

## Методы оптимизации транспортных сетей лесовозных автомобильных дорог

V.V. Nikitin<sup>1a</sup>, A.V. Skrypnikov<sup>2b</sup>, I.A. Vysotskaya<sup>2c</sup>, P.V. Tikhomirov<sup>3d</sup>,  
E.D. Shcherbakov<sup>2e</sup>, A.Yu. Zhuk<sup>4f</sup>

<sup>1</sup> Мытищинский филиал Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, ул. 1-я Институтская, 1, Мытищи, Россия

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

<sup>3</sup> Брянский государственный инженерно-технологический университет, пр. Станке Димитрова, 3, Брянск, Россия

<sup>4</sup> Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

<sup>a</sup> nikitinvv@bmsu.ru, <sup>b</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru, <sup>c</sup> i.a.trishina@gmail.com, <sup>d</sup> vtichomirov@mail.ru,

<sup>e</sup> EDsherbakov@mail.ru, <sup>f</sup> lpf@brstu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5284-8116>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6209-7854>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Статья поступила 29.10.2021, принята 02.11.2021

*В статье нашли отражение результаты исследований в области теории проектирования сети лесовозных дорог. Применение новых эффективных решений требует строго математического обоснования и анализа уже имеющихся подходов. Формализация связей различных параметров лесовозной автомобильной дороги и подробный анализ практик позволяют в будущих исследованиях учесть влияние параметров дороги и автомобильного потока на элементы, определяющие оптимальную ширину лесосеки или оптимальное расстояния между усами. Разработанные в настоящее время методы оценки технико-эксплуатационного состояния лесовозных автомобильных дорог и существующие критерии оценки состояния отдельных элементов дороги, наметить путь устранения выявленных неисправностей и определить объемы работ по их устранению. Отличительной особенностью лесозаготовительного транспорта является одновременная эксплуатация разветвленной сети дорог различных категорий, эксплуатационные характеристики которых меняются в зависимости от погодных условий, передислокации мест рубок, интенсивности движения и других факторов. Поэтому существующие способы оказываются малоприменимыми для оперативной оценки технико-эксплуатационного состояния при планировании ремонтных работ. В последнее время в связи с внедрением новых видов технологии лесозаготовок и применением современных лесозаготовительных машин ставится вопрос о пересмотре применяемой схемы качественного состава лесовозных путей.*

**Ключевые слова:** проектирование сети дорог; лесовозная автомобильная дорога; оптимальная ширина лесосеки; оптимальное расстояние между усами.

## Methods for optimizing transport networks of timber roads

V.V. Nikitin<sup>1a</sup>, A.V. Skrypnikov<sup>2b</sup>, I.A. Vysotskaya<sup>2c</sup>, P.V. Tikhomirov<sup>3d</sup>,  
E.D. Shcherbakov<sup>2e</sup>, A.Yu. Zhuk<sup>4f</sup>

<sup>1</sup> Mytishchi Branch of the Moscow State Technical University named after N.E. Bauman; 1, 1st Institutskaya St., Mytishchi, Russia

<sup>2</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolution Ave., Voronezh, Russia

<sup>3</sup> Bryansk State Engineering and Technological University; 3, Stanke Dimitrov Pros., Bryansk, Russia

<sup>4</sup> Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

<sup>a</sup> nikitinvv@bmsu.ru, <sup>b</sup> skrypnikovvsafe@mail.ru, <sup>c</sup> i.a.trishina@gmail.com, <sup>d</sup> vtichomirov@mail.ru,

<sup>e</sup> EDsherbakov@mail.ru, <sup>f</sup> lpf@brstu.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5284-8116>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>,

<sup>d</sup> <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>, <sup>e</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6209-7854>, <sup>f</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Received 29.10.2021, accepted 02.11.2021

*The article reflects the results of research in the field of the theory of designing a network of timber roads. The use of new effective solutions requires a strictly mathematical justification and analysis of existing approaches. Formalization of relationships between various parameters of a timber road and a detailed analysis of practices allows future studies to take into account the influence of road and traffic parameters on the elements that determine the optimal width of the cutting area or the optimal distance between the mustache. The currently developed methods for assessing the technical and operational state of logging roads and the existing criteria for assessing their condition require a lot of time to determine them. Although these methods make it possible to determine, with*

sufficient accuracy, the condition of individual road elements, outline a way to eliminate the identified malfunctions and determine the scope of work for their elimination. A distinctive feature of logging transport is the simultaneous operation of an extensive network of roads of various categories, the operational characteristics of which vary depending on weather conditions, relocation of felling sites, traffic intensity and other factors. Therefore, the existing methods turn out to be of little use for an operational assessment of the technical and operational state when planning repairs. Recently, in connection with the introduction of new types of logging technology and the use of modern logging machines, the issue of revising the applied scheme of the qualitative composition of logging routes has been raised.

**Keywords:** road network design; timber road; optimal cutting width; optimal distance between roads.

**Введение.** В России теория проектирования сети лесовозных дорог и вопросы выбора типа транспорта для различных условий лесозаготовки разрабатывались С.С. Сыромятниковым, С.К. Лебеевым, М.М. Коруновым, М.М. Ильиным, В.Г. Нестеровым, В.С. Шалаевым, В.К. Курьяновым, С.И. Сушковым и др. [1–7].

Суть методики размещения путей лесотранспорта, применяемой в Российской Федерации, заключается в том, что оптимальные значения расстояний между путями лесотранспорта (так называемая густота сети веток и усов) устанавливаются путем нахождения минимальной суммы переменных затрат, отнесенных к  $1 \text{ м}^3$  лесопродукции. При этом многими авторами предлагаются методы установления наивыгоднейшего расстояния между усами и ветками, исходя из принципа минимума денежных затрат [8].

**Анализ методов определения оптимальной ширины лесосеки или оптимальных расстояний между усами.** Применение в расчетах значительного количества исходных данных вызывает на практике некоторые трудности в применении этих методов.

Для облегчения анализа методов принимаем единые обозначения наиболее часто встречаемых параметров:  $x$  — искомое расстояние между усами, которое одновременно является шириной лесосеки, км;  $y$  — расстояние между верхними складами, расположенными на усе, идущем вдоль лесосеки (в определенных условиях ширина лесосеки), км;  $C$  — теряемые денежные затраты (или затраты труда) на постройку 1 км уса за вычетом части материалов, которые могут использоваться повторно, р./км или чел.-дни/км;  $C_2$  — теряемые затраты на строительство одного склада, р. или чел.-дни;  $d_1$  — переменные (т. е. зависящие от расстояния) удельные затраты по трелевке, отнесенные на  $1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$ ;  $d_v$  — переменные удельные затраты перевозки по усам, р./ $1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$ ;  $d$  — ликвидный запас на 1 га эксплуатационной площади,  $\text{м}^3$ ;  $C_{\text{см}}$  — стоимость машино-смены, (включая зарплату персонала) трелевочной машины, р.;  $\tau$  — продолжительность рабочей смены за исключением времени на подготовительно-заключительные работы, мин;  $t_{\text{из}}$  — подготовительно-заключительное время в смену, мин;  $l_{\text{ср}}$  — среднее расстояние трелевки, км;  $V_{\text{ср.тех.}}$  — средняя техническая скорость движения трактора, км/ч;  $Q$  — нагрузка на рейс трактора,  $\text{м}^3$ ;  $k_p$  — коэффициент развития трассы усов, зависящей от рельефа местности, почво-грунтовых условий, руководящего подъема и вида транспорта;  $k'_p$  — коэффициент удлинения трелевки для учета препятствий на местности.

Одной из первых формул для определения оптимального расстояния между лесовозными усами была формула, предложенная С.А. Сыромятниковым [9]:

$$x = 6,3 \sqrt{\frac{C_1}{dd_m}} \text{ км.}$$

Размещение сети усов увязывается с определением оптимальных размеров лесосек, рассматривает оптимальные размеры лесосек в тесной увязке с принципами возобновления леса. Так, зависимость возобновления сосны от ширины рубок он рекомендует определять из выражения [10]:

$$N = \frac{\int_1^x \left( \frac{307}{x} - 0,07 \right) dx}{x}, \quad (1)$$

где  $N$  — численность всходов и подростов на гектаре.

Рассматривая вопрос определения ширины «концентрированной» лесосеки, В.Г. Нестеров получил следующие формулы для определения размеров лесосеки:

$$x - \frac{C_2}{20dd_m y^2} = 0, \quad (2)$$

где  $y$  находится из уравнения:

$$y^4 + \frac{C_2}{C_1} y^3 - \frac{C_2^2}{2dd_m C_1} = 0. \quad (3)$$

Формула (2) представляет собой преобразованную формулу К.С. Лебедева [5], которая имеет вид:

$$x = \frac{B}{Ay^2} \text{ км}, \quad (4)$$

где  $y^4 + \frac{B}{D} y^3 - \frac{B^2}{A \cdot D} = 0$ , где  $A$  — коэффициент, равный  $0,2 k'_p d_m$ ;  $B$  — коэффициент, равный  $\frac{C_2}{100\alpha^2}$ ;  $D$  — коэффициент, равный  $\frac{k_p C_1}{100\alpha^2}$ ;  $d_m$  — себестоимость  $1 \text{ м}^3 \cdot \text{км}$  на трелевке.

Если взамен  $y$  использовать в качестве второго независимого переменного соотношения  $\frac{y}{x} = g$ , то получим формулу:

$$x^2 - 0,16 \sqrt{\frac{C_2}{dd_m}} x^{yz} - \frac{0,04C_1}{dd_m} = 0 \quad (5)$$

Эта формула фактически является формулой С.А. Сыромятникова в частично преобразованном виде. По С.А. Сыромятникову она имеет вид:

$$x^2 - 0,16 \sqrt{\frac{C_2}{dd_m}} x^{yz} - \frac{40C_1}{dd_m} = 0. \quad (6)$$

При выводе формулы (4) К.С. Лебедевым среднее расстояние трелевки было принято равным  $= 0,2(x + y)$ , а при выводе формулы (6) К.С. Сыромятников принял

$l_{cp} = 0,25x + 0,16y$ . Анализируя эти формулы, можно заключить, что решения обоих авторов отвечают лишь одному из частных случаев размещения трелевочных волоков в пределах лесосеки.

С.А. Сыромятниковым [9] предложено находить наилучшее расстояние между усами по уравнению:

$$x^2 - \frac{1}{10a} \left[ \frac{c_2(k-0,25\frac{dy}{dm})}{d_m^2 a} \right] 0,5 x^{0,5} - \frac{10c_1}{d_m a d} = 0, \quad (7)$$

где  $a$  — коэффициент, равный 0,21–0,25, в зависимости от принятой схемы сети трелевочных волоков;  $k$  — коэффициент, равный 0, когда погрузка производится в любой точке уса, и 0,25 — при прямоугольной и диагональной схемах размещения волоков;  $dy$  — переменные затраты перевозки по усам, руб/м<sup>3</sup>.км;  $dm$  — переменная часть расходов по трелевке:  $dm = \frac{120C_{cm}}{\tau V_{cpmex} Q}$

Нахождение величины  $x$  из уравнения (7) требует сложных вычислений, и поэтому для облегчения расчетов авторами [11; 12] разработаны соответствующие номограммы.

Методы определения оптимального расстояния между усами, предложенные С.А. Сыромятниковым и С.К. Лебедевым, не учитывают влияние затрат на содержание усов в исправности, повторного использования лесов, когда трелевка леса производится только с одной стороны дороги. С другой стороны, влияние расходов на устройство погрузочных пунктов можно было бы не учитывать в связи с их незначительностью, что позволяет весьма упростить общий вид расчетной формулы для определения оптимального расстояния между усами.

В связи с тем, что стоимостные показатели на лесосечных работах имеют неустойчивый характер, считается целесообразным решать рассматриваемую задачу при минимуме трудозатрат, отнесенных к 1 000 м<sup>3</sup> леса. Предложенное уравнение трудозатрат на основные и подготовительные работы имеет вид:

$$T = \frac{10kT_1}{\alpha x} + \frac{10T_2}{\alpha xy} + \frac{10^3 n}{\tau Q} \left[ t + \frac{10^3}{V} (\phi x + \gamma y) \right] \quad (8)$$

где:  $T_1$  — трудозатраты на строительство и разборку 1 км уса, чел.-дни;  $T_2$  — трудозатраты на подготовку одного погрузочного пункта, чел.-дни;  $k$  — коэффициент, учитывающий неэксплуатационные участки на трассе уса;  $n$  — число рабочих занятых непосредственно на трелевке;  $V$  — средняя скорость движения в грузовом и порожнем направлениях, м/мин;  $t$  — время формирования и отцепки воза, мин;  $\gamma, \phi$  — коэффициенты зависящие от схемы расположения волоков.

Дифференцируя уравнение (8) и приравнявая первую производную к нулю, после преобразования получим [13]:

$$x = \sqrt{\frac{\tau Q V}{10^5 \phi n \alpha} (k T_1 + \frac{T_2}{V})} \text{ км} . \quad (9)$$

Однако методика, предложенная в работе [13], имеет недостатки, заключающиеся в том, что не учитываются затраты на содержание. Кроме того, автором принимается величина  $V$ , не зависящая от искомой  $x$ . Это неверно, так как очевидно, что чем

меньше  $x$ , тем больше должна быть величина  $V$  для обеспечения достаточным количеством леса бесперебойной работы погрузочных машин.

В [14] определение плотности лесотранспортной сети и установление сети среднего расстояния трелевки должно сводиться к нахождению минимальной стоимости 1 м<sup>3</sup> трелевки к лесовозному усу с учетом других переменных затрат. Минимальную стоимость переменных затрат данный автор рекомендует определять, минимизируя следующее уравнение затрат:

$$C = \frac{C_1 y}{2 \cdot 100 \alpha \alpha x y} + \frac{C_2 y}{2 \cdot 100 \alpha \alpha x y} + \frac{C_3 y}{100 \alpha \alpha x y} \text{ р./м}^3, \quad (10)$$

где  $C_3$  — стоимость трелевки всей древесины, тяготеющей к складу,  $p$ .

В этом уравнении затраты на устройство склада и усов принимаются при одной и той же ширине лесосеки пропорциональными половине ее длины  $y/2$ . При исчислении времени работы трактора в смену в минутах стоимость трелевки всей древесины, тяготеющей к складу, выражается формулой:

$$C_3 = \frac{120 C_{cm} l_{cp}}{(480 - t_n) Q V_{cpmex}} + \frac{C_{cm}(t_1 + t_2)}{(480 - t_n) Q} \text{ руб/м}^3, \quad (11)$$

где  $t_1 + t_2$  — время пребывания трактора в лесу при наборе воза за один рейс, мин.

Анализируя формулу (11), можно сделать вывод, что предпочтительнее принимать вместо  $V_{cpmex}$  величину  $V_k$  (среднюю коммерческую скорость движения), которая учитывает все виды простоев.

Величину этой скорости предлагается определять из выражения [15; 16]:

$$V_k = \frac{V_{cpmex}}{1 + \frac{(t_1 + t_2) V_{cpmex}}{2 l_{cp}}} \text{ км/ч} . \quad (12)$$

Однако в [17–19] показано, что такое изменение уравнения себестоимости трелевки неправильно и, как показывает проведенный авторами расчет, принятие этого предложения ведет к искажению действительной себестоимости трелевки. Расчет по средней коммерческой скорости при малых расстояниях между усами резко уменьшает себестоимость трелевки, а при больших расстояниях существенно увеличивает ее.

Оптимальное расстояние между лесовозными усами, исходя из принципа наименьших суммарных затрат труда или денежных средств на постройку и переноску усов и на трелевку леса, следует определять по формулам [5], которые можно представить в обобщенном виде следующим образом:

$$x = 0,1 \sqrt{\frac{K}{\beta \alpha d_m}} \text{ км} \quad (13)$$

где:  $K$  — затраты труда на постройку 1 км уса, с учетом расходов на подготовку погрузочных пунктов к работе, чел.-дни;  $\beta$  — коэффициент, зависящий от принятой схемы расположения трелевочных волоков ( $\beta = 0,25-0,5$ ).

Автором этой работы было показано, что, в свою очередь, при трелевке хлыстов:

$$d_m = \frac{a}{b + c^2}, \quad (14)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  — коэффициенты, зависящие от способа трелевки и применяемого трелевочного оборудования;  $2$  — средний объем хлыста,  $m^3$ .

Подставив зависимость (14) в формулу (13), можно установить влияние объема хлыстов на величину оптимального расстояния между усами. Предложенный метод определения среднего расстояния между усами отличается своей простотой, малым числом исходных показателей, легкостью их установления и в то же время обеспечивает максимальную экономию труда и наилучшее использование трудовых ресурсов на лесозаготовках.

**Заключение.** Рассмотренные выше методы, предложенные для определения оптимальной ширины лесосеки или оптимальных расстояний между усами, не годятся для использования при размещении ответвлений лесотранспортной сети более высокого порядка, т. е. веток с учетом их примыкания под углом  $\delta < 90^\circ$ .

В последнее время в связи с внедрением новых видов технологии лесозаготовок и применением современных

лесозаготовительных машин ставится вопрос о пересмотре применяемой схемы качественного состава лесовозных путей. Считается, что в целях сокращения затрат труда и денежных средств в строительство и эксплуатацию лесовозных автомобильных дорог, повышения эффективности работы лесовозных автомобилей, а также сохранения в исправном состоянии всей сети лесовозных автомобильных дорог по окончании вывозки для их использования в лесохозяйственных целях и возможного включения в состав общей дорожной сети данного района следует отказаться от строительства усов. Последние могут быть необходимы лишь в отдельных частных случаях, например, при освоении заболоченных лесов в летнее время. За счет исключения веток возможно увеличение количества магистралей в 1,8–1,4 раза, а за счет исключения усов — в 4 раза [20]. При этом, по мнению ряда отечественных ученых [3; 5–7], наиболее выгодной является система параллельных путей одной качественной категории (магистралей) с транзитными участками автомобильной или ширококолейной железной дороги общего пользования.

#### Литература

- Сушков С.И., Скрыпников А.В., Курьянов В.К. Оценка зависимости систематических изменений интенсивности транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах // Лес. Наука. Молодежь-2003: материалы науч.-исслед. работы молодых ученых за 2003 г., посвящ. 90-летию со дня рождения проф. П.Б. Раскатова. Воронеж: Воронежская гос. лесотехн. акад., 2003. С. 244-247.
- Сушков С.И., Рулев В.И., Скрыпников А.В. Применение логистических методов прогнозирования для определения потребности в перевозке и потреблении материальных ресурсов // Воронеж: Воронежская гос. лесотехн. акад. Деп. в ВИНТИ 12.08.2005. № 1143-В2005.
- Шалаев В.С., Никитин В.В. Направления, формы и результативность международного сотрудничества в Московском Государственном университете леса // Вестн. Московского гос. ун-та леса. Лесной вестн. 2008. № 2. С. 192-199.
- Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Комплекс эпор транспортно-эксплуатационных характеристик дороги-основа оценки проектных решений // Лесоэксплуатация: межвуз. сб. науч. тр. Красноярск: ГОУ ВПО Сибирский гос. технологический ун-т, 2004. С. 248-254.
- Вырко Н.П. Строительство и эксплуатация лесовозных дорог. Минск: БГТУ, 2005. 446 с.
- Сухов Д.Ю. Имитационное моделирование транспортного потока для оценки транспортно-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог // Системы управления и информационные технологии. 2008. Т. 33. № 3.2. С. 276-278.
- Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог. М.: Автотрансиздат, 1963. 66 с.
- Skrypnikov A.V., Dorokhin S., 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.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. школа, 1991. 366 с.
- Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа. Томск: НТЛ, 2011. 188 с.
- 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.
- 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.
- Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36-41.
- Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429-432.
- Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl.rept. 1982. № 690. P. 117-121.
- Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 216 с.
- Саблин С.Ю., Высоцкая И.А., Скрыпников А.В., Тихомиров П.В., Брюховецкий А.Н., Жук А.Ю. Формирование оптимальных схем этапного развития лесовозных автомобильных дорог // Системы Методы Технологии. 2021. № 1 (49). С. 82-85.
- Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М.: Машиностроение, 1971. 416 с.
- 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.
- Борисов В.А., Камусин А.А., Скрыпников А.В., Дорохин С.В. Программа оценки и прогнозирования эксплуатационных свойств асфальтобетона при устройстве дорожных покрытий лесовозных автомобильных дорог: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2014618507 26.06.2014.

## References

1. Sushkov S.I., Skrypnikov A.V., Kur'yanov V.K. Assessment of the dependence of systematic changes in the intensity of traffic flows on logging roads // *Les. Nauka. Molodezh'-2003: materialy nauch.-issled. raboty molodyh uchenykh za 2003 g., posvyashch. 90-letiyu so dnya rozhdeniya prof. P.B. Raskatova. Voronezh: Voronezhskaya gos. lesotekhn. akad., 2003. P. 244-247.*
2. Sushkov S.I., Rulev V.I., Skrypnikov A.V. Application of logistic forecasting methods to determine the need for transportation and consumption of material resources // *Voronezh: Voronezhskaya gos. lesotekhn. akad. Dep. v VINITI 12.08.2005. № 1143-V2005.*
3. SHalaev V.S., Nikitin V.V. Directions, forms and effectiveness of international cooperation at the Moscow State University of Forest // *Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2008. № 2. P. 192-199.*
4. Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V. A set of diagrams of transport and operational characteristics of the road is the basis for evaluating design solutions // *Lesoekspluatatsiya: mezhvuz. sb. nauch. tr. Krasnoyarsk: GOU VPO Sibirskij gos. tekhnologicheskij un-t, 2004. P. 248-254.*
5. Vyrko N.P. Construction and operation of logging roads. Minsk: BGTU, 2005. 446 p.
6. Suhov D.YU. Simulation modeling of traffic flow to assess the transport and operational characteristics of logging roads // *Sistemy upravleniya i informacionnye tekhnologii. 2008. V. 33. № 3.2. P. 276-278.*
7. Keroglu L.A. Investigation of the capacity of highways. M.: Avtotransizdat, 1963. 66 p.
8. Skrypnikov A.V., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. V. 12. № 2. P. 511-515.*
9. Isachenko A.G. Landscape studies and physical and geographical zoning. M.: Vyssh. shkola, 1991. 366 p.
10. Hromyh V.V., Hromyh O.V. Digital terrain models. Tomsk: NTL, 2011. 188 p.
11. 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.*
12. 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.*
13. Morozov P.I. Design and planning of arrangement of logging roads // *Forestry Engineering Journal. 2011. № 2. P. 36-41.*
14. Bystryancev E.V. Research of the technology of expert assessment of the quality of information support of motor transport // *Automation. Modern technologies. 2017. V. 71. № 9. P. 429-432.*
15. Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // *TRRL Suppl.rept. 1982. № 690. P. 117-121.*
16. Optner S. System analysis for solving business and industrial problems. M.: Sovetskoe radio, 1969. 216 p.
17. Sablin S.YU., Vysockaya I.A., Skrypnikov A.V., Tihomirov P.V., Bryuhoveckij A.N., Zhuk A.YU. Formation of optimal schemes of stage-by-stage development of logging roads // *Systems Methods Technologies. 2021. № 1 (49). P. 82-85.*
18. Litvinov A.S. Handling and stability of the car. M.: Mashinostroenie, 1971. 416 p.
19. Burmistrov D.V. The working hypothesis of rhythmic construction of logging roads and its economic and mathematical development // *Lesnoj vestn. Forestry Bulletin. 2018. V. 22. № 5. V. 69-76.*
20. Borisov V.A., Kamusin A.A., Skrypnikov A.V., Dorohin S.V. The program of assessment and forecasting of the operational properties of asphalt concrete in the construction of road surfaces of logging roads: svidetel'stvo o registracii programmy dlya EVM RUS 2014618507 26.06.2014.