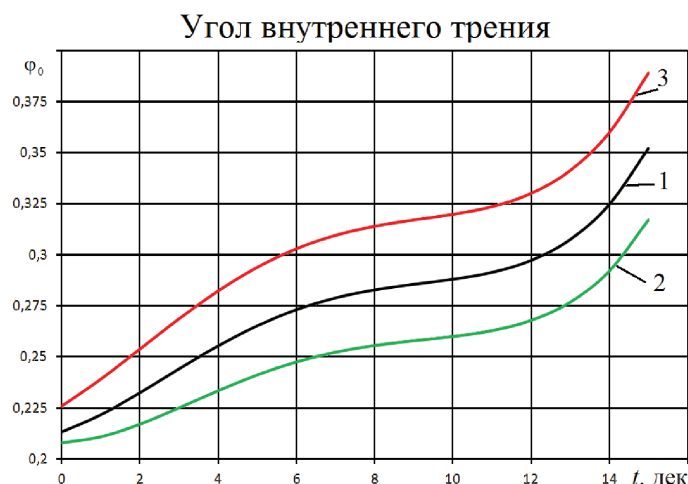


Рис. 2. Зависимость изменения связности снега от времени (декады)

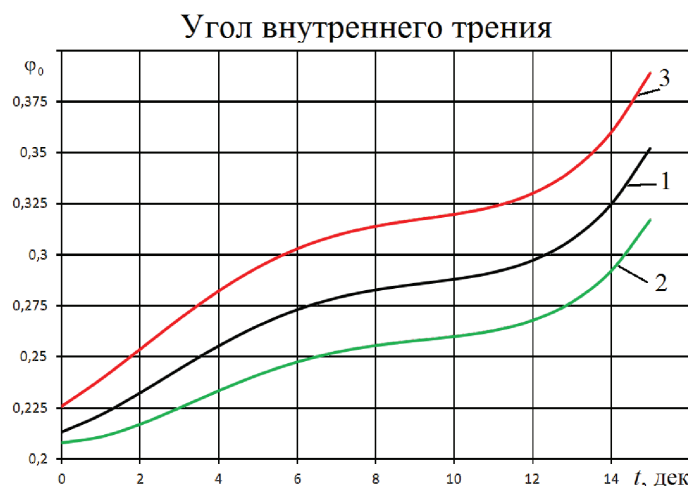


Рис. 3. Зависимость изменения угла внутреннего трения снега от времени (декады)

На рис. 1-3 показаны кривые: 1, 2, 3 – значения соответствующие 50%, 5% и 95% вероятностям возникновения.

Используя приведенные в статье формулы, а также математические зависимости по определению проходимости транспортно-технологических машин [1, 3, 5, 10], можно оценить целесообразность их использования на местности в определенный период времени.

Исследование проведено при поддержке «грантов Президента РФ» № 14.124.13.1869-МК.

Список литературы

1. Беляков В.В. Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств. Дис. ... д-ра техн. наук. 05.05.03. – Н. Новгород, 1999. – 485 с.
2. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2012 году. / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РОСГИДРОМЕТ). – М., 2013. – 86 с.
3. Макаров В.С. Методика расчета и оценка проходимости колесных машин при криволинейном движении по снегу: Дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Н. Новгород, 2009. – 161 с.

4. Макаров В.С. Многоуровневая модель снега как полотна пути для транспортно-технологических машин на примере территории Российской Федерации / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 10 – с. 270-276.

5. Макаров В.С. Оценка эффективности движения колесных машин на основании статистических характеристик снежного покрова / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. Гончаров, А.В. Федоренко, В.В. Беляков // *Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева*. – 2013. – № 1 – С. 155-160.

6. Макаров В.С. Статистический анализ характеристик снежного покрова / *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 1; URL: <http://www.science-education.ru/107-8289>.

7. Макаров В.С. Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, А.М. Беляев, А.В. Папунин, В.В. Беляков // *Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева*. – 2013. – № 2 – С. 150-157.

8. Рихтер Г.Д. Снежный покров, его формирование и свойства. – М.: Изд-во АН СССР, 1945. – 120 с.

9. Снег: Справочник / Под ред. Д.М. Грея, Д.Х. Мэйла; пер. с англ. под ред. В.М. Котлякова. – Л.: Гидрометеозидат, 1986. – 751 с.

10. Снегоходные машины / Л.В. Бархтанов, В.И. Ершов, С.В. Рукавишников, А.П. Куляшов. – Горький: Волго-Вятское кн. изд-во, 1986. – 191 с.