

УДК 629.113

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

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОВЕРХНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

Рассматривается актуальность исследования лесных дорог России. Обеспечение подвижности транспортных средств по лесным дорогам связано с необходимостью контроля и устранения пожаров, поэтому для правильного выбора параметров машин необходимо знать и уметь моделировать поверхности движения лесных дорог.

Показаны моменты проведения экспериментов по замеру диаметров упавших веток, деревьев и корневищ на лесных дорогах, а также их взаимного расположения. Даны оригинальные математические модели. Приведены графики с экспериментальными и теоретическими значениями.

Приведена блок-схема методики моделирования распределения дискретных неровностей (упавшие деревья, ветки и корневища) и их взаимного расположения. Используя эти данные можно произвести прогнозирование и расчет преодолеваемости территории по условию профильной проходимости; расчету вибронатурных режимов при движении по дорогам рассматриваемого типа, а также нагруженности силовых передач в трансмиссии.

Ключевые слова: подвижность, закон распределения препятствий, лесные дороги.

На планете около 90 % общего запаса органического вещества сконцентрировано в лесах. Леса России, занимающие около 1/5 лесных земель мира, – это один из основополагающих факторов обеспечения устойчивого развития человечества. Можно сказать, что «планета дышит легкими России» [1]. Общая площадь России, покрытая лесами, занимает 45% обширной её территории. На многие и многие километры простираются непроходимые леса [2].

Лес - стабилизатор подавляющего большинства отрицательных эффектов воздействия человека на природу. Поэтому лесные ресурсы должны оцениваться не только и не столько как источники древесины, но и как фактор сохранения окружающей среды в таком состоянии, при котором эксплуатация ресурсов принесет наибольший эффект народному хозяйству нашего и будущих поколений людей. Столетия леса служили своего рода хозяйственной кладовой, которая представлялась неисчерпаемой. Лес как источник древесины топлива, дичи и других продуктов был и остается одним из важнейших поставщиков сырьевых материалов для человека.

Лесные пожары – основной фактор, определяющий состояние и динамику лесного фонда России, особенно районов Сибири и Дальнего Востока. В Европейской части страны доминирующее влияние на структуру и динамику лесного фонда оказывают рубки главного и промежуточного пользования, проводимые мероприятия по воспроизводству лесных ресурсов [1].

При проведении сплошных, частичных или противопожарных вырубок используется различная автотракторная и лесозаготовительная техника, которая передвигается по неподготовленной поверхности, представляющей собой грунтовое основание, насыщенное многочисленными ветками, упавшими деревьями и корневищами. На лесных дорогах число таких препятствий со временем увеличивается и, как следствие, они представляют полноценные препятствия. Для сплошных рубок и постоянно эксплуатирующихся дорог крупные упавшие деревья и ветки убираются, но для разовых проездов и при санитарной рубке не целесообразно очищение пути. Исключением будут только деревья, представляющие серьезные профильные препятствия.



Рис. 1. Примеры упавших веток, деревьев и корневища на лесных дорогах

Поэтому были проанализированы лесные дороги и проведены замеры размеров деревьев, веток и корневищ и их взаимного расположения. Исследования проводились в Нижегородской области, где леса занимают порядка 50% территории.

В рамках проведенного научного исследования при поддержке РФФИ 12-08-10004-к «Организация и проведение полевых работ по определению характеристик микропрофиля дорог, предназначенных для движения транспортно-технологических машин», были выполнены работы по замеру и классификации микропрофиля дорожно-грунтового основания на примере Нижегородской области, в частности исследование лесных дорог. В дальнейшем они были дополнены [3-9].

В разное время были замерены участки дорог, характерные для разных лесов: хвойный (в основном сосна), лиственный (в основном осина) и смешанный (сосна, осина, береза). Протяженность каждого из участков не менее 1 км для каждого из типов леса. Экспериментальные данные были обработаны и получены характерные зависимости. Зависимость числа неровностей (веток, деревьев и корневищ) от их диаметра, а также размеров между ними выражается по формуле

$$N(x) = \begin{cases} A \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}}, & \text{при } x \geq 0 \\ 0, & \text{при } x < 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где $A = a \Delta x$, $\lambda, A, a > 0$ – параметры данного распределения; Δx – шаг дискретизации диаметров или размеров между ними.

В представленной зависимости, если рассматривать распределение диаметров неровностей, то $x = D$ – диаметр неровности, $\Delta x = \Delta D$ – шаг дискретизации диаметров, $N(x) = N(D)$ – число неровностей больше D при заданных D и ΔD , $\lambda = \lambda_D$, $A = A_D$, $a = a_D$.

Если же рассматривать распределение размеров между неровностями, то $x = L$ – расстояние между неровностями, $\Delta x = \Delta L$ – шаг дискретизации, $N(x) = N(L)$ – суммарное число расстояний между неровностями больше L при заданных L и ΔL , $\lambda = \lambda_L$, $A = A_L$, $a = a_L$.

Очевидно, что $\max[N(D_{\min})] = \max[N(L_{\min})]$. Поэтому

$$a_L \Delta L \frac{1}{\lambda_L} e^{-\frac{L_{\min}}{\lambda_L}} = a_D \Delta D \frac{1}{\lambda_D} e^{-\frac{D_{\min}}{\lambda_D}}, \quad (2)$$

где D_{\min} , L_{\min} – минимальные принятые значения.

Таким образом, получена взаимосвязь параметров, учитывающих распределение размеров диаметров неровностей и размеров между ними.

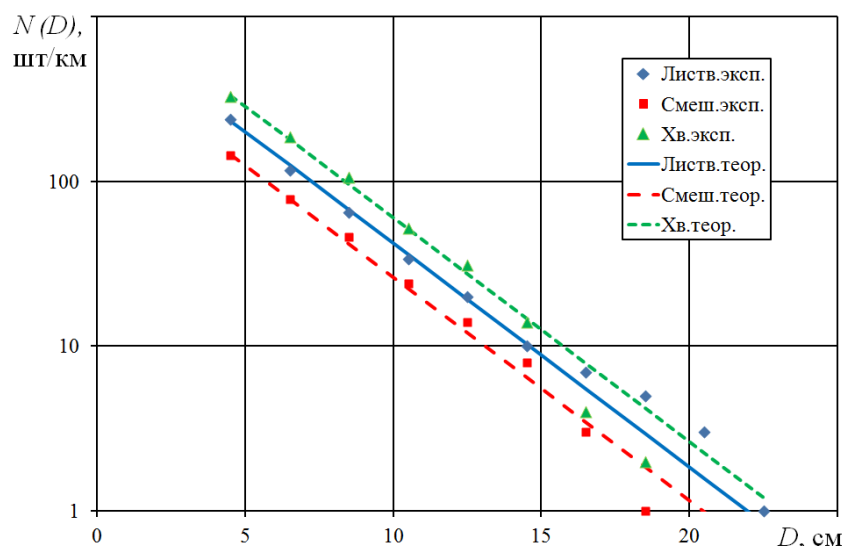


Рис. 2. Графики числа повреждений (упавших деревьев, веток и корневищ) больше D на 1 км пути в зависимости от их диаметров:

◆ ■ ▲ – экспериментальные значения, линии – теоретические значения

На рис. 2 были получены следующие параметры, входящие в зависимости (1): $\Delta D = 2$, $\lambda_D = 3,2$, для лиственного леса $a_D = 1530$, для хвойного $a_D = 2185$, для смешанного $a_D = 955$.

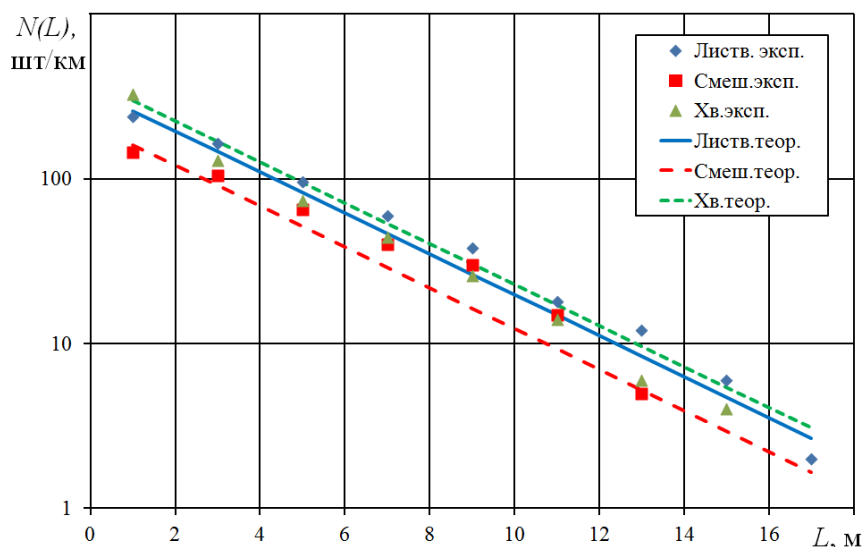


Рис. 3. Графики суммарного числа расстояний между повреждениями (упавшими деревьями, ветками и корневищами) больше L на 1 км пути в зависимости от расстояний между ними:

◆ ■ ▲ – экспериментальные значения; линии – теоретические

На рис. 3 были получены следующие параметры, входящие в зависимости (1): $\Delta L = 2$, $\lambda_L = 3,2$, для лиственного леса – $a_L = 600$, для хвойного $a_L = 690$, для смешанного $a_L = 375$.

На рис. 2 и рис. 3 показаны данные, характерные для лесных дорог в разном состоянии запущенности. Дорога в смешанном лесу не эксплуатировалась порядка 1,5-2 лет, в хвойном и лиственном лесу порядка 4-5 лет. Поэтому можно сделать вывод, что число упавших деревьев и веток на лесных дорогах будет определяться временем запущенности (сколько времени их интенсивно не эксплуатировали).

Формулы (1) и (2) позволяют, не проводя сложные замеры на исследуемом участке лесных дорог, спрогнозировать характер распределения упавших деревьев, веток и корневищ деревьев, достаточно только знать их число на мерном участке пути. В соответствии с изложенным, можно предложить следующую блок-схему методики моделирования характеристик микропрофиля лесных дорог, учитывающую упавшие деревья, ветки и корневища деревьев (рис. 4).

Таким образом, зная всего один параметр N - число упавших деревьев, веток и корневищ на километр пути, можно получить распределение числа в зависимости от диаметра и взаимного расстояния.

Как показали исследования, то какой-либо четкой зависимости между диаметрами и взаимным расположением получить не удалось. Поэтому целесообразно задавать эти параметры случайным образом.

На рис. 5 приведена блок-схема формирования массива из зависимостей (1).



Рис. 4. Блок-схема методики моделирования дискретных неровностей (упавшие деревья, ветки и корневища) лесных дорог

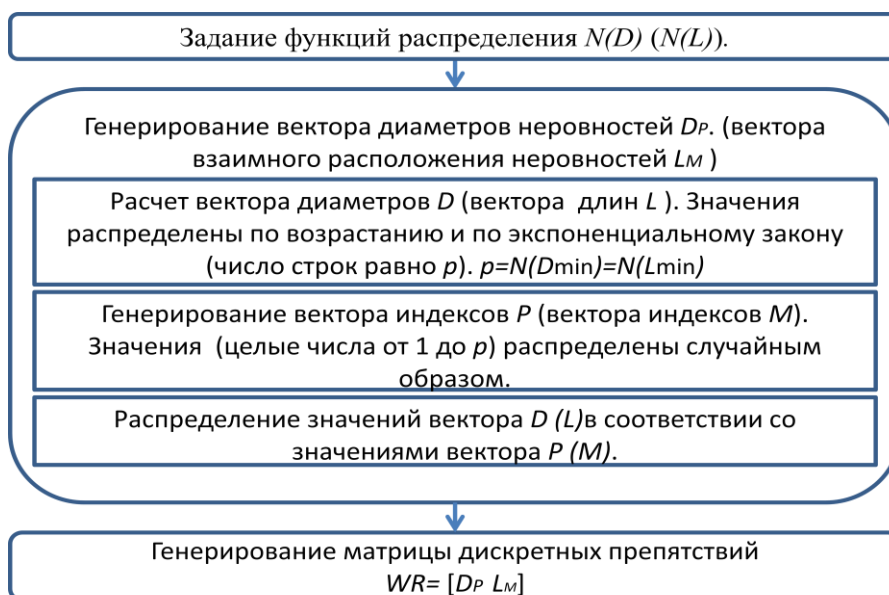


Рис. 5. Блок-схема методики формирования массива, состоящего из диаметров неровностей и их взаимного расположения

Таким образом, на выходе имеем матрицу значений $WR = [D_P L_M]$ размерности $2 \times N$. В первом столбце размер неровности, во втором расстояние до следующей неровности.

Используя зависимости (1) и (2) и методики, приведенные на рис. 4 и 5 можно смоделировать профиль лесной дороги, насыщенной дискретными препятствиями. Эти данные необходимы: для прогнозирования и расчета преодоляемости территории по условию профильной проходимости; расчета вибронгрузочных режимов при движении по дорогам рассматриваемого типа, а также нагруженности силовых передач в трансмиссии.

Библиографический список

1. **Воробьев, Ю.Л.** Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.
2. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М.: ПАИМС, 1996. –144 с.
3. **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.
4. **Вахидов, У.Ш.** Моделирование трасс движения транспортных средств, характерных для территории Северного Кавказа/ У.Ш. Вахидов, В.В. Беляков, В.С. Макаров // Изв. вузов. Машиностроение. 2011. №7. С. 24–26.
5. **Вахидов, У.Ш.** Математическое описание дорог типа «stone-road» / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3; URL: www.science-education.ru/103-6376 (дата обращения: 05.06.2012).
6. **Вахидов, У.Ш.** Определение характеристик микропрофиля в поймах рек Северного Кавказа / У.Ш. Вахидов, В.С. Макаров, В.В. Беляков // Интеллектуальные системы в производстве, 2011. №1. С. 82–87.
7. **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.
8. **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).

*Дата поступления
в редакцию 20.09.2014*

A.V. Redkozubov, V.S. Makarov, D.V. Zeziulin, V.V. Belyakov

MATHEMATICAL MODEL OF SURFACE OF MOVEMENT OF FOREST ROADS

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

The article discusses the relevance of the study of forest roads in Russia. It is shown that the Russian forests occupy about one fifth of forest lands of the world, and 45% of the country. Ensuring the mobility of vehicles on forest roads due to the need to control and eliminate the fire. Therefore, the correct choice of vehicle parameters needs to know and be able to simulate the movement of forest roads. Moments of the experiments on the measurement of the diameter of fallen branches, and roots of trees on forest roads and their relative position are shown. Original mathematical model was developed. The graphs of the experimental and theoretical values were also shown. Block diagrams of the modeling method of distribution of discrete roughness (fallen trees, branches and roots) and their relative positioning of forest roads are presented. Using this data the prediction and calculation of territory overcoming and vibration loading can be made.

Key words: mobility, law of obstacles distribution, forest roads.