

## Анализ исследований по обоснованию сроков улучшения геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог

А.Ю. Жук<sup>1а</sup>, С.Ю. Саблин<sup>2б</sup>, А. В. Скрыпников<sup>2с</sup>, И.А. Высоцкая<sup>2д</sup>, Е.Ю. Микова<sup>3е</sup>

<sup>1</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>2</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, Воронеж, Россия

<sup>3</sup> Сыктывкарский лесной институт (филиал Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета) им. С.М. Кирова», ул. Ленина, 39, Сыктывкар, Россия

<sup>а</sup> lpf@brstu.ru, <sup>б</sup> sablinSYu@mail.ru, <sup>с</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru, <sup>д</sup> i.a.trishina@gmail.com, <sup>е</sup> sli\_mikova\_elena@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6706-4223>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>,

<sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6209-7840>

Статья поступила 21.01.2021, принята 22.04.2021

*В статье подробно рассмотрено и проанализировано состояние теоретических исследований по обоснованию сроков улучшения геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог. По мере увеличения интенсивности движения на лесовозных автомобильных дорогах возникает необходимость оптимального проектирования геометрических элементов дорог. Повышение качества проектов и их технико-экономической обоснованности, а также сокращение затрат и сроков проектирования может быть достигнуто за счет использования современных методов оптимизации и строгой математической обоснованности. Проведенный анализ позволил наметить цели, задачи и общую методологию исследований разработки методов оптимального проектирования и этапного совершенствования геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог, а также экспериментальным путём вывести приближенные формулы, описывающие закономерность изменения сложности продольного профиля при различном развитии трассы относительно прямой линии, что дает возможность формализовать процесс поиска оптимального сочетания длины трассы и распределения проектных продольных уклонов. Очередность строительства лесовозной автомобильной дороги касается всех ее элементов конструкции дорожной одежды. Одновременно с увеличением ширины проезжей части и достройкой дорожной одежды можно допустить реконструкцию на некоторых участках продольного профиля или плана трассы. Представленная комплексная оценка теоретических исследований по обоснованию сроков улучшения геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог приобретает экономическое, техническое и природоохранное значение и может являться базой для поиска оптимального сочетания длины трассы и распределения проектных продольных уклонов. Также экспериментальным путём выведены приближенные формулы, описывающие закономерность изменения сложности продольного профиля при различном развитии трассы относительно прямой линии.*

**Ключевые слова:** геометрические параметры дорог, продольный профиль, трасса, продольный уклон, проектирование трассы.

## Research analysis to substantiate the terms of geometric parameters improvement of timber-carrying forest roads

A.Yu. Zhuk<sup>1а</sup>, S.Yu. Sablin<sup>2б</sup>, A.V. Skrypnikov<sup>2с</sup>, I.A. Vysotskaya<sup>2д</sup>, E.Yu. Mikova<sup>3е</sup>

<sup>1</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolutsii Prospect, Voronezh, Russia

<sup>е</sup> Syktyvkar Forestry Institute of St. Petersburg State Forestry University; 39, Lenin St., Syktyvkar, Russia

<sup>а</sup> lpf@brstu.ru, <sup>б</sup> sablinSYu@mail.ru, <sup>с</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru, <sup>д</sup> i.a.trishina@gmail.com, <sup>е</sup> sli\_mikova\_elena@mail.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6706-4223>,

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>,

<sup>е</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6209-7840>

Received 21.01.2021, accepted 22.04.2021

*The article discusses in detail and analyzes the state of theoretical research to substantiate the terms of geometric parameters improvement of timber-carrying forest roads. As the traffic intensity increases on forest roads, it becomes necessary to optimally design their geometric elements. Improving the quality of projects and their technical and economic feasibility, as well as reducing costs and design time can be achieved through the use of modern optimization methods and strict mathematical justification. The analysis made it possible to outline the objectives, tasks and general research methodology for the development of methods for optimal design and stage-by-stage improvement of the geometric elements of forest roads, as well as experimental ways to derive approximate formulas describing the pattern of changing the complexity of the longitudinal profile with various development of the track relative to a straight line, which allows to formalize the process of finding the optimal combination of the length of the track and the distribution of project longi-*

*tudinal slopes. The priority of the construction of a timber-carrying forest road concerns all its elements of the pavement structure. Simultaneously, with the increase in the width of the roadway and the completion of the pavement, it is possible to allow reconstruction in some sections of the longitudinal profile or the route plan. The presented comprehensive assessment of theoretical studies to substantiate the terms of geometric parameters improvement of timber-carrying forest roads, acquires economic, technical and environmental significance and can be the basis for finding the optimal combination of the length of the route and the distribution of the design longitudinal slopes. Also, approximate formulas are derived experimentally, describing the regularity of the change in the complexity of the longitudinal profile with different development of the track relative to a straight line.*

**Keywords:** geometric parameters of roads, longitudinal profile, route, longitudinal slope, route design.

**Введение.** Опыт проектирования и строительства лесовозных автомобильных дорог свидетельствует о том, что в условиях непрерывного увеличения транспортной работы дороги наиболее эффективным является обоснование ее параметров с учетом определенной перспективы и необходимости рассредоточения во времени капитальных вложений.

Специфика автомобильного транспорта требует поиска особых путей в обосновании проектных решений, но, тем не менее, отдельные методы, разрабатываемые в настоящее время для выбора технических параметров дорог и сроков их изменения, применимы для решения многовариантных технико-экономических задач автодорожного проектирования. Сюда могут быть отнесены опубликованные в работах [1-3] методы многомерного направленного поиска, расчлененного поиска, расчлененного анализа и другие, основанные на модификации метода динамического программирования, в котором за критерий оптимальности принят минимум суммарных приведенных затрат, наиболее приемлемый для решения задач транспортного строительства, т.к. он позволяет учесть непрерывное увеличение грузооборота и возможность отдаления во времени капитальных вложений.

По мере увеличения интенсивности движения на лесовозных автомобильных дорогах возникла необходимость оптимального проектирования геометрических элементов дорог. В работе [4] впервые предлагается схема технико-экономического обоснования продольных уклонов радиусов горизонтальных кривых и ширины земляного полотна для различных условий рельефа. Рекомендации даются на основе экспериментальных данных. Основным фактором, от которого зависят транспортные затраты, является время пробега автомобилей. Время пробега связывается со скоростью движения автомобиля и с удлинением трассы в результате ее развития. Скорость движения находится в зависимости от распределения продольных уклонов и от радиусов горизонтальных кривых.

Бесспорным является вывод авторов о том, что все элементы дороги и последовательность их строительства должны определяться только на основе технико-экономических расчетов с учетом строительных и эксплуатационных затрат. Как необходимое условие очередности строительства высказывается требование предусматривать при проектировании дорог возможность улучшения параметров трассы за счет снижения бесполезных затрат. Очевидным недостатком методики, легко объяснимым небольшими размерами движения того времени, является недостаточный учет влияния интенсивности на размеры транспортных затрат и на назначение сроков реконструкции элементов дорог. Однако в работе изложены важнейшие принципы про-

ектирования автомобильных дорог с учетом очередности строительства, актуальные и в настоящее время.

Приведенная в [5] методика технико-экономического обоснования позволяет производить оценку проектных решений по эффективности с учетом основных составляющих себестоимости перевозок. На основании рекомендуемых расчетных формул может быть дано обоснование мероприятий, повышающих транспортно-эксплуатационные показатели и безопасность движения на участке дороги небольшой длины. Кроме того, методика может быть использована для обоснования оптимальной очередности строительства дороги, т.к. сроки введения отдельных элементов и повышения их транспортных качеств могут быть оценены с точки зрения народнохозяйственной эффективности. В методике большое значение придается учету потерь от дорожно-транспортных происшествий.

Развитию методов технико-экономического обоснования посвящены работы [6-9]. Авторами рассматриваются два типа задач, возникающих при проектировании лесовозных автомобильных дорог. Первая задача предполагает оптимальное распределение лимитированных капитальных вложений между объектами с целью получения минимальных транспортных издержек. Вторая задача возникает в случае, когда нужно получить транспортные расходы определенного уровня при минимальных капитальных затратах. Дифференцируя целевую функцию и приравнявая частные производные нулю, путем решения системы уравнений находят значения пообъектных первых производных. В случае оптимальной схемы распределения капиталовложений эти частные производные равны между собой и равны коэффициенту сравнительной эффективности. Аналогично решаются задачи второго типа. В статье даются предложения по конкретизации зависимостей и их раскрытию при решении практических задач.

**1. Критерий эффективности капиталовложений.** Уточнения критерия эффективности капиталовложений в строительство лесовозных автомобильных дорог позволяют более дифференцированно подходить к составлению вариантов и более полно учитывать связь размеров капитальных вложений и изменения транспортных расходов.

Кац А.В. и др. [10-13] рекомендуют методику обоснования оптимальных геометрических элементов с учетом неравномерности рациональной ширины проезжей части. Он ее рассматривает как три случая, предполагающие строительство по минимальным параметрам, по максимальным параметрам или стадийное строительство. Разработки выполнены автором для дорог, проложенных в равнинной местности, поэтому в методике недостаточно учитывается влияние продольного профиля на обоснование ширины проезжей части

и сроков ее увеличения. Предлагаемый метод обоснования может быть применен только к участкам дорог небольшой длины.

Вопросы этапного улучшения параметров дорог нашли отражение в работах Хомяка Я.В., Папонова Н.Н. [14-17]. Критерием оптимальности срока повторных капиталовложений принят минимум суммарных приведенных затрат. Оптимальный срок вычисляется путем определения минимума целевой функции, включающей строительные, транспортно-эксплуатационные затраты и учитывающей темп прироста интенсивности движения.

При обосновании мероприятий, повышающих транспортно-эксплуатационные качества лесовозных автомобильных дорог, наиболее правильным подходом является поиск оптимального значения интенсивности движения.

В некоторых источниках литературы [18-21] на основе исследования режимов движения автомобильных потоков предлагается использование в качестве критерия работы дороги термина «уровень загрузки дороги», означающего отношение интенсивности движения, зафиксированной на рассматриваемом участке дороги, к пропускной способности этого участка. Уровень загрузки, характеризующей некоторое рациональное количество автомобилей на дороге определенной категории, считается рациональным и определяется на основе минимизации суммарных приведенных затрат. При этом должны учитываться конкретные условия участка дороги, поскольку система средних показателей в этом случае неприменима. Определение рационального уровня загрузки для большего участка дороги связано с вычислением среднестатистических показателей скорости движения и себестоимости перевозок.

Рациональные уровни загрузки имеют различные пределы для каждого сочетания исходных данных, характеризующих техническую категорию дороги, рельеф местности, интенсивность движения и состав автомобильного потока.

Принцип очередности строительства в значительной мере относится к поперечному профилю дороги, определяющему ширину проезжей части и число полос движения.

В этом отношении интересными являются работы Некрасова В.К. и Смирнова М.В. [22, 23]. Авторы предлагают ряд поперечных профилей, приемлемых для очередности строительства. Следует, однако, заметить, что предлагаемая классификация не вполне соответствует размерам интенсивности движения, существующим на лесовозных автомобильных дорогах нашей страны в настоящее время. Необходимо более дифференцированно подходить к назначению ширины проезжей части двухполосных дорог.

Очередность строительства лесовозной автомобильной дороги в определенной степени касается всех ее элементов конструкции дорожной одежды. Одновременно с увеличением ширины проезжей части и достройкой дорожной одежды можно допустить реконструкцию на некоторых участках продольного профиля или плана трассы. Поэтому обоснование сроков реконструкции и очередности строительства производится по одной методике. В работах Кагановича В.Е. [3, 8, 24] выведены основные принципы обоснования эффективности распределения во времени капитальных вложений. Доказана необходимость периодического улучшения геометрических параметров дорог путем введения в практику принципа очередности строительства.

Оптимальные сроки проведения мероприятий определяются на основе минимизации суммарных приведенных затрат.

В указанных работах получает дальнейшее развитие предложенный в работе [8] принцип вычисления приведенных суммарных затрат по схеме непрерывного интегрального суммирования:

$$C = K_0 \int_0^{t_1} \frac{\Delta_0(t)}{e^{Et}} dt + \frac{K_1}{e^{Et_1}} + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Delta_1(t)}{e^{Et}} dt + \dots + \frac{K_m}{e^{Et_m}} + \int_{t_m}^{T_p} \frac{\Delta_m(t)}{e^{Et}} dt \quad (1)$$

где  $K_0, K_1, \dots, K_m$  – начальные и последующие капиталовложения, тыс. руб.;

$\Delta_0(t) \dots \Delta_m(t)$  – годовые транспортно-эксплуатационные расходы за определенный период, тыс. руб.;

$t_1, t_2, \dots, t_m$  – сроки внесения дополнительных капитальных затрат;

$E$  – нормативный коэффициент приведения затрат к исходному году;

$T_p$  – расчетный срок суммирования затрат.

Интегральное суммирование позволяет более точно отразить процесс прироста эксплуатационных затрат и дает возможность производить с целевой функцией необходимые математические операции.

Интегральное суммирование позволяет более точно отразить процесс прироста эксплуатационных затрат и дает возможность производить с целевой функцией необходимые математические операции.

В связи с комплексным влиянием на лесовозную автомобильную дорогу и автомобильный поток различных воздействий, нарушающих их совместную экономичную работу, Кагановичем В.Е. [10] выдвигается принцип системного подхода к проектированию основных конструктивных и геометрических параметров дорог с учетом их стадийного повышения. Подобный подход требует решения сложных многовариантных задач нелинейного программирования, но он весьма актуален и осуществим в условиях развития современных информационных технологий.

Для зарубежных исследований и для практики повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог характерно широкое применение компьютерной техники, аппарата теории исследования операций и системного анализа. В качестве примера применения системного подхода к обоснованию мероприятий этапной реконструкции элементов автомобильных дорог, может служить регулярная детальная автоматизированная регистрация всех существующих состояний элементов дорог и изменений, которым она подвергалась [18].

## 2. Исследование зависимости параметров рельефа от коэффициента развития сети лесовозных автомобильных дорог.

Оценка сложности рельефа местности с помощью кривых пересеченной местности производится отно-

сительно одного направления. При изменении положения трассы параметры рельефа изменяются. Была экспериментально получена характеристика изменения параметров рельефа при трассировании с определённым развитием линии по сравнению с прямым направлением.

Поиск оптимального сочетания распределения проектных продольных уклонов с коэффициентом развития сети для лесовозных автомобильных дорог допускает использование той же методики, но с корректировкой форм проектирования лесовозных автомобильных дорог. Новые формулы получены также экспериментальным путем при трассировке по картам в различных условиях местности.

При опытной трассировке не ставились условия поддержания нормативов каких-либо технических категорий дорог ни по продольным уклонам, ни по радиусам горизонтальных кривых. Целью эксперимента было составление определенного ряда параметров рельефа, полученных путем проложения линии с возрастающим коэффициентом развития. При этом основным

требованием было снижение продольных уклонов при увеличении развития линии.

Для проведения эксперимента 19-ти проектировщикам средней квалификации было предложено проложить на картах по 2-4 трассы с различными коэффициентами развития относительно заданного прямого направления, но при условии обязательного выполнения основного требования.

После выполнения первого этапа работы по всем вариантам были построены кривые пересеченной местности и вычислены параметры «У» и «m». Те сочетания У, m и k, в которых не выполнено основное требование, были отброшены, из оставшихся составлена исходная таблица для проведения корреляционно-регрессионного анализа. Независимыми переменными приняты выражения  $m_0 K_n, \frac{Y_0}{K_n}$ , где  $m_0$  и У – параметры рельефа исходного прямого направления, а  $K_n$  – коэффициент развития трассы. Зависимые переменные  $m_n$  и  $Y_n$  – параметры рельефа вариантов трассы с коэффициентами развития  $K_n$  (рис. 1).

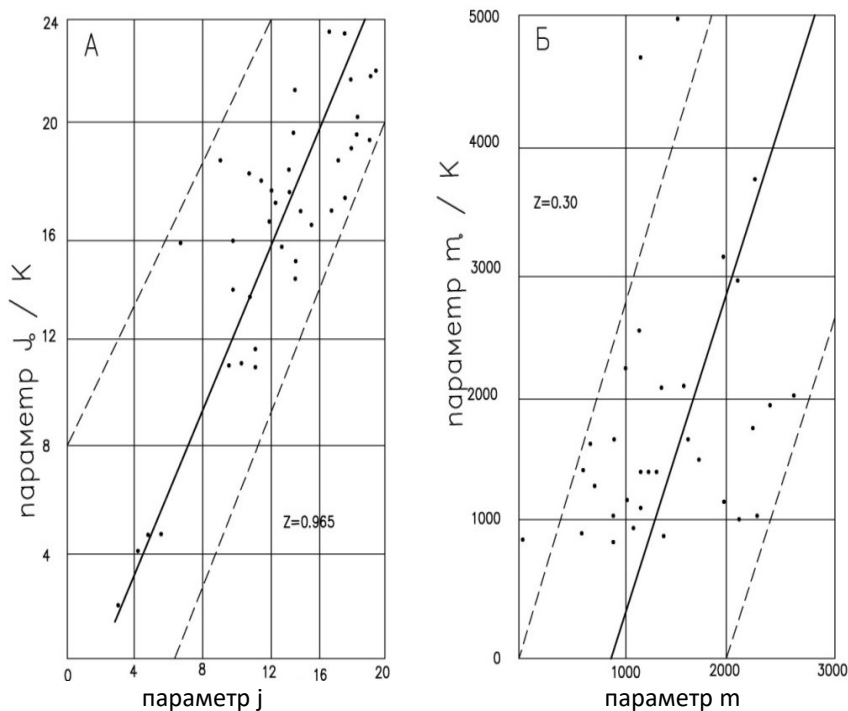


Рис. 1. Зависимость параметров J(A) и m (Б) от коэффициента развития трассы K

Представительность и достаточность сформированных таким образом выборок может быть обосновано следующими доказательствами. При классификации типов рельефа на 5 групп каждой группе рельефа соответствовала около 4-х карт. На каждой карте было проложено два прямых направления, по каждому из которых запроектировано по 2-3 трассы с коэффициентами развития до 3,48. Таким образом, экспериментом охвачено достаточно большое количество случаев практического трассирования.

Прежде всего, определялась теснота связи между зависимыми и независимыми параметрами. Вид полей корреляции дает основание предположить линейный характер связи между параметрами. Проверка нормальности распределения произведена путем нанесе-

ния кумулятивных кривых. На рис. 2 видно, что распределение величин в анализируемой выборке подчиняется закону, близкому к нормальному.

Для выборки, представляемой полем корреляции на рис. 1 (A),  $r = 0,965$ . Для случая (Б)  $r = 0,30$ . Далее необходима проверка значимости выборочного коэффициента корреляции.

Поскольку коэффициент корреляции выборки отличается от коэффициента корреляции генеральной совокупности  $r$ , не исключено, что если  $r = 0$ , то  $r$  будет заметно отличаться от нуля, вследствие случайных отклонений. Оценка значимости  $r$  производится путем проверки нулевой гипотезы, т.е. предположения об отсутствии связи между параметрами в генеральной совокупности [9].

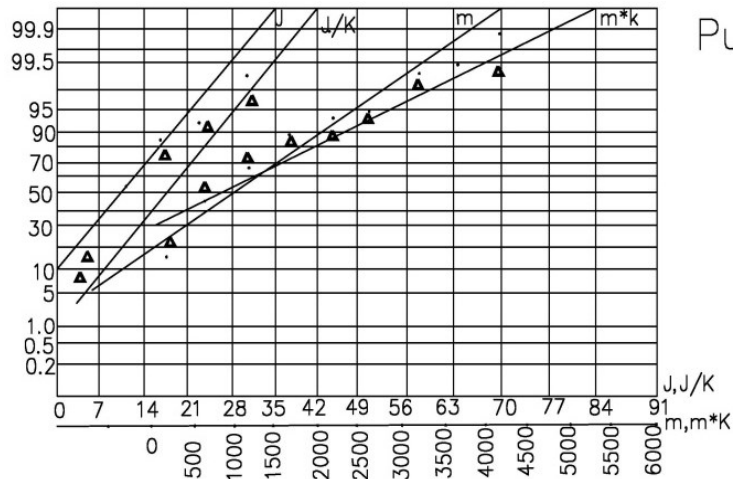


Рис. 2. Распределение значений J(1); J0k(2); m(3); m0/k(4)

Ошибка коэффициента корреляции определяется как

$$\sigma_r = \frac{1-\rho^2}{\sqrt{N-1}} \quad (1)$$

где N – объем выборки.

Но, если предположить, что  $\rho = 0$ , тогда:

$$\sigma_2 = \frac{1}{\sqrt{N-1}} \quad (2)$$

Если найденный по выборочным данным коэффициент корреляции находится (с вероятностью 0,95) в интервале  $\pm 2\sigma_r$ , то гипотеза об отсутствии связи является правдоподобной и лишь за пределами этого интервала коэффициент корреляции выборочной совокупности позволяет с уверенностью говорить о наличии корреляционной связи в генеральной совокупности.

Для рассматриваемого случая  $\sigma_2 = 0,154$ .

В выборке А:  $\frac{r}{\sigma_r} = 6,4 > 2$ .

В выборке Б:  $\frac{r}{\sigma_r} = 1,95 < 2$ .

Следовательно, в первом случае нулевая гипотеза исключается и корреляционная связь весьма существенна. Во втором случае нулевую гипотезу исключать нельзя, поскольку величина коэффициента корреляции выборки попадает в интервал, в котором предполагается  $\rho = 0$ . Связь признается несущественной.

После оценки тесноты связи между параметрами определяется характер этой связи. По виду полей корреляции предполагается линейная связь между параметрами. В связи с этим выборки были обработаны с применением современных информационных технологий по стандартной программе, дающей возможность определять коэффициенты линейной регрессии. В результате получены корреляционные уравнения:

$$Y=0,692+0,74 \quad (3)$$

$$Y=0,692+0,74 \frac{Y_0}{K} \quad (3)$$

со средней квадратической ошибкой  $S_{xy} = \pm 570$ .

Интервалы достоверного применения зависимостей (3 и 4) следующие:

$$\begin{aligned} 2,33 < Y_0 < 265; \\ 647 < m_0 < 7208; \\ 1,00 < K_n < 3,48. \end{aligned}$$

Далее необходимо произвести проверку полученных выражений на вариантах трассирования, не вошедших в выборочную совокупность. Выполненные сравнения показали, что результаты вычисления по формулам находятся в пределах доверительных интервалов для значений Y и m.

Таким образом, экспериментальным путём выведены приближенные формулы, описывающие закономерность изменения сложности продольного профиля при различном развитии трассы относительно прямой линии. Использование зависимостей (3 и 4) делает возможной формализацию процесса поиска оптимального сочетания длины трассы и распределения проектных продольных уклонов.

**Заключение.** Анализ исследований, выполненных в России и за рубежом, по разработке методов оптимального проектирования и этапного совершенствования геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог, позволяет сделать следующие выводы.

Решение задач этапного развития геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог производится, как правило, в отношении только ширины проезжей части и числа полос движения. Технико-экономическое обоснование ширины проезжей части осуществляется на основе минимума суммарных приведенных затрат. Структура продольного профиля в расчетах не учитывается, поэтому методика может быть использована для обоснования проекта участка дороги с одним определенным значением продольного уклона.

В проанализированных исследованиях не используются принципы системного подхода к решению технико-экономических задач по определению оптимальных геометрических характеристик дорог. Между тем на значения и структуру элементов целевой функции оказывает влияние множество факторов, отдельные из которых могут достаточно сильно изменять результат решения. Взаимосвязь этих факторов также является предметом исследования. Кроме того, множество возможных сочетаний элементов дороги, характеризую-

щих ее техническое состояние, представляют собой множество вариантов, выбор из которых приемлемого сочетания является сложной задачей.

Кривые пересечённой местности характеризуют рельеф по определённому трассой направлению. При изменении направления трассы изменяются параметры рельефа, поэтому важным является вывод о наличии

связи между параметрами рельефа местности и коэффициентом развития трассы. В результате статистического анализа данных получены основные уравнения, связывающие характеристики рельефа местности по трассе с характеристиками прямого направления.

#### Литература

- Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М.: Машиностроение, 1971. 416 с.
- Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Скворцова Т.В., Арутюнян А.Ю. Автоматизированное проектирование лесовозной дороги // Автоматизация. Современные технологии. 2016. № 6. С. 38-41.
- Бурмистров Д.В. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // Лесной вестн. 2018. Т. 22. № 5. С. 69-76.
- Васильев А.П., Сиденко В.М. Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. М.: Транспорт, 1990. 304 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., Могутнов 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.
- Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429-432.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестн. 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.
- Gulevsky V.A., 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).
- Sushkov S.I., Kruchinin I.N., Grigorev I.V., Nikiforov A.A., Timokhova O.M. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement // Journal of the Balkan Tribological Association. 2019. № 25 (3). P. 678-694.
- Сиденко В.М., Батраков О.Т., Леушин. А.И. Технология строительства автомобильных дорог. Технология строительства дорожных одежд. Киев: Вища школа, 1970. Ч. 2. 230 с.
- Chernyshova E.V., Mogutnov R.V., Levushkin D.M. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. 2018. № 1015 (3). DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032069.
- 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.

#### References

- Litvinov A.S. Handling and stability of the car. M.: Mashinostroenie, 1971. 416 p.
- 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.
- 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.
- Vasil'ev A.P., Sidenko V.M. Road maintenance and traffic management. M.: Transport, 1990. 304 p.
- Gusev YU.V. Designing the structure of information support for logging road transport // Izvestia SPbLTA. 2016. № 217. P. 131-141.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
10. Kondrashova E.V. Algorithm for finding the optimal transport plan with optimization of timber removal // The Bulletin of KrasGAU. 2011. № 9. P. 34-41.
  11. 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.
  12. 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.
  13. 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.
  14. 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.
  15. Merkulov S.N. Energy-saving technologies of road design // Problems of Contemporary Science and Practice. Vernadsky University. 2008. V. 2. № 2. P. 174-180.
  16. Gulevsky V.A., 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).
  17. Sushkov S.I., Kruchinin I.N., Grigorev I.V., Nikiforov A.A., Timokhova O.M. Enhancing quality of road pavements through adhesion improvement // Journal of the Balkan Tribological Association. 2019. № 25 (3). P. 678-694.
  18. Sidenko V.M., Batrakov O.T., Leushin. A.I. Technology of road construction. Technology of construction of road clothes. Kiev: Vishcha shkola, 1970. CH. 2. 230 p.
  19. Chernyshova E.V., Mogutnov R.V., Levushkin D.M. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series. 2018. № 1015 (3). DOI: 10.1088/1742-6596/1015/3/032069.
  20. 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.