

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

С.Ю. Саблин<sup>1</sup>, А.В. Скрыпников<sup>1</sup>, В.Г. Козлов<sup>2</sup>,  
В.С. Прокопец<sup>1</sup>, А.Н. Брюховецкий<sup>1</sup>, М.И. Голубев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

<sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

vyu-kozlov@yandex.ru

Изложены особенности проанализированных исследовательских работ и показана необходимость их дальнейшего развития. Учитывая структурные связи и ограничения системы, составлена математическая модель технико-экономического обоснования суммарных приведенных затрат параметров плана трассы, продольного профиля и ширины проезжей части, имеющая возможность варьирования суммы приведенных к исходному году строительных и эксплуатационных затрат в предварительно заданной области поиска. Определена целевая функция, являющаяся основной частью математической модели, включающая все элементы и связи системы технико-экономического обоснования элементов плана лесовозных автомобильных дорог. Сделан вывод о том, что поиск оптимального сочетания геометрических элементов и сроков их изменения является экстремальной задачей, и наилучший метод ее решения заключается в определении состояния системы, соответствующей минимальному значению целевой функции, которая представляет собой сумму приведенных к исходному году строительных и эксплуатационных затрат.

**Ключевые слова:** затраты, трасса, лесовозная автомобильная дорога, строительство, технико-экономическое обоснование

**Ссылка для цитирования:** Саблин С.Ю., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Прокопец В.С., Брюховецкий А.Н., Голубев М.И. Технико-экономическое обоснование элементов плана лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 111–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-111-117

Для упорядочения множества параметров, связей и определения средств решения задач обоснования геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог целесообразно обратиться к основам одного из направлений теории принятия решений — системному анализу.

Основным и наиболее ценным результатом системного анализа считаем повышение степени понимания проблемы и нахождение возможных путей ее решения. Оптнер С. формулирует определение проблемы следующим образом: «Проблема определяется как ситуация, в которой есть два состояния; одно называется существующим, а другое — предлагаемым. Существующее состояние представляется существующей системой; предлагаемое состояние представляется гипотетической (желаемой или предлагаемой системой)» [1].

### Цель работы

Цель работы — заключается в разработке математической модели технико-экономического обоснования суммарных приведенных затрат параметров плана трассы.

### Методика исследования

Характер и состав желаемой системы определяется поставленной целью исследования и сформулированными задачами. Предлагаемая

система должна по возможности компенсировать все недостатки существующих методик, т. е. комплексно учесть влияние дорожных условий на очередность строительства. Принимая во внимание вероятностный характер распределения скоростей автомобильного потока во времени и в пространстве, необходимо предусматривать выполнение расчетов в режиме онлайн с помощью информационных технологий, с тем чтобы в дальнейшем при определенных изменениях ее можно было бы сделать подсистемой будущей системы автоматизированного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Анализ требуемой системы включает в себя пять четко выраженных конечных элементов, свойственных процессу исследования любых систем и подсистем.

1. Цель — определение оптимальных параметров продольного и поперечного профилей лесовозной автомобильной дороги с обоснованием сроков введения ее в эксплуатацию при определенном техническом уровне в соответствии с увеличением интенсивности движения.

2. Альтернативные средства, с помощью которых можно достичь цели, множество вариантов распределения капитальных затрат во времени, изменяющееся техническое состояние дороги, которое сочетает в себе план обоих профилей,

как элементов технического состояния, определяющих технический уровень дороги, изменение одного из этих элементов свидетельствует о том, что дорога переходит в другое состояние.

3. Затраты ресурсов, требуемые для осуществления каждого альтернативного средства, которое в стоимостном отношении состоит из двух, находящихся в противоречии подсистем: капитальных затрат, определяемых сметной стоимостью и транспортно-эксплуатационных расходов.

При переходе к более высокому техническому состоянию затрачиваются ресурсы, равные разности сметных стоимостей состояния, увеличенной на сумму, необходимую для повторной организации работ. При планировании дополнительных затрат на отдаленный срок их следует привести к исходному году

$$K_{ij} = \frac{(K_j - K_i)\eta}{e^{t_{ij}}}, \quad (1)$$

где  $K_i$  — сметная стоимость технического состояния с низкими показателями;

$K_j$  — сметная стоимость технического состояния с более высокими показателями;

$\eta$  — коэффициент увеличения дополнительных капитальных затрат при стадийном строительстве (по данным А.В. Каца,  $\eta = 1,1$ ) [2];

$e^{t_{ij}}$  — год перехода из состояния  $i$  в состояние  $j$ .

Анализ объема транспортно-эксплуатационных расходов работы автомобильного транспорта показывает, что изменение величины расходов, связанных с перевозками, зависит от скорости движения [3]. Ежегодные транспортно-эксплуатационные расходы в общем виде можно выразить с помощью формулы

$$\Theta = f[N_0 f(t) : s : v_T], \quad (2)$$

где  $N_0$  — интенсивность движения в исходный год, авт/сут.;

$v_T$  — средняя техническая скорость движения в год, км/ч;

$s$  — себестоимость перевозок, руб./авт.ч.

4. Разработка логической и математической модели поставленной задачи. Построение логической модели решения задачи заключается в установлении связей между элементами системы, иерархии элементов, в определении системных объектов: входа, процесса, выхода и обратной связи [4–7].

5. Критерий выбора предпочтительных вариантов — наиболее соответствует решению задач этапного развития транспортных линий во времени, характеризующийся минимальным значением эксплуатационных и капитальных затрат, приведенных к исходному году. Минимальное значение затрат позволяет учитывать грузооборот и отдалает капитальные вложения.

Вывод о наилучшем соответствии критерия оптимальности характеру поставленной цели сделало подавляющее большинство исследователей [10–13].

Критерий оптимальности выполняет функцию управления процессом поиска стратегии развития дороги, т. е. соответствует назначению подсистемы обратной связи. Функционирование обратной связи обеспечивают три ее составляющие: 1) модель выхода, представляющая собой некоторую гипотетическую величину суммарных приведенных затрат, другими словами, в модели выхода заложены требования, предъявляемые к системе; 2) соответствие модели выхода каждого варианта реальному выходу до тех пор, пока не будет найдено искомое альтернативное средство, имеющее минимальное значение затрат; 3) модель воздействия на суммарные приведенные затраты. В случае несоответствия суммарных приведенных затрат в каком-либо варианте стратегии минимальному значению необходимо испытать последующее альтернативное средство. Для этого составляется новая комбинация элементов, характеризующих техническое состояние, и сроков перехода от состояния к состоянию. Составление нового варианта является воздействием на систему.

Подсистема обратной связи действует с момента вычисления суммарных приведенных затрат ( $C$ ) для двух вариантов до тех пор, пока не будет найден вариант минимальное значение суммарных приведенных затрат ( $C_{\min}$ ).

Поскольку активное управление поиском осуществляется с помощью подсистемы обратной связи, в которой сосредоточены требования к системе и критерии выбора предпочтительных альтернативных средств, основой математической модели является управляющая функция, представляющая собой выражение суммарных приведенных затрат

$$C = K_0 + \int_0^{t_1} \frac{\Theta_0}{e^{Et}} dt + \frac{K_1}{e^{Et_1}} + \int_{t_1}^{t_2} \frac{\Theta_1(t)}{e^{Et_m}} dt + \dots + \frac{K_m}{e^{Et_m}} + \int_{t_m}^{T_p} \frac{\Theta_m(t)}{e^{Et}} dt. \quad (4)$$

Основные составляющие целевой функции находятся в зависимости от фазовых координат системы и от независимого управления:

$$K = f(\Pi; T; B; P; t); \quad (5)$$

$$\Theta = f[\Pi; T; B; \bar{v}(N_0 \lambda; p); t], \quad (6)$$

где  $p$  — характеристика рельефа.

Математическая модель, кроме того, определяется структурой связи (6) и ограничениями системы.

Для включения в математическую модель и обеспечения при этом удобства расчетов элементы технического состояния дороги должны быть представлены достоверными оценками, которые точнее бы отражали главные реальные воздействия геометрических параметров на обе части целевой функции.

Характерными и определяющими элементами продольного профиля являются проектные уклоны. Скорость движения лесовозного автопоезда при свободных условиях потока в наибольшей степени, по сравнению с другими элементами продольного профиля, зависит от величины уклона [14–17]. Также оказывает значительное влияние и относительная протяженность участков с различными значениями продольных уклонов и объем земляных работ. Эти обстоятельства достаточно обосновывают принятие в качестве оценки продольного профиля — распределение продольных уклонов. Тип этого распределения, его свойства и связь с другими параметрами, характеризующими техническое состояние, можно определить экспериментальным путем при анализе проектов дорог. Экспериментальным путем необходимо также определить зависимость распределения скорости автомобильного потока и транспортно-эксплуатационных характеристик от распределения продольных уклонов. Следовательно, экспериментально определяются следующие количественные связи математической модели:

$$\begin{aligned} 1) K &= f(\Pi; P); \\ 2) \bar{v} &= f(\Pi; B; N); \\ 3) \sigma_v &= f(\Pi; B; N). \end{aligned} \quad (7)$$

Ограничениями принимаются следующие условия.

1. При этапном повышении технического состояния возможен переход только с низшего состояния в высшее. Кроме того, сроки перехода упорядочены таким образом:

$$t_1 < t_2 < \dots < t_n < T_p. \quad (8)$$

2. Предполагается, что за расчетный период  $T_p$  продольный профиль может изменяться в некоторых случаях только один раз. Характеристика плана трассы ( $T$ ) остается неизменной и варьируется для определения ее начального значения.

3. Необходимые ограничения должны быть наложены на область поиска оптимального решения, т. е. следует определить граничные значения фазовых координат системы.

Во времени область поиска определяется сроком  $T_p = 30$  лет. Это значение принято из условий перспективного планирования с учетом фактора времени. За пределами расчетного срока влияние фактора времени настолько значительно, что стоимостные показатели уменьшаются до значений, не превышающих точности вычислений.

Ограничения области поиска в пространстве полностью зависят от рельефа местности, а количество возможных технических состояний — от размера шага поиска.

По определенному направлению трассы с известным рельефом количество возможных вариантов продольного профиля определяется числом шагов при постепенном увеличении сложности профиля от варианта, совпадающего с гипотетической линией, которая имеет нулевой уклон и соединяет начальную и конечную точки трассы, до варианта, повторяющего профиль линии земли (рисунок). На схеме символами  $T$  и  $\Pi$  обозначены соответственно характеристики плавного проложения трассы и продольного профиля дороги.

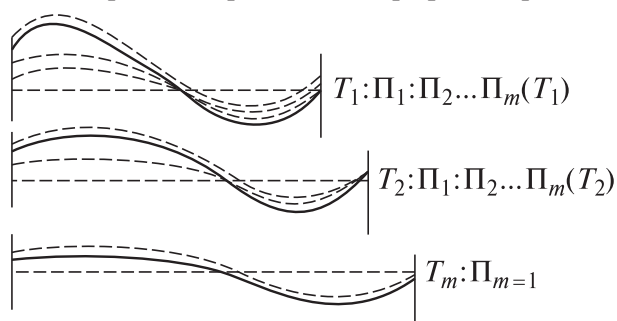


Схема определения области поиска  
Search area scheme

При удлинении трассы в результате развития профиль земли имеет меньшие продольные уклоны, поэтому количество возможных вариантов проектного продольного профиля уменьшается.

Развитие трассы с определенной градацией коэффициента удлинения приведет к случаю, когда на первом же шаге проектная линия продольного профиля совпадет с линией земли. Этот вариант ограничивает область поиска в отношении строительной длины трассы (см. рисунок). 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, зависимости (5)–(7), а также рекомендации [18–21], уравнение суммарных приведенных затрат (4) можно представить в следующем виде (9).

Определение параметров плана трассы, продольного профиля и ширины проезжей части, соответствующих минимальному значению (9) проводится путем их варьирования в предварительно заданной области поиска.

$$\begin{aligned}
C = & K(P, \Pi, T, B) + \int_0^{t_1} \left\{ (N_0 \lambda, T) \left[ \frac{a + b \bar{v}(\Pi, N_0 \lambda, B, p)}{\bar{v}(\Pi, N_0 \lambda, B, p)} + S_n(\Pi, B) \right] \right\} \frac{dt}{e^{Et}} + \\
& + \frac{K_1(P, T^1, \Pi^1, B^1)}{e^{Et_1}} + \\
& + \int_{t_1}^{t_2} \left\{ (N_0 \lambda, T^1) \left[ \frac{a + b \bar{v}^1(\Pi^1, N_0 \lambda, B^1, p)}{\bar{v}^1(\Pi^1, N_0 \lambda, B^1, p)} + S_n^1(\Pi^1, B^1) \right] \right\} \frac{dt}{e^{Et}} + \dots + \\
& + \frac{K_m(P, T^m, \Pi^m, B^m)}{e^{Et_m}} + \\
& + \int_{t_m}^{T_p} \left\{ (N_0 \lambda, T^m) \left[ \frac{a + b \bar{v}^m(\Pi^m, N_0 \lambda, B^m, p)}{\bar{v}^m(\Pi^m, N_0 \lambda, B^m, p)} + S_n^m(\Pi^m, B^m) \right] \right\} \frac{dt}{e^{Et}}.
\end{aligned} \tag{9}$$

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

$\Pi, \Pi^1, \dots, \Pi^m$  — характеристики продольного профиля при варьировании от варианта  $\Pi$  до варианта  $\Pi^m$ ;

$B, B^1, \dots, B^m$  — 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  $T; \Pi; B; T^1, \Pi^1, B^1; T^m, \Pi^m, B^m$ ;

$a$  — постоянная величина, не зависящая от скорости перевозок;

$b$  — постоянная величина, зависящая от скорости движения автомобильного потока;

$S_n$  — ущерб от дорожно-транспортных происшествий.

Поиск оптимальных сроков повышения технического состояния дороги в отношении геометрических параметров осуществляется также путем варьирования переходов и состояний во времени с учетом ограничений.

## Выводы

В результате анализа теоретических предпосылок технико-экономического обоснования основных геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог можно сделать следующие выводы.

1. Составлена система связей и параметров, определяющая процесс достижения целей исследования. Определена структура решения, его основные элементы. Представленные основы системного анализа решения вопросов проектирования лесовозных автомобильных дорог показали, что данная методология является действенным средством, обеспечивающим углубление понимания проблемы и определяющим пути решения задач и их алгоритмизацию.

2. Поиск оптимального сочетания геометрических элементов и сроков их изменения является экстремальной задачей, и наилучший метод ее решения заключается в определении состояния системы, соответствующей минимальному значению целевой функции. Целевая функция, представляющая собой сумму приведенных к исходному году строительных и эксплуатационных затрат, является основной частью математической модели задачи и включает в себя все элементы и связи системы технико-экономического обоснования элементов плана лесовозных автомобильных дорог.

## Список литературы

- [1] Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. М.: Транспорт, 1993. 271 с.
- [2] Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими. М.: Транспорт, 2012. 424 с.
- [3] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // J. Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [4] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [5] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // J. Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [6] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [7] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Оценка влияния на скорость движения постоянных параметров плана и профиля при различных состояниях поверхности дороги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 6. С. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [8] Хомяк Я.В. Проектирование сетей автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1983. 207 с.
- [9] Чернышова Е.В. Алгоритм решения задачи оптимального трассирования лесовозной автомобильной дороги на неоднородной местности // Вестник ВГУИТ, 2017. Т. 79. № 2 (72). С. 113–120.



- [10] Чернышова Е.В. Методы формирования цифровой модели местности при трассировании лесовозных автомобильных дорог // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 3(35). С. 143–148.
- [11] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Чирков Е.В., Поставничий С.А., Могутнов Р.В. Теоретические основы и методы математического моделирования лесовозных автомобильных дорог // Изв. вузов. Лесной журнал, 2018. № 6 (366). С. 117–127.
- [12] Гулевский В.А., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Экспериментальная оценка сцепных качеств и ровности покрытий при различных состояниях автомобильных дорог и погодных условиях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2018. Т. 11. № 1 (56). С. 112–118.
- [13] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system // Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the Int. Symp. «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of N.I. Ibragimov (ISEES 2019), 2019, pp. 823–827.
- [14] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science // Int. Symp. on History of Machines and Mechanisms Proceedings, 2000, pp. 325–332.
- [15] Иванов В.Н., Ерохов В.Н. Влияние параметров автомобильных дорог на расход топлива // Автомобильные дороги, 2014. № 8. С. 10–13.
- [16] Бируля А.К. Эксплуатация автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1966. 326 с.
- [17] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., 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. DOI: 10.12737/article\_5b240611858af4.37544962
- [18] 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, 2017. 406 с.
- [19] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Совершенствование организации дорожного движения в транспортных системах лесного комплекса // Системы управления и информационные технологии, 2008. № 3.2(33). С. 272–275.
- [20] Сильянов В.В., Ситников Ю.М. Расчет скоростей движения при проектировании автомобильных дорог // МАДИ, 1974. Вып. 72. С. 47–66.
- [21] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Микова Е.Ю., Могутнов Р.В., Чирков Е.В. Формирование модели проектирования системы «дорожные условия — транспортные потоки» и пути ее реализации // Лесоинженерное дело, 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 100–111. DOI:10.12737/article\_5ab0dfbebece23.91630316

## Сведения об авторах

**Саблин Сергей Юрьевич** — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

**Скрыпников Алексей Васильевич** — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

**Козлов Вячеслав Геннадиевич** — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

**Прокопец Владимир Сергеевич** — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

**Брюховецкий Андрей Николаевич** — соискатель кафедры информационной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrupnikovvsafe@mail.ru

**Голубев Михаил Иванович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.01.2021.

Принята к публикации 12.02.2021.

## FEASIBILITY STUDY OF LOGGING ROAD ELEMENTS PLAN

S.Yu. Sablin<sup>1</sup>, A.V. Skrypnikov<sup>1</sup>, V.G. Kozlov<sup>2</sup>,  
V.S. Prokopets<sup>1</sup>, A.N. Bryukhovetskiy<sup>1</sup>, M.I. Golubev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

<sup>3</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

vya-kozlov@yandex.ru

The peculiarities of the research work are stated and the need for its further development is shown. Taking into account the structural links and limitations of the system, a mathematical model of the feasibility study of the total reduced costs of the route plan, the longitudinal profile and the width of the carriageway was compiled, which has a various amount of construction and operating costs reduced to the initial year in a predetermined search area. The objective function is determined, which is the main part of the mathematical model including all the elements and connections of the feasibility study of the timber haul roads elements. It is concluded that the search for the optimal combination of geometric elements and the timing of their change is an extreme task, and the best method for solving it is to determine the state of the system corresponding to the minimum value of the objective function, which is the sum of construction and operating costs reduced to the initial year.

**Keywords:** costs, route, logging road, construction, feasibility study

**Suggested citation:** Sablin S.Yu., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Prokopets V.S., Bryukhovetskiy A.N., Golubev M.I. *Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie elementov plana lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Feasibility study of logging road elements plan]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 111–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-111-117

### References

- [1] Babkov V.F. *Dorozhnye usloviya i bezopasnost' dvizheniya* [Road conditions and traffic safety]. Moscow: Transport, 1993, 271 p.
- [2] Dryu D. *Teoriya transportnykh potokov i upravlenie imi* [The theory of traffic flows and their management]. Moscow: Transport, 2012, 424 p.
- [3] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *J. Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, pp. 032–069.
- [4] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, v. 327(4), pp. 042–056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [5] Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *J. Engineering and Applied Sciences*, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [6] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Application of queuing theory in the design of highways]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [7] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Otsenka vliyaniya na skorost' dvizheniya postoyannykh parametrov plana i profilya pri razlichnykh sostoyaniyakh poverkhnosti dorogi* [Assessment of the impact on the speed of the constant parameters of the plan and profile in the various states of the road surface] *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 6, pp. 43–49. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-6-43-49
- [8] Khomyak Ya.V. *Proektirovanie setey avtomobil'nykh dorog* [Road network design]. Moscow: Transport, 1983, 207 p.
- [9] Chernyshova E.V. *Algoritm resheniya zadachi optimal'noy rassirovaniya lesovoznoy avtomobil'noy dorogi na neodnorodnoy mestnosti* [Algorithm for solving the problem of optimal tracing of a timber road on a heterogeneous terrain]. *Vestnik VSUIT*, 2017, t. 79, no. 2 (72), pp. 113–120.
- [10] Chernyshova E.V. *Metody formirovaniya tsifrovoy modeli mestnosti pri rassirovaniy lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Methods of forming a digital terrain model for tracing timber highways]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2017, no. 3 (35), pp. 143–148.
- [11] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Chirkov E.V., Postavnichiy S.A., Mogutnov R.V. *Teoreticheskie osnovy i metody matematicheskogo modelirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Theoretical foundations and methods of mathematical modeling of logging highways]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, no. 6 (366), pp. 117–127.
- [12] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Ehksperimental'naya otsenka stsepykh kachestv i rovnosti pokrytiy pri razlichnykh sostoyaniyakh avtomobil'nykh dorog i pogodnykh usloviyakh* [Experimental evaluation of coupling properties and smoothness of coatings under various conditions of highways and weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], 2018, v. 11, no. 1 (56), pp. 112–118.
- [13] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., Tikhomirov P.V., Mikheev N.V. Designing mathematical models of geometric and technical parameters for modern road-building machines versus the main parameter of the system. *Atlantis Highlights in Material Sciences and Technology Proceedings of the International Symposium «Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research» dedicated to the 85-th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)*, 2019. C. 823–827.
- [14] Berestnev O, Soliterman Y, Goman A Development of Scientific Bases of Forecasting and Reliability Increase of Mechanisms and Machines – One of the Key Problems of Engineering Science. *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings*, 2000, pp. 325–332.

- [15] Ivanov V.N., Erokhov V.N. *Vliyaniye parametrov avtomobil'nykh dorog na rashkod topliva* [Influence of road parameters on fuel consumption]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile roads], 2014, no. 8, pp. 10–13.
- [16] Birulya A.K. *Ekspluatatsiya avtomobil'nykh dorog* [Operation of highways]. Moscow: Transport, 1966, 326 p.
- [17] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Zelikova Yu.A. *Kompleksnyye eksperimental'nye issledovaniya izmeneniya parametrov i kharakteristik dorozhnykh usloviy, transportnykh potokov i rezhimov dvizheniya pod vliyaniem klimata i pogody* [Complex experimental studies of changes in the parameters and characteristics of road conditions, traffic flows and modes of movement under the influence of climate and weather]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2018, v. 8, no. 2 (30), pp. 156–168. DOI: 10.12737 / article\_5b240611858af4.37544962
- [18] Kozlov V.G. *Metody, modeli i algoritmy proektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog s uchetom vliyaniya klimata i pogody na usloviya dvizheniya* [Methods, Models and Algorithms for Designing Timber Highways Taking into Account the Effect of Climate and Weather on Traffic Conditions]. Diss. ... Dr. Sci. (Tech.). Arkhangel'sk: NArFU, 2017, 406 p.
- [19] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. *Sovershenstvovanie organizatsii dorozhnogo dvizheniya v transportnykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Improvement of the organization of road traffic in transport systems of the forestry complex]. *Sistemy upravleniya i informatsionnye tekhnologii* [Management systems and information technologies], 2008, no. 3.2 (33), pp. 272–275.
- [20] Sil'yanov V.V., Sitnikov Yu.M. *Raschet skorostey dvizheniya pri proektirovanii avtomobil'nykh dorog* [Calculation of movement speeds in the design of highways]. *Trudy MADI* [Proceedings of MADI], 1974, iss. 72, pp. 47–66.
- [21] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Mikova E.Yu., Mogutnov R.V., Chirkov E.V. *Formirovaniye modeli proektirovaniya sistemy «dorozhnye usloviya — transportnye potoki» i puti ee realizatsii* [Formation of a design model for the «road conditions — traffic flows» system and the ways of its implementation]. *Lesoinzhenernoye delo* [Forest engineering], 2018, v. 8, no. 1 (29), pp. 100–111. DOI: 10.12737 / article\_5ab0dfbe6ece23.91630316

## Authors' information

**Sablin Sergey Yur'evich** — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Skrypnikov Aleksey Vasil'evich** — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty of «Management and Informatics in technological systems» of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Kozlov Vyacheslav Gennadievich** — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean on scientific work of Agricultural engineering faculty of the Voronezh state agricultural University named after Emperor Peter I, vya-kozlov@yandex.ru

**Prokopets Vladimir Sergeevich** — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Bryukhovetskiy Andrey Nikolaevich** — Candidate of the Department of Information security of the Voronezh state University of engineering technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

**Golubev Mikhail Ivanovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Received 13.01.2021.

Accepted for publication 12.02.2021.