

УДК 629.113

МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ СНЕГА КАК ПОЛОТНА ПУТИ ДЛЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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 рассматривается концептуальная иерархическая многоуровневая структура определения подвижности по снегу транспортно-технологических машин. Приведены эмпирические зависимости для определения глубины и плотности снега в зависимости от времени, полученные на основании снегосъемок за последние 20 лет. Показан пример «снежной карты» Российской Федерации с указанием среднестатистических максимальных глубин снега и наиболее эффективных транспортных средств. Представлено уточнение общей «снежной карты» на примере Нижегородской области. Даны зависимости учитывающие влияние ландшафта на глубину и плотность снега. Приведены зависимости, учитывающие влияние микропрофиля опорного основания на изменение глубины снега на однотипных участках. Дано формализованное представление об области контакта движителя машины независимо от его типа с опорным основанием. Для каждого из уровней представленной структуры характерны одни и те же зависимости для определения основных параметров снежного покрова, но с учетом поправочных коэффициентов. Каждый уровень рассматриваемой структуры наглядно проиллюстрирован. Исследования проведены при поддержке грантов Президента РФ.

Ключевые слова: подвижность, статистические характеристики, глубина и плотность снега

MULTILEVEL MODELS OF SNOW AS THE ROADS FOR TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL VEHICLES ON THE EXAMPLE OF THE RUSSIAN FEDERATION

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 article discusses the conceptual multi-level hierarchical structure of the determination of the movability on snow transport and technological machines. Empirical relations for determining the depth and density of snow as a function of time, obtained on the basis of snow surveys for the past 20 years. The example of «snow maps» of the Russian Federation, indicating the average maximum depth of snow and the most efficient means of transport. Presented by clarifying the general «snow maps» in the case of the Nizhny Novgorod region. The dependences taking into account the influence of the landscape on the depth and density of the snow. The dependences microprofile into account the influence of the support base for changing the depth of snow on road of the same type. The formalized representation of the contact propulsion machine regardless of the type of the support base. For each of the levels provided by the structure is characterized by the same dependence for the determination of the basic parameters of snow cover, but with the correction factors. All levels of this structure is illustrated graphically. The studies were conducted with the support of «grants the President of the Russian Federation».

Keywords: movability, the statistical characteristics, depth and density of snow

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. Следует выделять потерю подвижности по живучести и по 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 усло-

виям подвижности машины по мобильности [10, 12].

Рассматривая вопрос оценки подвижности по проходимости машины в зимний период (а именно проходимость по снегу), необходимо учитывать степень ее соответствия условиям той местности, в которых будет эксплуатироваться ТС. Если одной из задач является обеспечение подвижности по проходимости машины по снежной целине, например, для решения транспортно-технологических задач в отдаленной местности, то выбор ТС должен быть сопоставлен с меняющимися в течение года погодными условиями. Также выбор ТС должен быть сопоставлен с целесообразностью его применения. Так, например, если машина не сможет работать достаточно небольшой промежуток времени, а приобретение и эксплуатация ТС с более высокими

показателями проходимости будет несоизмеримо больше, чем выгода от нее, то и выбор должен быть сделан в пользу первого варианта.

В научно-технической литературе, посвященной анализу проходимости транспортно-технологических машин, есть один существенный недостаток. Рассматривая возможность движения, исследователи ограничиваются максимальными преодолеваемыми глубинами снежного покрова. При этом делается вывод, что некая конкретная машина едет по снегу определенной плотности и определенной глубины.

На практике как продолжительность лежания снежного покрова, так и его глубина и плотность меняются в течение сезона и различны по разным годам.

Поэтому важно выяснить, каково распределение глубин снега и его плотности в течение года на рассматриваемой территории.

На основании этих данных можно определить для каждой конкретной машины число дней в году, когда она не будет обладать необходимым уровнем подвижности по проходимости, это в свою очередь приводит к вынужденным простоям, что негативно сказывается экономических показателях предприятий и организаций, чья деятельность связана с необходимостью передвижения по снегу.

А так как ТС с более высокими показателями проходимости обладают большими затратами на эксплуатацию, то вполне возможен случай, когда целесообразнее выбрать автомобиль, который не сможет несколько дней в году передвигаться. Ведь потери от простоя будут меньше, чем разница в затратах на эксплуатацию у транспортного средства с необходимым уровнем проходимости. В данном случае целесообразно говорить об эффективности использования транспортных средств [7, 9].

Проходимость транспортных средств определяется как конструкцией самой машины, так и характеристиками опорного основания. При оценке проходимости по снегу определяющими факторами являются глубина и плотность снега. На основании [3, 10–12] можно получить данные по вероятностным характеристикам рассматриваемых параметров.

Если рассматривать концепцию подвижности для всей территории России, то определяющим фактором будет глубина наряду с плотностью и продолжительностью залегания снежного покрова.

В целом для всей территории Российской Федерации справедливы зависимости изменения плотности и глубины, предложенные Макаровым В.С. [10–12]. В соот-

ветствии с данными зависимостями при известной средней максимальной глубине снежного покрова возможно проведение оценки подвижности ТТМ в этих условиях.

В общем виде средние значения глубины снежного покрова можно определить по зависимости

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

где a_i – эмпирические коэффициенты; $t_{\text{усл}}^i$ – текущая условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом в декадах ($t_{\text{усл}}^i = (0, 15)$).

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

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

где $H_{\text{max}}^{\text{сп}}$ – средняя максимальная глубина снега за период в см.

$$\begin{aligned} (a_0 \cdot 10^3 = 83,1 \text{ см}; \quad a_1 \cdot 10^3 = 194 \frac{\text{см}}{\text{дек}}; \\ a_2 \cdot 10^3 = -30,1 \frac{\text{см}}{\text{дек}^2}; \quad a_3 \cdot 10^3 = 3,36 \frac{\text{см}}{\text{дек}^3}; \\ a_4 \cdot 10^3 = -0,14 \frac{\text{см}}{\text{дек}^4}). \end{aligned}$$

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

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

где $\zeta = T_{\text{усл}}^{-1} (e - 2) t_{\text{усл}} + 1$ – эмпирический коэффициент; σ_H – среднеквадратичное отклонение для наблюдаемой территории (можно принять среднее для России $\sigma_H = 10$ см); $T_{\text{усл}}$ – условная продолжительность зимнего сезона с установившимся снежным покровом ($T_{\text{усл}} = 15$).

Средние значения плотности снежного покрова определяются по зависимости:

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

где b_i – эмпирические коэффициенты.

$$\begin{aligned} (b_0 \cdot 10^3 = 7124,6 \text{ 10 г/см}^3; \\ b_1 \cdot 10^3 = 3345,4 \text{ 10 г/(см}^3 \cdot \text{дек)}; \\ b_2 \cdot 10^3 = -76,5 \text{ 10 г/(см}^3 \cdot \text{дек}^2); \\ b_3 \cdot 10^3 = -23,6 \text{ 10 г/(см}^3 \cdot \text{дек}^3); \\ b_4 \cdot 10^3 = 1,4 \text{ 10 г/(см}^3 \cdot \text{дек}^4)). \end{aligned}$$

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

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

где σ_{ρ} – среднеквадратичное отклонение для рассматриваемой территории (среднее для России $\sigma_{\rho} = 3 \cdot 10 \text{ г/см}^3$).

Все остальные параметры снега, необходимые для определения составляю-

щих сопротивления движения и силы тяги, а как следствие – подвижности по проходимости ТТМ, могут быть получены, исходя из плотности ρ_s , например, жесткость K_s , связность c_0 и угол внутреннего трения φ_0 . Более подробно зависимости для определения этих величин и сил рассмотрены в работах [4–6, 8].

Графически приведенные суждения можно показать на рис. 1.

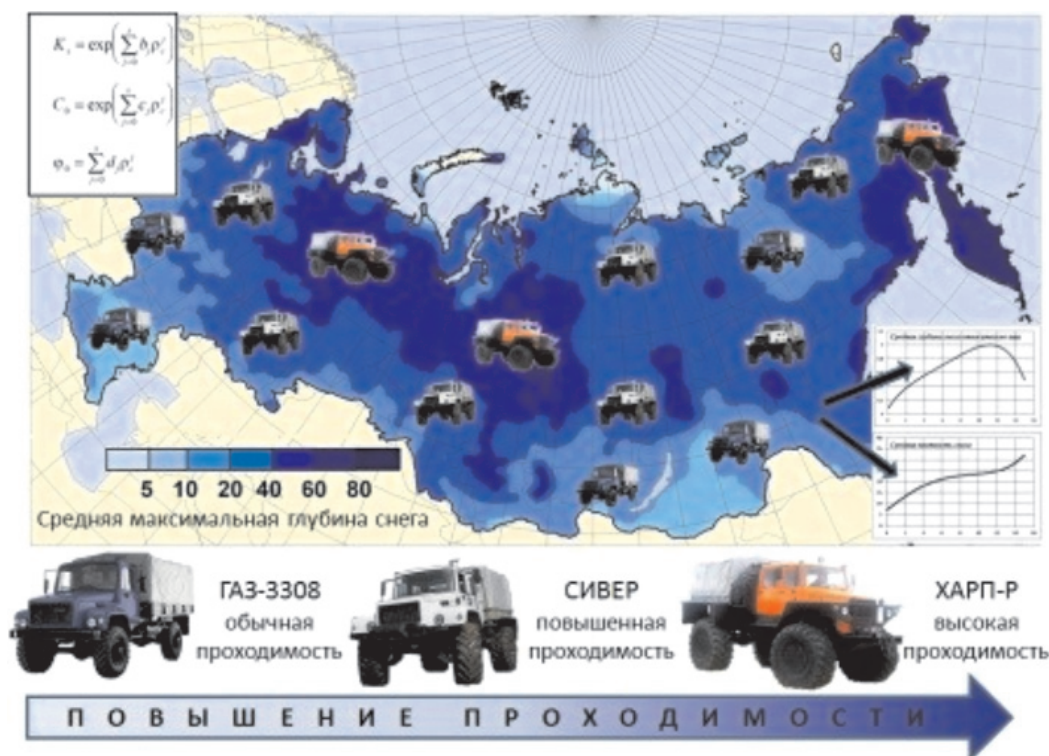


Рис. 1. Снежная карта РФ с указанием средних максимальных глубин снежного покрова (по данным ВНИИГМИ-МЦД) и ТТМ, использование которых эффективно для представленных условий

На рис. 1. показаны следующие транспортные средства: ГАЗ-3308 (автомобиль массового производства), «СИВЕР» [2] (автомобиль высокой проходимости, за базу взят ГАЗ-3308, но с порталными мостами и шинами 1400–540; обладает более высоким уровнем подвижности по проходимости), «ХАРП-Р» [1] (автомобиль высокой проходимости, за базу взят «СИВЕР», но с шинами 1700–750, обладает более высоким уровнем подвижности по проходимости).

Приведенные данные позволяют оценить подвижность по проходимости ТТМ для всей территории РФ. Но для более точной оценки этих параметров необходимо вводить уточнения. От глобального уровня «страны» следует переходить на уровень «области». Причем в целом для области в среднем будут справедливы характеристики, приведенные на рис. 1.

Рассмотрим более подробно снежную карту области (в качестве примера выбрана Нижегородская область). Средние максимальные значения глубин залегания снежного покрова на территории области будут выглядеть следующим образом (рис. 2).

Как видно из приведенного рис. 2, средние значения по области соответствуют значениям на рис. 1. Причем в каждом конкретном районе области для зависимостей изменения глубины и плотности может быть введено уточнение в соответствии с более конкретными данными по станциям метеонаблюдения (эмпирические коэффициенты a_i и b_i , значения среднеквадратичных отклонений).

Параметры жесткость K_s , связность c_0 и угол внутреннего трения φ_0 , также могут быть рассчитаны на основании уточненных

значений плотности; а силы сопротивления и тяги получены с учетом полученных значений и уточненных глубин по известным зависимостям [4–6, 8].

Из рис. 2 видно, что можно уточнить картину, показывающую, какой подвижностью по проходимости будет обладать машина, на уровне каждого района области.

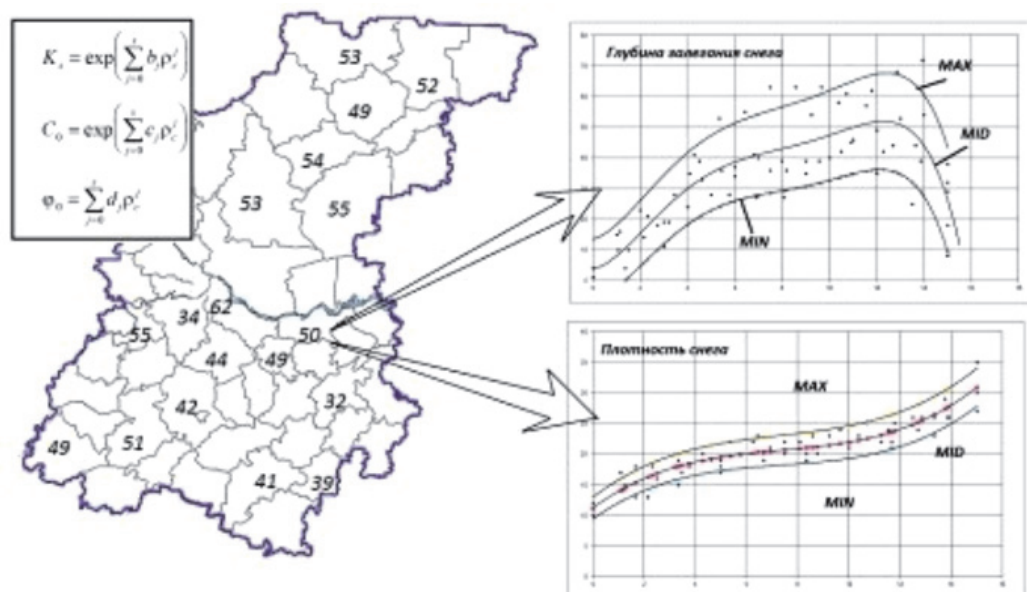


Рис. 2. Средние максимальные значения глубин снега на территории Нижегородской области, а также то, что для каждого района можно построить зависимости изменения глубины и плотности, учитывающие местные особенности, и получить остальные характеристики снега [10, 12]

Для каждого же района характерны свои особенности, и в каждом конкретном случае необходимо учитывать местность и особенности ландшафта.

Для адекватности модели необходимо добавить соответствующие коэффициенты, учитывающие районирование [12]:

$$H_{\text{действ}} = H k_H^{\text{местн}}; \quad \rho_{\text{действ}} = \rho k_\rho^{\text{местн}},$$

где $H_{\text{действ}}$ и $\rho_{\text{действ}}$ – 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 [3], можно выделить некоторые характерные участки, на которых формирование снега происходит с учетом предложенных зависимостей и поправочных коэффициентов.

Полученные данные позволяют прогнозировать характеристики снежного покрова с учетом особенностей ландшафта и характеристик дорожно-грунтового осно-

вания, необходимые при оценке подвижности движения колесных машин по снегу.

Приведенные зависимости более чем достаточны для получения показателей подвижности по проходимости на заснеженной местности. Однако можно сделать еще уточнения, если рассматривать более конкретно изменение параметров снега на небольших участках пути. А именно отклонение глубины снега на одинаковых участках, связанной с особенностями микропрофиля опорного основания и потоков ветра, а также изменение плотности снега по глубине. Необходимо отметить, что средние значения как глубины, так и плотности останутся постоянными на характерном однотипном участке.

На рис. 4 показан пример распределения глубины снега по мерному однотипному участку.

Отклонения от средних значений максимальной глубины снега по результатам маршрутных снегосъемок [3], полученные на основании статистического анализа [12], могут быть рассчитаны по зависимостям, причем для минимального и максимального значений отклонений они одинаковы:

$$\Delta H = \begin{cases} 0,5 H, & \text{если } H < 30 \text{ см,} \\ 15, & \text{если } H \geq 30 \text{ см.} \end{cases}$$



Рис. 3. Характерный участок с разными типами ландшафта, с примерами изменения глубины и плотности на поле и в лесу, и зависимостями для определения остальных характеристик снега

Для 5(95)% вероятности:

$$\Delta H_{5(95)} = \begin{cases} \Delta H \mp 30^{-1} e^{0.5} H \sigma, & \text{если } H < 30 \text{ см,} \\ \Delta H \mp e^{0.5} \sigma, & \text{если } H \geq 30 \text{ см.} \end{cases}$$

где σ – среднее квадратичное отклонения $\sigma \cong 6$ см.

Изменение же плотности по глубине носит характер, показанный на рис. 4, то

есть в середине глубины имеется некоторое уменьшение плотности, а на глубине принимает максимальные значения [13]. Тем не менее все основные составляющие в зоне контакта движителя со снегом, необходимые для определения сопротивления, тяги и, как следствие, определение проходимости и подвижности, останутся прежними [4].

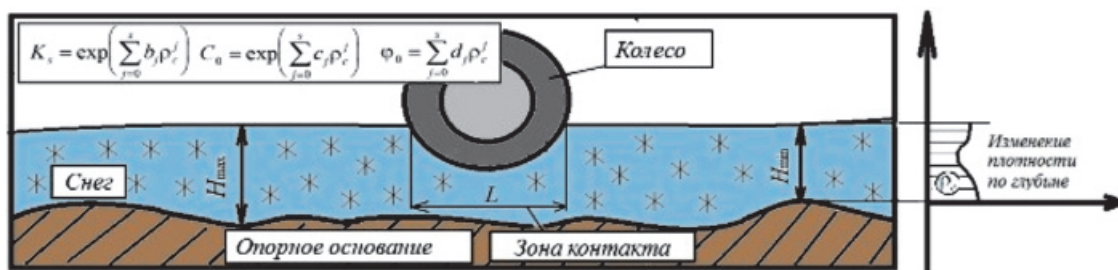


Рис. 4. Пример изменения глубины и плотности снега на однотипном участке и зависимости для определения остальных характеристик снега в зоне контакте движителя с опорным основанием

В приведенном примере (рис. 4) все параметры рассчитываются для средних значений по зоне контакта, но в действительности при разрушении полотна пути движителем происходит изменение физико-механических характеристик снега.

Рассматривая зону контакта движителя с опорным основанием, можно прийти к следующей обобщенной структурной схеме. В работе [4] показан принцип приведения удельных нагрузок σ_i в зоне контакта к результирующим реакциям P_i с переносом к оси привода и присоединением соответствующих реактивных моментов M_p , то есть

$$\left. \begin{aligned} P_i &= \int_{\Omega} \sigma_i d\Omega, & M_i &= \int_{\Omega} l_i \sigma_i d\Omega, \end{aligned} \right\}$$

где l_i – плечо приведения удельных нагрузок к оси привода.

На данном уровне формализации возможно описание взаимодействия движителя машины с материалом полотна пути независимо от его типа. Как видно из рис. 5, расчет сил и моментов на движителе производится по тем же зависимостям, но с учетом истории нагружения для каждого элементарного участка зоны контакта.

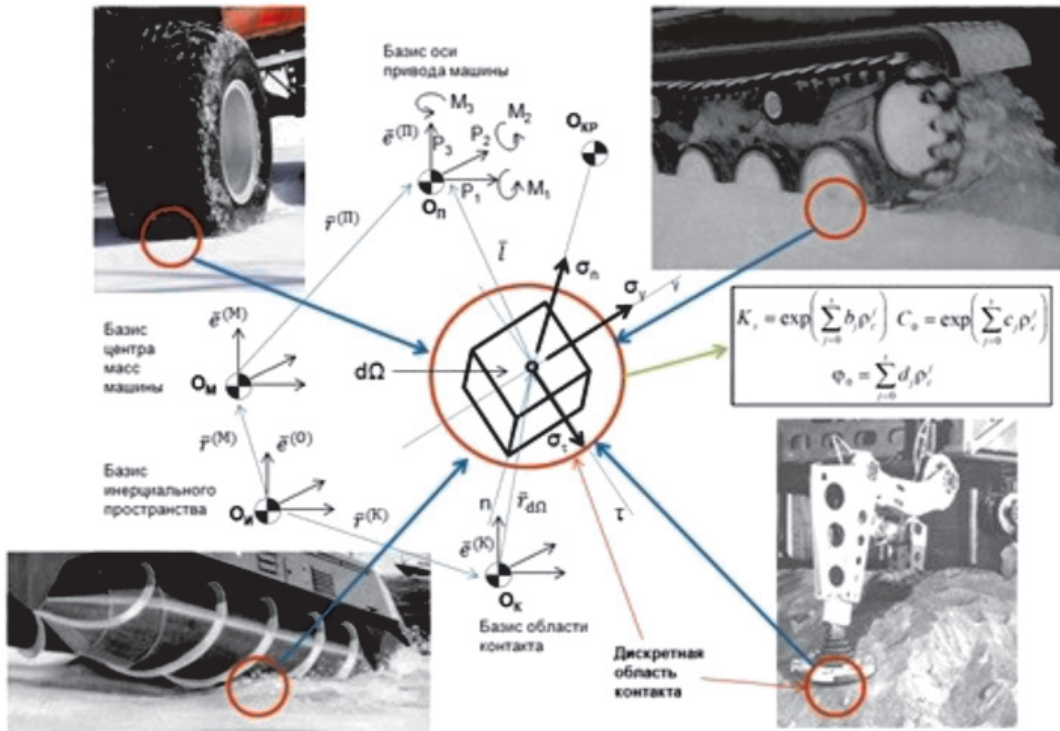


Рис. 5. Схема формализации области контакта движителя машины независимо от его типа [4]

Таким образом, рассматривая глобальную подвижность по проходимости ТТМ по снегу на территории России и постепенно разбивая территорию на меньшие участки, получилось, что в принципе используются одни и те же зависимости, но с учетом до-

полнений, учитывающих дискретизацию рассматриваемого участка. В результате можно выстроить иерархическую многоуровневую структуру определения подвижности ТТМ, обладающую признаками самоподобия (рис. 6).

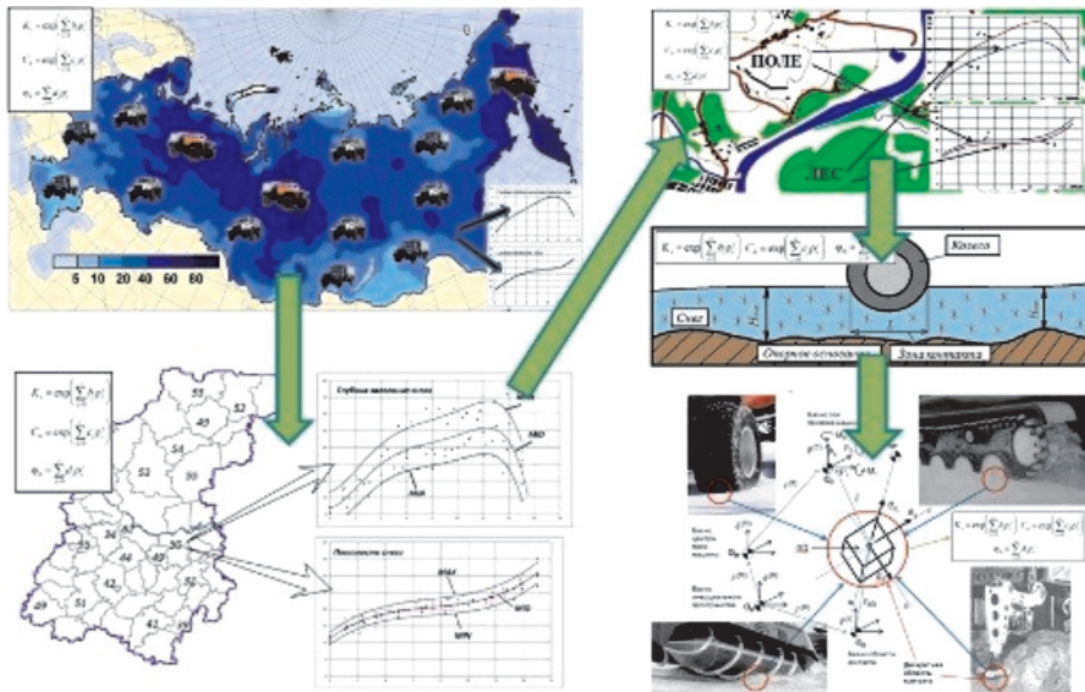


Рис. 6. Иерархическая многоуровневая структура определения подвижности по снегу транспортно-технологических машин

Отметим, что работы аналогичной направленности по оценке влияния ландшафта на распределение снега по территории ведутся и иностранными исследователями и лабораториями [14, 15]. В этих работах приводятся оригинальные и интересные суждения и математические модели, отличные от представленных в данной статье, поэтому можно судить о ее целесообразности, актуальности и своевременности данной работы.

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

Список литературы

1. Аникин А.А., Балов В.В., Зеленев С.Г., Макаров В.С., Масленников В.А., Перепелов А.В. Транспортное средство высокой проходимости // Патент на полезную модель RUS 96548 22.03.2010.
2. Аникин А.А., Балов В.В., Зеленев С.Г., Макаров В.С., Масленников В.А., Перепелов А.В. Транспортное средство высокой проходимости «Сивер» // Патент на полезную модель RUS 82184 12.12.2008.
3. Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива данных «Маршрутные снегомерные семки»: сайт. – URL: <http://www.meteo.ru/special/descrip9.htm> (дата обращения 13.06.2013).
4. Вездеходные транспортно-технологические машины. Основы теории движения; под. общ. ред. В.В. Белякова и А.П. Куляшова. – Н. Новгород: ТАЛАМ, 2004. – 961 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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).
8. 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.
9. 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.
10. 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).
11. Формирование снежного покрова в зависимости от ландшафта местности и оценка подвижности транспортно-технологических машин в течение зимнего периода / В.С. Макаров, Д.В. Зезюлин, К.О. А.М. Беляев, А.В. Папунин, В.В. Беляков // Труды НГТУ им. Р.Е.Алексеева. – 2013. – № 2 – С. 150–157.
12. Макаров В.С., Характер изменения снежного покрова как полотна пути с учетом неравномерности его залегания на местности / В.С. Макаров, А.В. Папунин, Д.В. Зезюлин, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/110-9696> (дата обращения: 23.07.2013).
13. Панов В.И. Взаимодействие со снежным покровом гусеничносаночных поездов и пути повышения тяговых качеств: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03. – Горький, 1965. – 212 с.
14. R.T. Affleck, R.A. Melloh, S.A. Shoop. Cross-country mobility on various snow conditions for validation of a virtual terrain / Journal of Terramechanics. – 2009. – № 46. – P. 203–210.
15. R.A. Melloh, P. Richmond, S.A. Shoop, R.T. Affleck, B.A. Coutermarsh. Continuous mapping of distributed snow depth for mobility models using solutions / Cold regions and technology. – 2008. – № 52. – P. 155–165.

References

1. Anikin A.A., Balov V.V., Zelenov S.G., Makarov V.S., Maslennikov V.A., Perepelov A.V. Transportnoe sredstvo vysokoj prohodimosti. The utility model patent RUS 96548 22.03.2010.
2. Anikin A.A., Balov V.V., Zelenov S.G., Makarov V.S., Maslennikov V.A., Perepelov A.V. Transportnoe sredstvo vysokoj prohodimosti "Siver". The utility model patent RUS 82184 12.12.2008.
3. Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Aleksandrova T.M. Opisaniye massiva dannyh «Marshrutnye snegomernye semki», available at: <http://www.meteo.ru/special/descrip9.htm>.
4. Belyakov V.V., Kulyashov A.P. Vezdehodnye transportno-tehnologicheskie mashiny. Osnovy teorii dvizheniya. – Nizhny Novgorod, TALAM, 2004. 961 p.
5. Goncharov K.O., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vliyanie jekskavacionno-bul'dozernyh jeffektov voznikayuschih pri krivoliniyom dvizhenii koleasa na soprotivlenie kacheniyu – Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie, 2010, no. 6, pp. 3–3.
6. Goncharov K.O., Makarov V.S., Belyakov V.V. Jekspierimental'nye issledovaniya mnogoosnoj koliesnoj mashiny – Nauka i obrazovanie: jelektronnoe nauchno-tehnicheskoe izdanie, 2010, no. 12, pp. 10–10.
7. Zezyulin D.V., Vahidov U.Sh., Makarov V.S., Belyakov V.V. Vliyanie parametrov dvizhitelej na pokazateli jeffektivnosti koliesnyh mashin pri dvizhenii po snegu – Sovremennye problemy nauki i obrazovanija, 2012, no. 5; available at: www.science-education.ru/105-6927
8. Makarov V.S. Metodika rascheta i ocenka prohodimosti koliesnyh mashin pri krivoliniyom dvizhenii po snegu, Ph.D. thesis, NNSTU, 2009, 161 p.
9. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Goncharov K.O., Fedorenko A.V., Belyakov V.V. Ocenka jeffektivnosti dvizheniya koliesnyh mashin na osnovanii statisticheskikh harakteristik snezhnogo pokrova – Transactions of Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev., 2013, no. 1, pp. 155–160.
10. Makarov V.S. Statisticheskij analiz harakteristik snezhnogo pokrova- Sovremennye problemy nauki i obrazovanija, 2013, no. 1; available at: www.science-education.ru/107-8289.
11. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Belyakov V.V., Papunin A.V., Belyakov V.V. Formirovaniye snezhnogo pokrova v zavisimosti ot landshafta mestnosti i ocenka podvizhnosti transportno-tehnologicheskikh mashin v techenie zimnego perioda – Transactions of Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alekseev., 2013, no. 2, pp. 150–157.
12. Makarov V.S., Zezyulin D.V., Papunin A.V., Belyakov V.V. Harakter izmeneniya snezhnogo pokrova kak polotna puti s uchetom neravnomernosti ego zaleganija na mestnosti – Sovremennye problemy nauki i obrazovanija, 2013, no. 1; available at: www.science-education.ru/110-9696.
13. Panov V.I. Vzaimodejstvie so snezhnym pokrovom gusenichnosannyh poezdov i puti povysheniya tyagovyh kachestv, Ph.D. thesis, GPI, 2005, 212 p.
14. R.T. Affleck, R.A. Melloh, S.A. Shoop. Cross-country mobility on various snow conditions for validation of a virtual terrain – Journal of Terramechanics, 2009, no. 46, pp. 203–210.
15. R.A. Melloh, P. Richmond, S.A. Shoop, R.T. Affleck, B.A. Coutermarsh. Continuous mapping of distributed snow depth for mobility models using solutions – Cold regions and technology, 2008, no. 52, pp. 155–165.

Рецензенты:

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

Вахидов У.Ш. д.т.н., зав. кафедрой «Строительные и дорожные машины», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 15.08.2013.