

УДК 629.113

В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.Е. Колотилин, В.С. Макаров, А.В. Федоренко

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СНЕЖНОГО ПОКРОВА КАК ПОЛОТНА ПУТИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

В статье проанализирован характер изменения высоты снежного покрова в разные годы. Приведена классификация характерных зон изменения высоты снега. Проанализированы многолетние экспериментальные данные с точки зрения рассмотрения снега как полотна пути для транспортно-технологических машин. Приведены аналитические зависимости изменения высоты снега и его плотности в течение зимы. Даны зависимости для определения жесткости, связности и угла внутреннего трения снега в зависимости от продолжительности залегания снежного покрова

Выведена оригинальная зависимость влияния влажности снега на его плотность. Проанализировано влияние влажности на основные параметры снега. Сделан вывод, что в рамках предложенных зависимостей изменения высоты, плотности, жесткости, связности и угла внутреннего трения от времени изменение влажности можно не учитывать, оно не превышает 12–13%.

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

Для составления математических моделей распределения снежного покрова в течение зимнего сезона необходимо знать результаты многолетних наблюдений [14]. Экспериментальные данные представлены в табличном виде. Массив содержит характеристики снежного покрова по данным маршрутных снегомерных съемок [4]. Наблюдения за снежным покровом по регламенту маршрутных снегомерных съемок осуществляются через каждые десять дней в течение холодного периода (каждые пять дней в период интенсивного снеготаяния).

В результате анализа таблиц наблюдений, могут быть получены графики с различным характером изменения высоты снежного покрова. Рассмотрим характерные примеры.

На рис. 1, а цифрами показаны характерные зоны изменения высоты снега: 1 – зона интенсивного нарастания, 2 – зона медленного нарастания, 3 – зона таяния. Данный график характерен для классической зимы, присущей территории Нижегородской области и большинству регионов России с ярко выраженными временами года.

Также может быть и другой характер изменения глубины, приведенный на рис. 1, б. На нем имеется дополнительное обозначение: зона «0» – нестабильного снежного покрова в начале зимы. Такая картина типична для ранней зимы с выпадением снега в конце октября – начале ноября, хотя может наблюдаться и в других временных рамках.

На рис. 1, в также имеется дополнительное обозначение: а именно зона «4» – нестабильного снежного покрова в конце зимнего периода, характерного для затянувшейся зимы. Такие участки типичны для конца апреля, хотя может наблюдаться и в других временных рамках.

Графики, приведенные на рис. 1, а–в характерны для большинства зим, у которых можно выделить зоны «1», «2» и «3», но может быть случай, когда участок 2 неявно выражен (рис. 1, г).

Анализ графиков на рис. 1 с точки зрения рассмотрения снега как полотна пути для транспортно-технологических машин, позволяет сделать выводы.

Все графики имеют место быть, но зоны 0 и 4 можно не учитывать, так как для составления единой статистической модели по результатам многолетних наблюдений они неудобны, а поскольку высоты снега в этих зонах незначительны, то это не повлияет на прохо-

димось и подвижность [2, 3, 5-9] транспортных средств. При этом необходимо из рассмотрения убрать временной участок характерный для зон 0 и 4.

Так как сроки выпадения, таяния и время лежания снега по годам различны, а для изменения высоты характерны ее рост и уменьшение, то целесообразно статистические модели целесообразно делать отличными от принятых в метеорологии и гляциологии: делать привязку к условной продолжительности зимнего периода, а на сроки начала и конца снежного периода также дать вероятностные значения.

Необходимо отметить, что нецелесообразно учитывать данные в конце участка 3, при малых значениях (так как это не повлияет на проходимость и подвижность транспортных средств) и высокой влажности (определяется по таблицам экспериментальных данных [4, 14]).

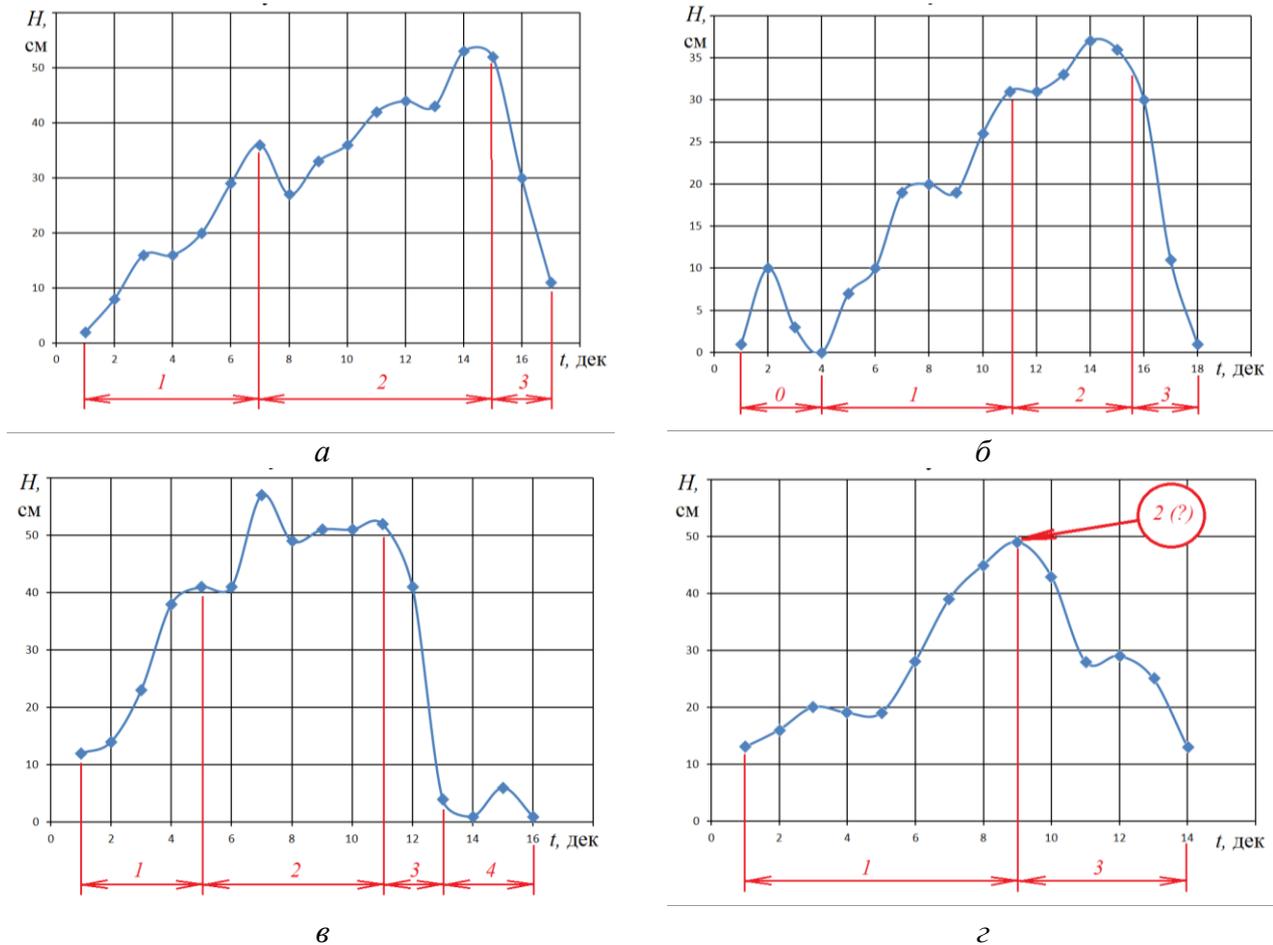


Рис. 1. Характерные примеры изменения высоты снега в течение зимнего периода

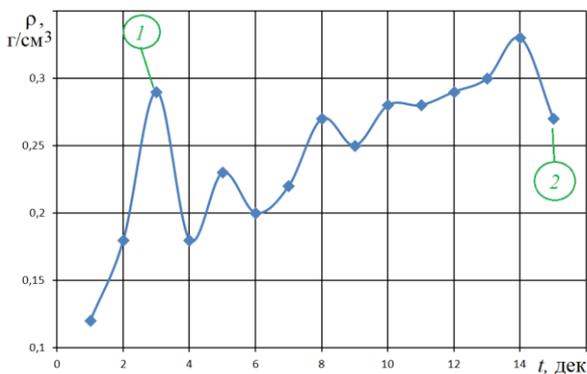


Рис. 2. Изменение плотности снега в течение зимнего периода

Аналогичные допущения позволяют также лучше оценить статистику по изменению плотности: всплески и падения плотности на участках 0 и 4.

На рис. 2 показано, как меняется плотность снега в течение зимнего периода, без учета допущений, которые были приняты ранее. Цифрами показаны зоны: 1 – резкое увеличение плотности, характерное при наличии зоны 0; 2 – резкое падение плотности для снега малой глубины и насыщенного водой.

Таким образом, можно получить аналитические зависимости изменения высоты снега и его плотности в течение зимы [10-13], необходимые при оценке проходимости машин:

$$H = H_{\max}^{\text{cp}} \sum_{i=0}^4 a_{Hi} t_{\text{усл}}^i, \quad \rho = \sum_{i=0}^4 b_i t_{\text{усл}}^i,$$

где H_{\max}^{cp} – средняя максимальная глубина снега за период; a_{Hi} , b_i – эмпирические коэффициенты; $t_{\text{усл}}$ – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом в декадах; i – степень аппроксимационной зависимости.

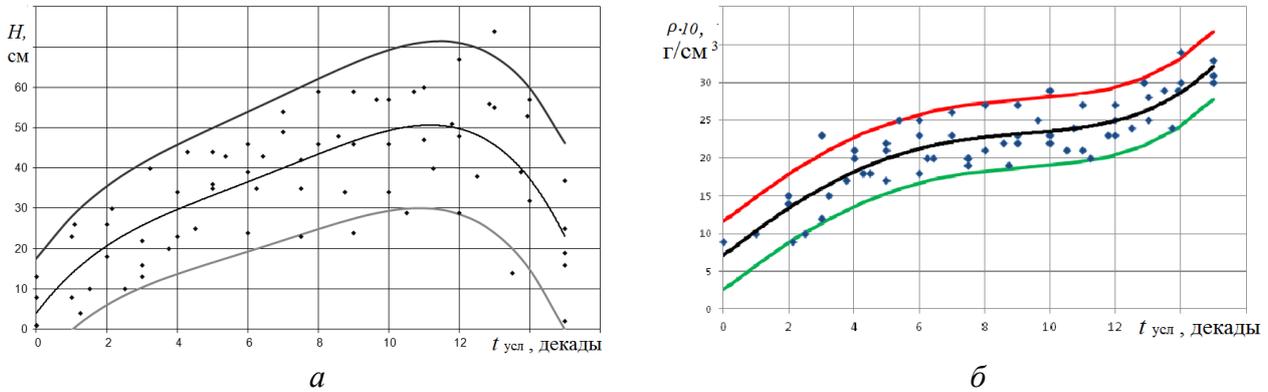


Рис. 3. Пример изменения характеристик снежного покрова в зависимости от условной продолжительности зимнего периода, полученные по результатам многолетних наблюдений:
a – глубина; *б* – плотность

Прогнозируемость транспортных средств определяется как конструкцией самой машины, так и характеристиками опорного основания. Необходимыми факторами достаточными для оценки проходимости и подвижности по снегу, являются его высота H , плотность ρ , жесткость $K_{\text{ж}}$, связность c и угол внутреннего трения φ [1, 5, 15].

В соответствии с [1, 5], обобщающие зависимости для определения жесткости $K_{\text{ж}}$, связности c и угла внутреннего трения φ снега 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, 5].

Зная, как меняется плотность снега в течение зимнего периода, покажем, как меняются жесткость, связность и угол внутреннего трения.

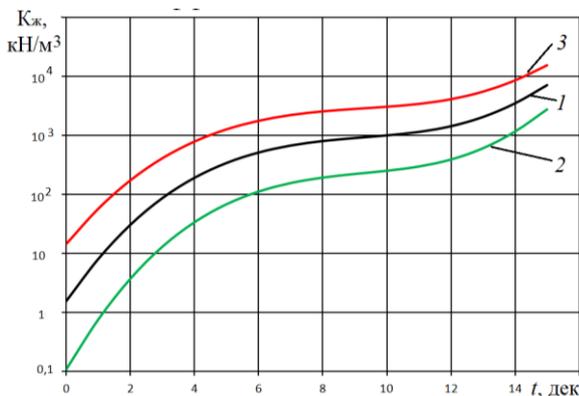


Рис. 4. Зависимость изменения коэффициента жесткости снега от времени (декады)

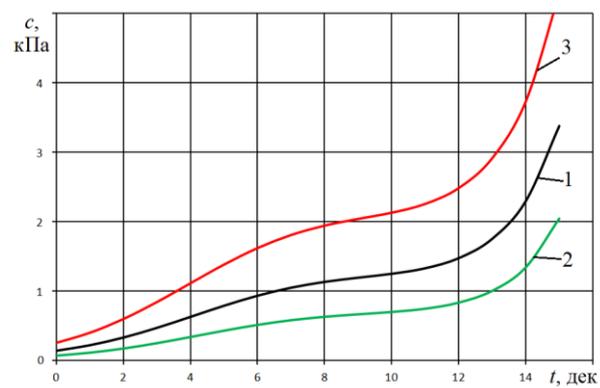


Рис. 5. Зависимость изменения связности снега от времени (декады)

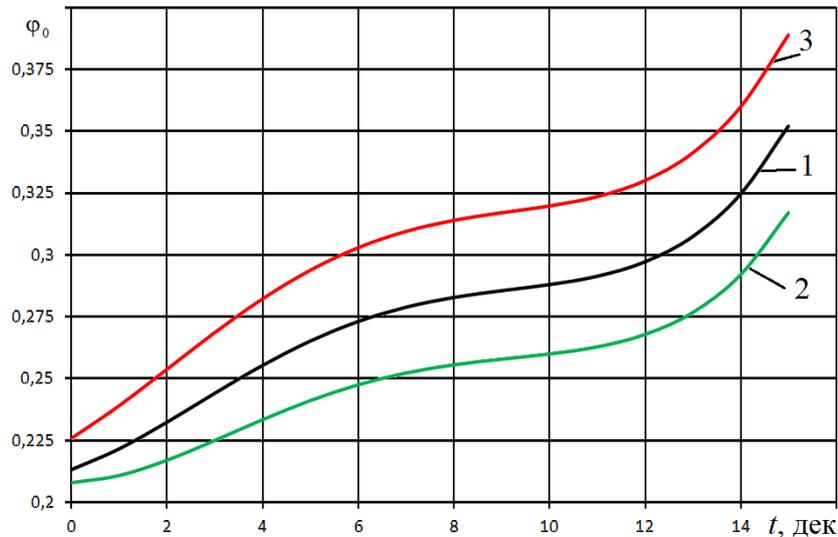


Рис. 6. Зависимость изменения угла внутреннего трения снега от времени (декады)

На рис. 4 – рис. 6 показаны кривые: 1, 2, 3 – значения, соответствующие 50%, 5% и 95% вероятностям возникновения.

Однако в период снеготаяния данные зависимости не в полной мере отражают действительность и требуют уточнения, так как на характеристики снега оказывает влияние вода содержащаяся в снеге. И все параметры зависят от влажности.

Как показали исследования, нарастание влажности в снеге происходит при среднесуточной положительной температуре. По графикам, отражающим статистические данные о глубине снега [10-13], началом снеготаяния является уменьшение глубины снега.

На основании [15] можно предложить зависимость изменения влажности снега в зависимости от плотности (рис. 7).

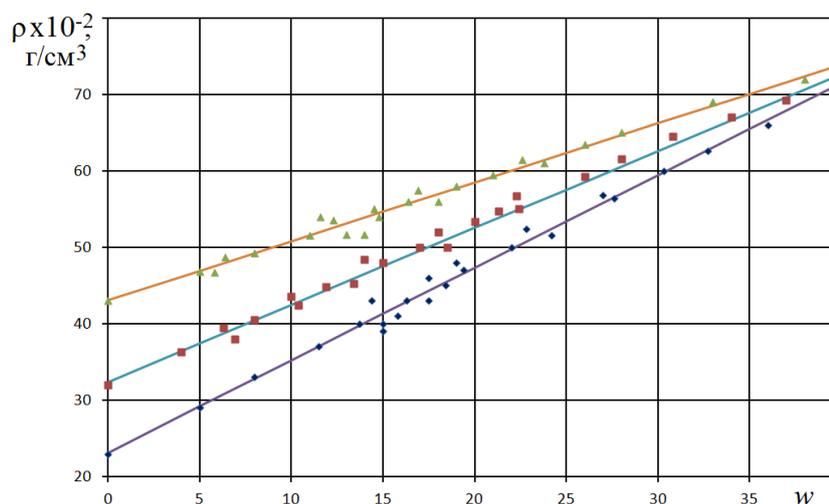


Рис. 7. Зависимость плотность от влажности:
точками показаны экспериментальные данные, линиями – теоретические

Приведенные зависимости хорошо описываются эмпирическими зависимостями:

$$\begin{aligned} \rho(w) &= K_w w + \rho(0), \\ w(\rho) &= (\rho - \rho(0)) K_w^{-1}, \\ K_w &= \sum_{i=0}^1 k_{\rho i} \rho(0)^i, \end{aligned}$$

где $\rho(w)$ – зависимость плотности от влажности (10^{-2} г/см³); $w(\rho)$ – зависимость влажность от плотности; $\rho(0)$ – плотность снега на момент начала таяния, при нулевой влажности (10^{-2} г/см³); K_w – коэффициент учета влажности (10^{-2} г/см³); $k_{\rho i}$ – коэффициенты учета влияния плотности на момент начала таяния; $k_{\rho 1} = -0,022$, $k_{\rho 0} = (e - 1)$ (10^{-2} г/см³); w – влажность.

Среднее квадратичное отклонение для предложенных зависимостей составляет 0,02 г/см³, относительная погрешность составляет не более 6,5 %.

В соответствии с приведенными зависимостями и зависимостями из работ [10-13], проанализируем, как меняется влажность в зависимости от условной продолжительности зимнего периода.

Анализ графиков влияния влажности на плотность, а также средних значений плотности в зависимости от условной продолжительности зимнего периода [10-13] показывает, что в рамках рассматриваемого периода рост влажности снега, исходя из условия соответствия нарастания плотности по линии, характерной для определенной постоянной вероятности, составляет порядка 8%. Но, в соответствии с анализом изменения плотности (по многолетним наблюдениям), было отмечено [10], что она может лежать в разных зонах вероятностей в соседних декадах. Принимая это во внимание, рост влажности при самом интенсивном таянии составляет порядка 13%. Отметим также, что дальнейшее увеличение влажности имеет место. Но это происходит в последнюю декаду, к концу которой он полностью тает и поэтому эти данные в статистику не входят.

Данные выводы также подтверждаются опытом эксплуатации вездеходной техники и многолетними исследованиями, проведенными в «Нижегородской научной школе» и констатирующими, что одну-две последних недели лежания снега являются полностью не проходными для большинства транспортных средств. Тем более, как показывает практика работы на грунтовых дорогах, в этот период нецелесообразно использование техники, так как дороги «разбиваются» (это связано с высокой влажностью грунтового основания).

Таким образом, можно сделать допущение о том, что в рамках предлагаемой теории можно использовать формулы взаимосвязи параметров без учета влажности, так как до 12-13% это вполне допустимо [1, 5, 15].

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

Библиографический список

1. **Беляков В.В.** Взаимодействие со снежным покровом эластичных движителей специальных транспортных средств: дисс. ... док.тех.наук: 05.05.03. – Нижний Новгород 1999. – 485 с.
2. **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.
3. **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.
4. **Булыгина, О.Н.** Описание массива данных «Маршрутные снегомерные съемки» / О.Н. Булыгина, В.Н. Разуваев, Т.М. Александрова URL: <http://www.meteo.ru/special/descrip9.htm> (дата обращения 13.06.2013).
5. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения: монография / под ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛИАМ, 2004. – 961 с.
6. **Зезюлин, Д.В.** Влияние параметров движителей на показатели эффективности колесных машин при движении по снегу / Д.В. Зезюлин, У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5; URL: www.science-education.ru/105-6927 (дата обращения: 17.09.2012).
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. **Зезюлин, Д.В.** Расчетный анализ влияния параметров движителей на показатели эффективно-

- сти 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.
9. **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.
 10. **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.
 11. **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).
 12. **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. 150-157.
 13. **Макаров, В.С.** Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.В. Беляков, [и др.] // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. 2013. №1. С. 155-160.
 14. Официальный сайт ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных» (ВНИИГМИ-МЦД). URL: <http://www.meteo.ru/>
 15. **Панов, В.И.** Взаимодействие со снежным покровом гусеничносаночных поездов и пути повышения тяговых качеств: дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.03. Горький, 1965. – 212 с.

*Дата поступления
в редакцию 05.02.2014*

V.V. Belyakov, D.V. Zezyulin, V.E. Kolotilin, V.S. Makarov, A.V. Fedorenko

**TO THE CHOICE OF THE EXPERIMENTAL DATA FOR CREATION
OF STATISTICAL MODELS OF SNOW COVER AS SUPPORT BASE FOR TRANSPORT
AND TECHNOLOGICAL VEHICLES**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Subject/topic/purpose: Justification of the choice of experimental data for creation of statistics models of snow

Methodology of work: Analysis of the experimental data. Creation of the statistical models of snow cover.

Results/application: The classification of characteristic zones of the changing of snow height is presented. The analytical dependence of the change of height and density of snow during the winter is shown. Formulas for determining the stiffness, connectivity and angle of internal friction of snow versus time are given. The influence of humidity on the basic parameters of snow is analyzed.

Findings: It is concluded that in within the dependences of changes of height, density, stiffness, connectivity and angle of internal friction versus time the change of the humidity can be ignored, because it does not exceed 12-13%.

Key words: snow, statistical characteristics, height and density, vehicles.