

Исследование математической модели рельефа местности при проектировании автомобильных дорог

А.Ю. Жук^{1а}, С. Ю. Саблин^{2b}, А. В. Скрыпников^{2c}, Д. Е. Болтнев^{2d}, И.А. Высоцкая^{2e}

¹ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, проспект Революции, 19, Воронеж, Россия

^a lpf@brstu.ru, ^b sablinSYu@mail.ru, ^c skrypnikovvsafe@mail.ru, ^d boltnevDE@mail.ru, ^e i.a.trishina@gmail.com

^a <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-6706-4223>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-9557-7894>,

^e <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>

Статья поступила 12.01.2021, принята 22.04.2021

Автомобильные дороги являются важной составляющей транспортной сети страны. Ни одна отрасль народного хозяйства не может функционировать без участия автотранспорта, в том числе и лесная промышленность, следует отметить, что перевозки автомобильным транспортом ежегодно возрастают. Поэтому важным фактором для дальнейшего развития лесного хозяйства является расширение и повышение технического уровня существующей сети автомобильных дорог, обеспечивающей непрерывный процесс перевозок лесной продукции. В работе подробно рассмотрено и проанализировано состояние теоретических исследований в области «кривых пересеченности», для оценки сложности рельефа местности и технико-экономического обоснования сроков улучшения геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог. Выявлено, что для применения методов технико-экономического обоснования параметров продольного профиля и плана трассы дорог совершенно недостаточно использование визуальной классификации рельефа местности, предлагаемой многими авторами. Решение задач оптимизации требует четкой математической аппроксимации поверхности земли, позволяющей отразить характер рельефа в математической модели. Кроме того, применение большинства из проанализированных методов сопряжено с использованием большого объема исходной информации, а применение новых эффективных решений требует строго математического обоснования и анализа ряда технических и экономических критериев. Проведенный анализ позволил наметить цели, задачи и общую методологию исследований при разработке методов оптимального проектирования и этапного совершенствования геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог. Представленная комплексная оценка теоретических исследований позволяет отразить особенности рельефа и дает однозначные цифровые показатели, входящие в целевую функцию, что может являться базой для поиска оптимального сочетания параметров трассы и ее стоимостных показателей.

Ключевые слова: математическая модель, продольный профиль, трасса, рельеф местности, проектирование трассы.

Investigation of the mathematical model of the terrain in the design of highways

A.Yu. Zhuk^a, S.Yu. Sablin^b, A.V. Skrypnikov^c, D.E. Boltnev^d, I.A. Vysotskaya^e

¹ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolutsii Prospect, Voronezh, Russia

^a lpf@brstu.ru, ^b sablinSYu@mail.ru, ^c skrypnikovvsafe@mail.ru, ^d boltnevDE@mail.ru, ^e i.a.trishina@gmail.com

^a <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-6706-4223>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-9557-7894>,

^e <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>

Received 00.01.2021, accepted 22.04.2021

Highways are an important component of the country's transport network. No sector of the national economy can function without the participation of vehicles, including the forest industry. It should be noted that transportation by road annually increases. Therefore, an important factor for the further development of forestry is the expansion and increase of the technical level of the existing network of roads, providing a continuous process of transportation of forest products. The paper discusses in detail and analyzes the state of theoretical studies in the field of curved intersection, to assess the complexity of the terrain and feasibility study of the timing of improving the geometric parameters of forest-free roads. It is revealed that in order to apply the methods of technical and economic justification of the parameters of the longitudinal profile and the plan of road tracks, the visual classification of the terrain offered by many authors is completely insufficient. Solving optimization problem requires a clear mathematical approximation of the Earth's surface, which allows to reflect the nature of the relief in the mathematical model. In addition, the use of most of the analyzed methods is associated with the use of a large amount of source information, and the use of new effective solutions requires strictly mathematical substantiation and analysis of a number of technical and economic criteria. The analysis made it possible to schedule goals, objectives and general research methodology in the development of methods for optimal design and staged improvement of geometric elements of forest-carrier

roads. The presented integrated assessment of theoretical studies allows to reflect the features of the relief and gives unambiguous digital indicators included in the target function, which may be the basis for finding the optimal combination of the parameters of the track and its value indicators.

Keywords: mathematical model, longitudinal profile, route, terrain relief, route design

Введение. Для применения методов технико-экономического обоснования параметров продольного профиля и плана трассы дорог совершенно недостаточно использование визуальной классификации рельефа местности, предлагаемой многими авторами. Решение задач оптимизации требует четкой математической аппроксимации поверхности земли, позволяющей отразить характер рельефа в математической модели.

В разное время многие исследователи и специалисты в области топографии и транспорта обращались к математическому представлению местности. В частности, в работах [1-20] представлены обширные исследования по проектированию, разработке, математическому и экономическому обоснованию проектирования автомобильных дорог. В работах [1-3] предлагаются методы оценки сложности рельефа по данным характеристикам целой площади или направления. Предлагаются оценки на основе карты в горизонталях путем вычисления отношения площади участка к общей длине горизонталей или через некоторый коэффициент пересеченности. Авторами статьи [4, 16] разработана методика оценки рельефа при помощи отношения длины (или площади) земной поверхности к длине (или площади) горизонталей. Фактически оценивающим параметром служит поправка на уклон местности.

Также имеются работы некоторых авторов, которые предлагают математические и цифровые модели местности, имеющие в основе сеть из треугольников с определенными координатами вершин в трёхмерной системе [5] или прямоугольную сеть, привязанную к какой-либо осевой линии (чаще направление трассы) [6, 18]. В работе [7, 17] сделана попытка применения теории случайных функций к аппроксимации поверхности местности.

Для целей детального проектирования трасс лесовозных автомобильных дорог по стереомодели местности Федоровым В.И. [7] предложен метод аналитического представления рельефа зоны варьирования по структурным линиям (линии водоразделов, тальвегов и т.д.). Точность модели зависит от степени детализации структурных линий, составляющих основу аппроксимации.

Алешниковым Э.Ф. [4] разработана методика аппроксимации рельефа местности при помощи степенных полиномов. Поверхность зоны варьирования разбивается на отдельные участки, ограниченные характерными точками рельефа. На расположение точек не накладываются геометрические условия, и каждый участок аппроксимируется отдельно. Исходная информация представляет собой пространственные координаты точек, которые могут быть получены фотографическим способом или с топографической карты.

Забышным А.С. и Хавкиным К.А. [8, 9] предложен метод аналитического представления местности на основе R – функций. Построение модели начинается с разбивки полосы трассирования на элементарные тре-

угольники, в пределах которых горизонтали параллельны. Отдельные группы треугольников могут составлять пирамиды двух видов - вогнутые и выпуклые, которые описываются математически. Предлагаемый метод рекомендуется авторами для использования при трассировании дорог любым методом.

Перечисленные методы математической оценки рельефа или не обладают достаточной точностью, или применимы только при детальном проектировании продольного профиля и плана дороги.

Кроме того, применение большинства из проанализированных методов сопряжено с использованием большого объема исходной информации, представляющей собой координаты характерных точек или вершин аппроксимирующих фигур. Если же для уменьшения объема информации сужается полоса трассирования, то теряет смысл математическое представление её площади.

Исследование математической модели рельефа местности. Развитие трасс с определенной градицией коэффициента удлинения приведет к случаю, когда на первом же шаге проектная линия продольного профиля совпадает с линией земли. Этот вариант ограничивает область поиска в отношении строительной длины трассы. В отношении количества вариантов поперечного профиля принимается решение, зависящее от назначения дороги, начальной интенсивности движения и ожидаемых темпов ее прироста. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность повышения технического состояния дороги в отношении ширины проезжей части или числа полос движения с наименьшими затратами и бросовыми работами.

Учитывая изложенные особенности построения математической модели, а также рекомендации [10-12, 19-20], уравнение суммарных приведенных затрат можно представить в следующем виде:

$$C = K(P, \Pi, T, B) + \int_0^{t_1} \{ \mathcal{E} \{ (N_0 \lambda, T) \} \left[\frac{a+b\bar{v}(\Pi, N_0 \lambda, B, p)}{\bar{v}(\Pi, N_0 \lambda, B, p)} + S_{\Pi}(\Pi, B) \right] \frac{dt}{eEt} + \frac{K_1(P, T^1, \Pi^1, B^1)}{eEt_1} + \int_{t_1}^{t_2} \mathcal{E}_1 \{ (N_0 \lambda, T^1) \} \left[\frac{a+b\bar{v}^1(\Pi^1, N_0 \lambda, B^1, p)}{\bar{v}^1(\Pi^1, N_0 \lambda, B^1, p)} + S_{\Pi}^1(\Pi^1, B^1) \right] \frac{dt}{eEt} + \dots + \frac{K_m(P, T^{(m)}, \Pi^{(m)}, B^{(m)})}{eEt_m} + \int_{t_m}^{T_p} \mathcal{E}_m \{ (N_0 \lambda, T^m) \} \left[\frac{a+b\bar{v}^{(m)}(\Pi^{(m)}, N_0 \lambda, B^{(m)}, p)}{\bar{v}^{(m)}(\Pi^{(m)}, N_0 \lambda, B^{(m)}, p)} + S_{\Pi}^{(m)}(\Pi^{(m)}, B^{(m)}) \right] \frac{dt}{eEt}, \quad (1)$$

где $T, T^1 \dots T^m$ – характеристики планового положения трассы дороги при варьировании от варианта T до варианта T^m ;

Π, Π^1, \dots – характеристики продольного профиля при варьировании от варианта Π до варианта;

$B, B^1 \dots B^{(m)}$ – то же для поперечного профиля;

\bar{v} – средняя скорость движения потока автомобилей;

K_0, K_1, \dots, K_m – капитальные вложения для технических состояний, определяющихся элементами Т;П;В; $T^1, P^1, B^1; T^{(m)}, P^{(m)}, B^{(m)}$;

a – постоянная величина, не зависящая от скорости перевозок;

b – постоянная величина, зависящая от скорости движения автомобильного потока.

S_{π} – ущерб от дорожно-транспортных происшествий.

Определение параметров плана трассы, продольного профиля и ширины проезжей части, соответствующих минимальному значению (1) производится путем их варьирования в предварительно заданной области поиска. Поиск оптимальных сроков повышения технического состояния дороги в отношении геометрических параметров осуществляется также путем варьирования переходов и состояний во времени с учетом ограничений.

В случае обоснования обобщенных характеристик продольного профиля и на стадии технико-экономического обоснования необходима методика математического представления рельефа, позволяющая оценивать его сложность при помощи однозначных характеристик по заданному направлению. Нужно, чтобы числовые характеристики рельефа имели четкий физический смысл и выражали основные особенности данного типа местности.

Рельеф местности по какому-либо сечению может быть представлен в виде случайной функции, имеющей определенные характеристики, амплитудную и частотную характеристики. Поверхность также может быть охарактеризована показателями, определяющими среднее относительное превышение точек поверхности и относительную длину её элементов. Оценка рельефа при помощи таких характеристик представляется достаточной для решения задач дорожного проектирования на стадии технико-экономического обоснования или технического проекта.

Указанным требованиям удовлетворяет вариационно-статистический метод оценки рельефа, разработанный Протодьяконовым М.М. при решении задачи технико-экономического обоснования продольных уклонов и коэффициента развития трассы [13-15].

Метод состоит в построении «кривых пересеченности» по направлению проектируемой трассы или для района изысканий. Построение «кривых пересеченности» начинается с визуальной разбивки всего перегона на участки с приблизительно одинаковыми топографическими условиями. Затем на каждом участке определяются разности отметок точек, отстоящих на $l, 2l, 3l, 4l \dots nl$ (рис. 1), где l – шаг вычисления (принимался 1 км).

Длина шага и количество шагов n определялись в зависимости от длины оцениваемого участка, необходимой точности и характера рельефа. Для целей проектирования лесовозных автомобильных дорог шаг вычисления l целесообразно назначать 200м, а число шагов $n=10$, т.е. максимальное расстояние между сравниваемыми точками равно 2000м, что позволяет производить оценивание сложности рельефа с достаточной точностью.

На следующем этапе определялось среднее значение разности отметок Δh для каждого шага вычисления l . Для построения кривых пересеченности по оси абсцисс откладываются шаги вычисления, а по оси ординат соответствующие им средние разности отметок Δh (рис. 2). Таким образом, если рельеф представляет собой в определенном трассой направлении некоторую случайную функцию, то кривая пересеченности местности является своеобразной корреляционной функцией рельефа, полностью отражающей ее характер. Эта функция была аппроксимирована следующим выражением:

$$h = 2,303klg \left(1 + \frac{l}{m}\right) \quad (2)$$

где k, m – независимые параметры уравнения, зависящие от типа рельефа.

Для машинных вычислений выяснения физического смысла кривых пересеченности удобнее оказалась аппроксимация их показательной кривой вида:

$$\Delta h = Y_m \left(1 - e^{-\frac{l}{m}}\right) \quad (3)$$

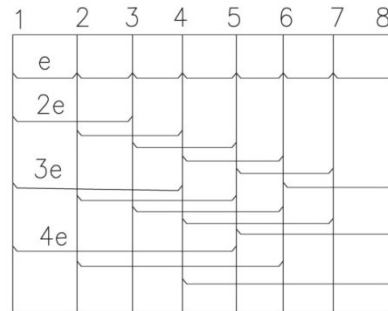


Рис. 1. Порядок вычисления Δh .

Коэффициенты уравнения Y_m и m отражают форму кривой пересеченности и могут быть приняты параметрами рельефа местности. Параметр « Y » определяет рельеф в высотном отношении (перепад высот). Чем больше « Y », тем больше угол наклона кривой пересеченности к оси абсцисс и больше перепад высот местности. В пределах для горизонтальной плоскости $Y=0$, а для вертикальных $Y \rightarrow \infty$. Для горизонтальной плоскости кривая пересеченности переходит в горизонтальную прямую, а для вертикали - в вертикальную.

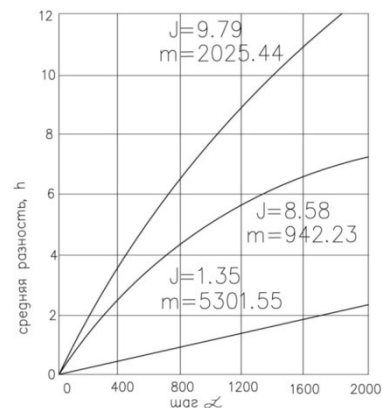


Рис. 2. Кривые пересеченности

Параметр « m » характеризует относительную длину элементов рельефа, т.е. заложения. С увеличением заложений рельефа увеличивается значение « m » и вместе с тем уменьшается степень кривизны кривой пересеченности. Для прямой (или плоскости) $m \rightarrow \infty$.

Процесс вычисления координат кривых пересеченности и параметров « U » и « m » довольно трудоемок, поэтому по описанному алгоритму разработана компьютерная программа. Вводимыми величинами являются отметки земли по трассе и объем массивов.

В процессе работы программы производится вычисление эмпирических координат кривой пересеченности по схеме рис. 1, аппроксимацией кривой по

уравнению (3) с вычислением параметров « U » и « m ». Рассчитываются эмпирические и теоретические координаты и параметры рельефа.

С целью выяснения физического смысла параметров рельефа и влияния типа рельефа на их соотношение вычислим координаты кривых пересеченности и « U » и « m » для ряда периодических кривых, различающихся в первом случае по частоте, а во втором по амплитуде (рис. 3).

Кривые 1, 2, 3 на рис. 3 имитируют типы рельефа местности с заведомо различными заложениями и с одинаковыми перепадами высот.

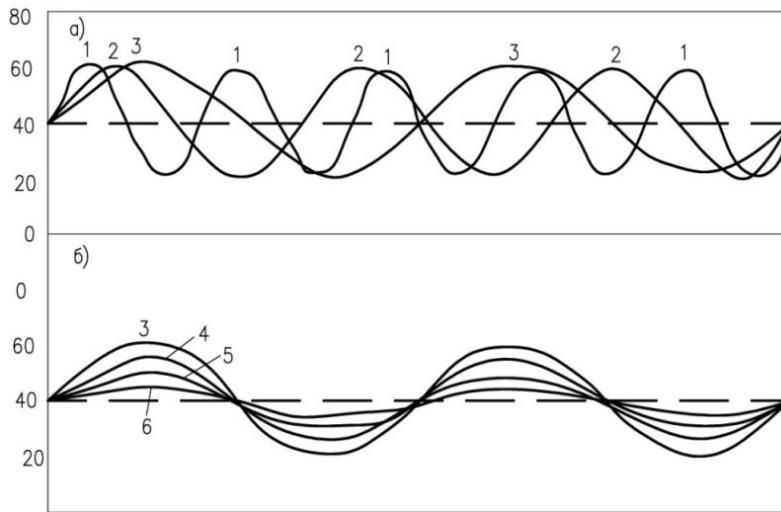


Рис. 3. К анализу параметров рельефа

Увеличение пересеченности, т.е. уменьшение относительной длины элементов рельефа, влечет увеличение кривизны кривых пересеченности и уменьшение параметра « m ». Параметр « U » также увеличивается за счет относительного повышения средней разности отметок (рис. 4). Если же воспроизводятся типы рельефа с одинаковыми заложениями и различными перепада-

ми отметок (случай б), то кривизна кривых пересеченности остается одинаковой для всего семейства периодических кривых с изменением только их наклона к оси абсцисс. При этом параметр « m » остается неизменным, а « U » изменяется соответственно изменению разности отметок.

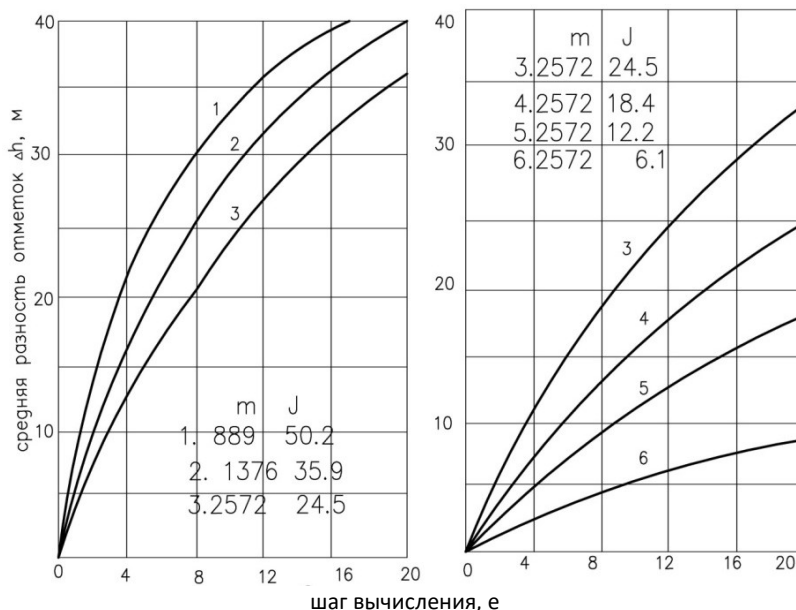


Рис. 4. Кривые пересечения для случаев а) 1, 2, 3; б) 3, 4, 5, 6

Применение кривых пересеченности для оценки сложности рельефа местности позволяет отразить особенности рельефа и дает однозначные цифровые показатели, которые могут быть связаны с рядом параметров, входящих в целевую функцию. Необходимые связи, характеризующие влияние рельефа на назначение параметров трассы и ее стоимостные показатели, определяются экспериментальным путем при статистическом анализе проектных материалов.

Заключение. Поиск оптимального сочетания геометрических элементов и сроков их изменения является экстремальной задачей, и наилучший метод её решения заключается в определении состояния системы, соответствующего минимальному значению целевой функции. Целевая функция, представляющая собой сумму приведённых к исходному году строительных и эксплуатационных затрат, является основной частью математической модели задачи и включает все элементы и связи системы технико-экономического обоснования геометрических элементов.

Входным параметром это обстоятельство определило необходимость математического представления рельефа, что позволило производить оценку рельефа при

помощи кривых пересечённой местности, построенных для заданных направлений вариантов трассы.

Однозначные параметры кривых пересеченности «У» и «т» дают возможность получить в общем виде зависимость строительных квадратов от рельефа местности и характеристики продольного профиля дороги.

Получение расчетных формул на основе математической модели сопряжено с количественной оценкой её связи многообразия и мало изученность факторов, формирующих основные зависимости, что не позволяет осуществить теоретическую формализацию связей системы и делает необходимым проведение экспериментальных исследований. Структура эксперимента определяется характером искомых связей и состоит из двух направлений. Первое направление предполагает изучение влияния рельефа местности и продольного профиля на объем земляных работ на основе проектных материалов. Второе - измерение скоростей движения автомобилей в различных условиях с целью определения характера их воздействия на транспортно-эксплуатационные расходы.

Литература

- Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Скворцова Т.В., Арутюнян А.Ю. Автоматизированное проектирование лесовозной дороги // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 6. С. 38-41.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. школа, 1991. 366 с.
- Гусев Ю.В. Проектирование структуры информационного обеспечения лесовозного автомобильного транспорта // Изв. С.-Петерб. лесотехн. акад. 2016. № 217. С. 131-141.
- Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Могутов Р.В., Микова Е.Ю., Зеликова Ю.А. Комплексные экспериментальные исследования изменения параметров и характеристик дорожных условий, транспортных потоков и режимов движения под влиянием климата и погоды // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 2 (30). С. 156-168.
- Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Belyaev A.N., Chernyshova E.V. Theoretical foundations of the method of designing a clothoid track with approximation of succession of points // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. V. 726. P. 654-667.
- Козлов В.Г. Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: дис. ... д-ра техн. наук. Архангельск: САФУ, 2017. 406 с.
- Кондрашова Е.В. Алгоритм поиска оптимального транспортного плана с оптимизацией вывозки лесопроductии // Вестн. Красноярского гос. аграрного ун-та. 2011. № 9. С. 34-41.
- Котляров Р.Н. Теоретическое обоснование условий безопасности движения лесовозных автопоездов в автомобильных потоках // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 41-44.
- Орлов А.О., Мацнев М.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Могутов Р.В. Обзор методов оптимизации состава машин при строительстве автомобильных дорог // Бюл. транспортной информации. 2019. № 5 (287). С. 14-17.
- Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник. 2017. Т. 21. № 6. С. 43-49.
- Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Применение экономико-математических методов для определения областей использования видов покрытий // Лесной вестн. 2017. Т. 21. № 5. С. 23-32.
- Меркулов С.Н. Энергосберегающие технологии проектирования автомобильных дорог // Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. 2008. Т. 2. № 2. С. 174-180.
- Рябова О.В. Проектирование энергосберегающих конструкций автомобильных дорог // Информ. технологии моделирования и управления. 2008. № 1 (44). С. 106-113.
- Gulevsky V.A., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 327 (4). DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056.
- Belyaev A.N., Kozlov V.G., Vysotskaya I.A., Trishina T.V. Computation of vehicle motion path upon entering turn // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. V. 9. № 1. P. 4527-4531.
- Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. № 2. P. 511-515.
- Бурмистров Д.В. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // Лесной вестн. Forestry Bulletin. 2018. Т. 22. № 5. С. 69-76.
- Чернышова Е.В., Скрыпников А.В., Самцов В.В., Абасов М.А. Лесовозные автомобильные дороги в транспортной сети лесопромышленного предприятия // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2019. № 2 (368). С. 95-101.
- Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429-432.
- Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaikin A.N. Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed // Journal of Physics: Conference Series. The

proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry». 2019. P. 32-41.

References

1. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Skvorcova T.V., Arutyunyan A.YU. Automated design of a logging road // Automation and modern technology. 2016. № 6. P. 38-41.
2. Isachenko A.G. Landscape studies and physical and geographical zoning. M.: Vyssh. shkola, 1991. 366 p.
3. Gusev YU.V. Designing the structure of information support for logging road transport // Izvestia SPbLTA. 2016. № 217. P. 131-141.
4. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mogutnov R.V., Mikova E.YU., Zelikova YU.A. Comprehensive experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and traffic modes under the influence of climate and weather // Forestry Engineering Journal. 2018. V. 8. № 2 (30). P. 156-168.
5. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Belyaev A.N., Chernyshova E.V. Theoretical foundations of the method of designing a clothoid track with approximation of succession of points // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. V. 726. P. 654-667.
6. Kozlov V.G. Methods, models and algorithms for designing logging roads taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Arhangel'sk: SAFU, 2017. 406 p.
7. Kondrashova E.V. Algorithm for finding the optimal transport plan with optimization of timber removal // The Bulletin of KrasGAU. 2011. № 9. P. 34-41.
8. Kotlyarov R.N. Theoretical substantiation of the safety conditions for the movement of logging road trains in automobile flows // Forestry Engineering Journal. 2011. № 2. P. 41-44.
9. Orlov A.O., Macnev M.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mogutnov R.V. Review of methods for optimizing the composition of vehicles in the construction of highways // Byul. transportnoj informacii. 2019. № 5 (287). P. 14-17.
10. Lomakin D.V., Mikova E.YU. Assessment of the influence of constant parameters of the plan and profile on the speed of movement under different conditions of the road surface // Forestry Bulletin. 2017. V. 21. № 6. P. 43-49.
11. Lomakin D.V., Mikova E.YU. Application of economic and mathematical methods for determining the areas of use of coating types // Forestry Bulletin. 2017. V. 21. № 5. P. 23-32.
12. Merkulov S.N. Energy-saving technologies of road design // Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University. 2008. V. 2. № 2. P. 174-180.
13. Ryabova O.V. Design of energy-saving road structures // Inform. tekhnologii modelirovaniya i upravleniya. 2008. № 1 (44). P. 106-113.
14. Gulevsky V.A., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of individual forecasting of technical state of logging machines // Paper presented at the IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. № 327 (4). DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056.
15. Belyaev A.N., Kozlov V.G., Vysotskaya I.A., Trishina T.V. Computation of vehicle motion path upon entering turn // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. V. 9. № 1. P. 4527-4531.
16. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. № 2. P. 511-515.
17. Burmistrov D.V. Working hypothesis of rhythmic construction of logging roads and its economic and mathematical development // Lesnoj vestn. Forestry Bulletin. 2018. V. 22. № 5. P. 69-76.
18. Chernyshova E.V., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Abasov M.A. Logging roads in the transport network of a timber enterprise // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoj zhurnal (Forestry journal). 2019. № 2 (368). P. 95-101.
19. Bystryancev E.V. Research of the technology of expert assessment of the quality of information support for road transport // Automation and modern technology. 2017. V. 71. № 9. P. 429-432.
20. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaikin A.N. Mathematical models to determine the influence of road parameters and conditions on vehicular speed // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference «Information Technologies in Business and Industry». 2019. P. 32-41.