

**П.В. Тихомиров, А.В. Скрыпников, И.А. Высоцкая, М.Н. Казачек,
В.А. Зеликов, А.Б. Бондарев**

ИНФОРМАЦИОННО-ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАКРУГЛЕНИЙ

Введение. Наиболее сложными и ответственными при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации лесовозных автомобильных дорог являются их криволинейные участки.

В системе «изыскания – проектирование – вынос в натуру – детальная разбивка – контроль строительства – приемка работ – эксплуатация» важное значение должно придаваться совершенствованию метрического контроля во время строительства и приемочного контроля геометрических параметров дорог по окончании строительства.

Целью работы является определение путей совершенствования методики проектирования и геометрического контроля строительства дорожных закруглений.

Материалы и методика исследования. При производстве инженерных изысканий существующих лесовозных автомобильных дорог выполнение работ традиционными геодезическими методами затруднено [Козлов, 2017; Морозов, 2011] вследствие интенсивного движения транспорта. Особенно очевидны эти недостатки традиционных методов измерений в условиях таких участков дорог, как закругления, глубокие выемки и высокие насыпи, мостовые и переходы и др.

Поэтому возникает задача в замене традиционных геодезических методов измерений более эффективными. Таким методом является наземная стереофотограмметрия, которая позволяет получить качественные материалы изысканий, содержащие весьма разнообразную информацию о дороге.

Наиболее эффективное применение наземная стереофотограмметрия получила при производстве различных инженерных изысканий. Вопросам применения наземной стереофотограмметрической съемки при инженерных изысканиях железных дорог, железнодорожных станций и узлов посвящены исследования, направленные на усовершенствование этого метода применительно к выполнению изыскательских работ [Бурмистров, 2018]. Основные принципы и методы ведения изыскательских работ на ле-

совозных автомобильных дорогах имеют много общего с аналогичными работами при изысканиях железных дорог, однако вследствие различия в технических условиях проектирования и строительства линейных и искусственных сооружений, они имеют свои характерные особенности. В силу этого существующие технологические схемы использования метода наземной стереофотограмметрической съемки при изысканиях железных дорог не приемлемы на изысканиях для реконструкции автомобильных дорог в общем и лесовозных в частности.

Материалы такой наземной стереофотограмметрической съемки и применение современных компьютерных технологий позволяют просматривать дорогу проектировщику в пространстве, и так как этот метод является бесконтактным, то он может иметь наибольшую эффективность при совершенствовании геометрического контроля строительства лесовозных автомобильных дорог.

Преимуществом наземной стереофотограмметрии перед традиционными геодезическими методами ведения изыскательских работ является то обстоятельство, что в зависимости от стадии и этапов проектирования одни и те же материалы такой съемки могут быть использованы несколько раз с разной степенью детализации на всех стадиях и этапах проектирования без повторных выездов в поле, вплоть до рабочих чертежей и выноса проекта в натуру. Кроме того, используя одни и те же материалы съемки, можно решать не только топографические задачи, но и выполнять самые разнообразные инженерные расчеты, связанные с работами при обследовании автомобильных дорог, такие как:

- определение радиусов горизонтальных и вертикальных кривых;
- определение ширины земляного полотна и проезжей части дорог;
- определение положения главных точек кривых;
- определение уклонов дорог;
- определение видимости в плане дороги;
- установление площади и объемов срезки в отсутствии видимости на закруглении;
- построение профилей на существующие участки лесовозной автомобильной дороги.

Следовательно, существующая технологическая схема ведения изыскательских работ, основанная на применении традиционных геодезических методов измерений, нуждается в совершенствовании, в частности одним из путей оптимизации является применение наземной стереофотограмметрии.

Информационно-интеллектуальная система совершенствования геометрического контроля строительства дорожных закруглений. Повышение эффективности дорожно-строительного производства связано с усо-

вершением методик изысканий, проектирования и строительства лесовозных автомобильных дорог. По мере увеличения интенсивности движения на лесовозных автомобильных дорогах возникает необходимость оптимального проектирования геометрических элементов дороги, в частности криволинейных участков.

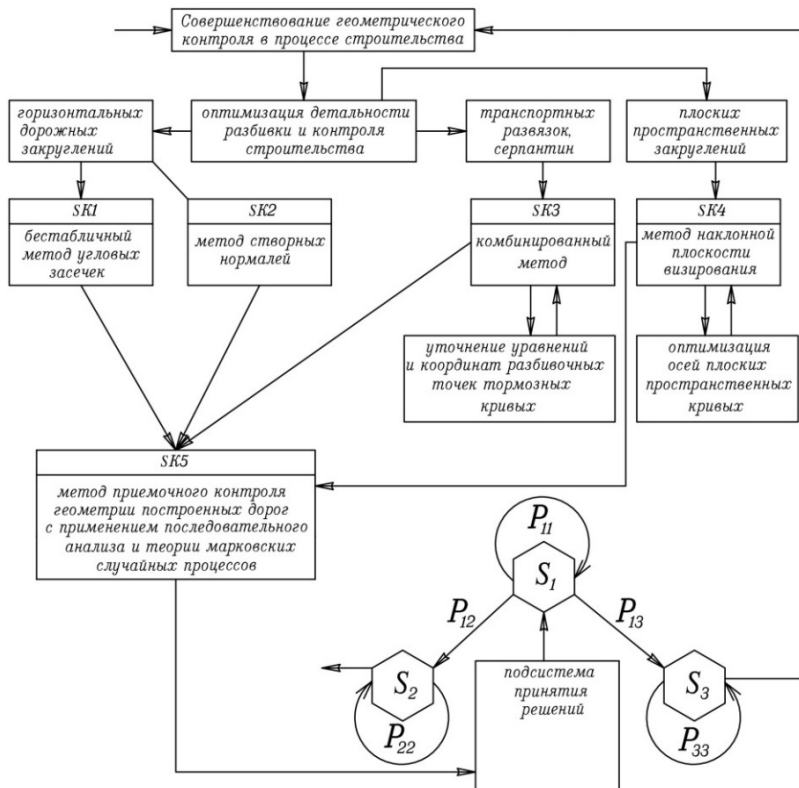
Современная геометрия криволинейных участков лесовозной автомобильной дороги должна соответствовать технико-экономическим требованиям и требованиям безопасности движения. Однако некоторые вопросы проектирования и геометрического контроля строительства дорожных закруглений еще не полностью решены.

Запроектируем и рассмотрим информационно-интеллектуальную систему совершенствования геометрического контроля в процессе строительства дорожных закруглений (рисунок).

Проанализируем методики разбивочно-контрольных и проектных работ. Основой, наиболее общий, почти для всех методов разбивки недостаток, особенно сказывающийся в процессе контроля строительства, заключается в необходимости линейных измерений, которые крайне затруднены в стесненных условиях строительной площадки. От этого недостатка освобождены только два метода – метод разбивки эккером и метод прямых угловых засечек. Отметим, что метод разбивки эккером можно применять в основном только для коротких круговых кривых.

Метод прямых угловых засечек не требует линейных измерений и наиболее приспособлен для контрольных работ и восстановления утраченных в процессе строительства разбивочных знаков. Однако этот метод не получил достаточного распространения в практике строительства. Появляется необходимость исследовать возможность применения метода прямых угловых засечек, усовершенствовать его, сделать его применимым для разбивки сложных составных закруглений (состояние системы SK1, рисунок).

Для решения этой задачи прежде всего необходимо определить критерии точности детальной разбивки и контроля строительства криволинейных сооружений. По градации, предложенной Лютцом А.Ф. [Лютц и др., 1959] следует различать два вида точности: точность размещения целого сооружения (следовательно, и его основной оси) относительно окружающих предметов и точность разбивки частей сооружения относительно основной оси сооружения. Первый вид точности при камеральном трассировании базируется на точности масштаба карты. При полевом трассировании большое значение имеет точность определения главных точек закругления в соответствии с положением вершины угла поворота трассы и направлениями тангенсов. Указанные вопросы первого вида точности достаточно полно освещены в литературе [Кардаев и др., 1972; Kozlov et. al., 2019].



Информационно-интеллектуальная система совершенствования геометрического контроля строительства дорожных закруглений:

Состояние системы: SK 1 – крутые уклоны, пересеченность микрорельефа, затрудненность линейных измерений, наличие видимости внутри кривой; SK 2 – отсутствие теодолитов и видимости внутри кривой; SK 3 – комплекс закруглений, серпантины и др.; SK 4 – плоское пространственное закругление; SK 1 – построенная лесовозная автомобильная дорога; *состояние подсистемы принятия решений:* S1 – измерения продолжить; S2 – работу принять; S3 – работу забраковать

Information-intellectual system for improving the geometric control of the construction of road curves:

System status: SK 1 – steep slopes, ruggedness of the microrelief, difficulty in linear measurements, presence of visibility inside the curve; SK 2 – no theodolites and visibility inside the curve; SK 3 – a complex of roundings, serpentine, etc.; SK 4 – flat spatial rounding; SK 1 – completed logging road; *state of the decision-making subsystem:* S1 – continue measurements; S2 – accept work; S3 – work to reject

Рассмотрим точность разбивки второго вида, т. е. точность разбивки частей сооружения, его элементов относительно главных осей, так как именно этот вид точности должен приниматься во внимание в процессе детальной разбивки и геодезического контроля строительства криволинейных участков дорог. Этот вид точности определяет также соответствие строящейся дороги современным эстетическим требованиям, требованиям зрительной ясности и плавности криволинейных участков лесовозных автомобильных дорог. Известна зависимость между строительными допусками Δ и погрешностями геодезических разбивочных работ $m_r = \pm 0,35\Delta$.

То есть среднеквадратическая погрешность разбивочных и контрольных работ не должна превышать 35% строительного допуска, указанного в СНиП и других нормативных документах.

При возведении земляного полотна механизированными методами на кривых автомобильных или железных дорог большую актуальность приобретают вопросы восстановления утраченных знаков детальной разбивки, находящихся в непосредственном контакте с землеройными машинами. По данным М.А. Кардаева [Кардаев и др., 1972] восстанавливают разбивочные знаки на одном участке 5–6 раз при 300–500 заменяемых знаков на 1 км трассы. Для этих целей, во время детальной разбивки кривых различными методами, в подготовительный период строительства от промежуточных, разбитых и установленных на оси кривой разбивочных знаков, которые являются основными, и от них ведут неоднократное восстановление и контроль положения оси кривой во время строительства. Однако указанные выносные знаки в настоящее время разбивают косвенным, сложным путем, что приводит к нерациональным «бросовым» моментам разбивки. Разбивают сначала точки на оси кривой, а затем, опираясь на них, разбивают выносные опорные знаки, при этом нарушая традиционный и справедливый принцип инженерной геодезии – «от общего к частному». Общими или опорными в данном случае являются контролируемые уничтожаемые и восстанавливаемые точки кривой. Поэтому первичной разбивке должны подлежать выносные опорные знаки. Это повысит точность и производительность разбивки. Следовательно, появляется необходимость в разработке и исследовании соответствующей методики разбивки и геодезического контроля строительства криволинейных участков дорог (см. состояние системы SK2, рисунок).

В практике разбивочных и контрольных работ, при строительстве дорожных закруглений, недостаточно обоснованы и унифицированы интервалы детальной разбивки кривых. В литературных источниках, норматив-

ных и ведомственных материалах нет ссылок на научное обоснование выбора разбивочных интервалов различного вида закруглений. Очевидно, поэтому настолько разноречивы указания на те или иные величины интервалов, особенно переходных кривых. Эти противоречия позволяют предположить, что разбивочные интервалы, принимаемые в практике дорожного строительства, интуитивны.

Следовательно, необходимо определить оптимальные разбивочные интервалы для сложных дорожных закруглений переменной и постоянной кривизны, позволяющие повысить производительность труда при разбивке и контроле разработанными методами и обеспечить достаточную точность и детальность разбивки криволинейных осей лесовозных автомобильных дорог.

В связи с перспективным возрастанием сложности транспортных развязок повышается сложность и ответственность геодезического обеспечения их строительства. В настоящее время на транспортных развязках подлежат разбивке и контролю различные криволинейные и прямолинейные элементы разными существующими методами разбивки, т. е. транспортная развязка с точки зрения разбивки и контроля рассматривается не как единое целое, но как дискретная совокупность конструктивных элементов, криволинейных и прямолинейных, подлежащих раздельной разбивке.

Отметим, что в настоящее время еще нет специально разработанных способов, позволяющих производить разбивку транспортной развязки как единого сооружения, поэтому разбивку их в плане производят теми же приемами и методами, которые существуют в практике дорожного строительства [Чирков, 2020; Боровлев, 2021]. Для разбивки сложных транспортных развязок разбивают обширную сеть плано-высотного обоснования, многие пункты которых находятся непосредственно в зоне строительных работ и поэтому уничтожаются, затем требуют неоднократного восстановления и т.д. Эта методика недостаточно производительна и надежна, и требует некоторого пересмотра. Следовательно, необходим единый метод разбивки и контроля транспортной развязки как единого сооружения (см. состояние системы SK3, рисунок)

СНИП требует очень большого числа приемочных измерений, которые рабочие комиссии и строители практически резко сокращают, руководствуясь обычно своим опытом и интуицией. При этом часто ошибочно принимаются недоброкачественные, с точки зрения соответствия проектной геометрии, участки лесовозных автомобильных дорог, особенно криволинейные. Следовательно, актуальной является задача разработки методики для оптимизации количества геодезических параметров лесовозных автомобильных дорог.

Выводы. Вопросы изысканий существующих лесовозных автомобильных дорог являются актуальными в настоящее время, так как существующая технологическая схема ведения изыскательских работ, основанная на применении традиционных геодезических методов измерений, нуждается в совершенствовании. Разработанная информационно-интеллектуальная система совершенствования геометрического контроля строительства дорожных закруглений лесовозных автомобильных дорог выявляет требуемые дополнительные теоретические и экспериментальные исследования. На основе применения современных информационно-интеллектуальных технологий, наземной стереофотограмметрия, которая позволяет получить качественные материалы изысканий, благодаря представленной методике, возможно получить математические зависимости для определения оптимальных геометрических параметров криволинейных участков лесовозных автомобильных дорог.

Библиографический список

- Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В.* Автоматизированное проектирование продольного профиля лесовозных автомобильных дорог с учётом влияния зрительно плавных и изломанных линий // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75, № 10. С. 450–453.
- Бурмистров Д.В.* Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // Лесной вестник. Forestry Bulletin. 2018. Вып. 22, №. 5. С. 69–76.
- Кардаев М.А., Величко В.А., Мепуришвили Г.Е.* Геодезия в дорожном строительстве. М.: Недра, 1972. 144 с.
- Козлов В.Г.* Анализ существующих методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. 2017. №3. С. 35–39.
- Лютц А.Ф., Сорокин В.П.* Геодезические работы в путевом хозяйстве. М.: Государственное транспортное железнодорожное издательство, 1959. 184 с.
- Морозов П.И.* Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36–41.
- Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Боровлев А.О., Саблин С.Ю., Высоцкая И.А.* Информационная модель зоны варьирования трассы лесовозной автомобильной дороги // Автоматизация. Современные технологии. 2020. Т. 74. № 12. С. 538–542.
- Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Samcov V.V., Levushkin D.M., Nikitin A.A., Zaitkin 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

Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Vysockaja I.A., Brjuhoveckij A.N., Nikitin V.V. Avtomatizirovannoe proektirovanie prodol'nogo profila lesovoznyh avtomobil'nyh dorog s uchjotom vlijanija zritel'no plavnyh i izlomannyh linij. *Avtomatizacija. Sovremennye tehnologii*, 2021, vol. 75, no. 10, pp. 450–453. (In Russ.)

Burmistrov D.V. Rabochaja gipoteza ritmichnogo stroitel'stva lesovoznyh avtomobil'nyh dorog i ee jekonomiko-matematicheskoe razvitie. *Lesnoj vestn. Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 69–76.

Chirkov E.V., Skrypnikov A.V., Borovlev A.O., Sablin S.Ju., Vysockaja I.A. Informacionnaja model' zony var'irovanija trassy lesovoznoj avtomobil'noj dorogi. *Avtomatizacija. Sovremennye tehnologii*, 2020, vol. 74, no. 12, pp. 538–542. (In Russ.)

Kardaev M.A., Velichko V.A., Mepurishvili G.E. Geodezija v dorozhnom stroitel'stve. M.: Nedra, 1972. 144 p. (In Russ.)

Kozlov V.G. Analiz sushhestvujushhijh metodov proektirovanija trassy lesnyh avtomobil'nyh dorog. *Fundamental'nye issledovanija*, 2017, no. 3, pp. 35–39. (In Russ.)

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, pp. 32–41. (In Russ.)

Ljutc A.F., Sorokin V.P. Geodezicheskie raboty v putevom hozjajstve. M.: Gosudarstvennoe transportnoe zheleznodorozhnoe izdatel'stvo, 1959. 184 p. (In Russ.)

Morozov P.I. Proektirovanie i planirovanie obustrojstva lesovoznyh avtomobil'nyh dorog. *Lesotehnicheskij zhurnal*, 2011, no. 2, pp. 36–41. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 16.03.2022

Тихомиров П.В., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Казачек М.Н., Зеликов В.А., Бондарев А.Б. Информационно-интеллектуальная система совершенствования геометрического контроля строительных закруглений // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 239. С. 161–171. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.161-171

Современные автомобильные дороги в общем и лесовозные в частности характеризуются комплексом инженерных сооружений, где наиболее ответственными являются криволинейные участки, во многом определяющие уровень технико-экономических показателей и безопасности движения транспорта. Ежегодные экономические потери вследствие неудачного проектирования трассы лесовозной автомобильной дороги наносят огромный ущерб предприятиям и отраслям экономики. Процесс проектирования лесовозных автомобильных дорог включает в себя технологическую последовательность проектных операций, что

обуславливает необходимость разработки научно обоснованных методов проектирования. Поэтому повышение эффективности дорожно-строительного производства связано с усовершенствованием методик изысканий, проектирования и строительства лесовозных автомобильных дорог. По мере увеличения интенсивности движения на лесовозных автомобильных дорогах возникла необходимость оптимального проектирования геометрических элементов дороги, в частности криволинейных участков. Целью работы является определение путей совершенствования методики проектирования и геометрического контроля строительства дорожных закруглений. Некоторые проектные криволинейные очертания дорожных участков, например, тормозные переходные кривые транспортных развязок иногда не обеспечивают в полной мере безопасность и экономичность движения транспорта в общем и лесовозного в частности и требует соответствующей доработки. Следовательно, существующая технологическая схема ведения изыскательских работ, основанная на применении традиционных геодезических методов измерений, нуждается в совершенствовании. На основе применения современных информационно-интеллектуальных технологий, наземной стереофотограмметрии, которая позволяет получить качественные материалы изысканий, и благодаря представленной методике, можно получить математические зависимости для определения оптимальных геометрических параметров криволинейных участков лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, криволинейные участки трассы, наземная стереофотограмметрия.

Tikhomirov P.V., Skrypnikov A.V., Vysotskaya I.A., Kazachek M.N., Zelikov V.A., Bondarev A.B. Information-intelligent system for improving geometric control of the construction of road rounds. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2022, iss. 239, pp. 161–171 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.239.161-171

Modern roads in general and logging roads in particular are characterized by a complex of engineering structures, where the most important are curved sections, which largely determine the level of technical and economic indicators and traffic safety. Annual economic losses due to the unsuccessful design of the logging road route cause enormous damage to enterprises and sectors of the economy. The process of designing logging roads includes a technological sequence of design operations, which necessitates the development of scientifically based design methods. Therefore, increasing the efficiency of road construction production is associated with improving the methods of surveying, designing and building logging roads. As the intensity of traffic on logging roads increased, it became necessary to optimally design the geometric elements of the road, in particular, curved sections. The aim of the work is to determine ways to improve the methodology for designing and geometric control of the construction of road curves. Some design curvilinear outlines of road sections, for example, braking transition curves of transport

interchanges, sometimes do not fully ensure the safety and efficiency of traffic in general and logging in particular, and require appropriate improvement. Consequently, the existing technological scheme for conducting survey work, based on the use of traditional geodetic measurement methods, needs to be improved. Based on the use of modern information and intellectual technologies, ground-based stereophotogrammetry, which allows obtaining high-quality survey materials, and thanks to the presented methodology, it is possible to obtain mathematical dependencies to determine the optimal geometric parameters of curved sections of logging roads.

Keywords: logging roads, curved sections of the route, ground-based stereophotogrammetry.

ТИХОМИРОВ Петр Викторович – доцент кафедры транспортно-технологических машин и сервиса Брянского государственного инженерно-технологического университета, кандидат технических наук.

241037, пр. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия. E-mail: vtichomirov@mail.ru, [https:// orcid.org/0000-0003-4708-0645](https://orcid.org/0000-0003-4708-0645)

ТИХОМИРОВ Petr V. – PhD (Technical), Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Service of the Bryansk State Engineering and Technology University.

241037. Stanke Dimitrov av. 3. Bryansk. Russia. E-mail: vtichomirov@mail.ru, [https:// orcid.org/0000-0003-4708-0645](https://orcid.org/0000-0003-4708-0645)

СКРЫПНИКОВ Алексей Васильевич – профессор, заведующий кафедрой информационной безопасности, декан факультета управления и информатики в технологических системах Воронежского государственного университета инженерных технологий, доктор технических наук.

394036, пр. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия. e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru, [https:// orcid.org/0000-0003-1073-9151](https://orcid.org/0000-0003-1073-9151)

SKRYPNIKOV Alexey V. – DSc (Technical), Professor, Head of the Department of Information Security, Dean of the Faculty of Management and Informatics in Technical Systems, Voronezh State University of Engineering Technologies.

394036. Revolyutsii av. 19. Voronezh. Russia. e-mail: skrypnikovvsafe@mail.ru, [https:// orcid.org/0000-0003-1073-9151](https://orcid.org/0000-0003-1073-9151)

ВЫСОЦКАЯ Ирина Алевтиновна – доцент кафедры информационной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий, кандидат физико-математических наук.

394036, пр. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия. e-mail: i.a.trishina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>

VYSOTSKAYA Irina A. – PhD (Physical and Mathematical), Associate Professor of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies.

394036. Revolyutsii av. 19. Voronezh. Russia. e-mail: i.a.trishina@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-6521-9570>

КАЗАЧЕК Мария Николаевна – аспирант кафедры организации перевозок и безопасности движения Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. e-mail: Kazmari@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7458-1422>

KAZACHEK Maria N. – PhD student of the Department of Transportation and Traffic Safety, Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov.

394087. Timiryazev str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: Kazmari@rambler.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7458-1422>

ЗЕЛИКОВ Владимир Анатольевич – доцент, заведующий кафедрой организации перевозок и безопасности движения Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, доктор технических наук.

394087, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия. e-mail: zelikov-vrn@mail.ru,
<http://orcid.org/0000-0003-2317-9413>

ZELIKOV Vladimir A. – DSc (Technical), Associate Professor, Head of the Department of Organization of Transportation and Traffic Safety, Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov.

394087. Timiryazev str. 8. Voronezh. Russia. E-mail: zelikov-vrn@mail.ru,
<http://orcid.org/0000-0003-2317-9413>

БОНДАРЕВ Александр Борисович – докторант кафедры информационной безопасности, Воронежского государственного университета инженерных технологий, кандидат технических наук.

394036, пр. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия. E-mail: Bond80@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-2902-7529>

BONDAREV Alexander B. – PhD (Technical), doctoral student of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies.

394036. Revolyutsii av. 19. Voronezh. Russia. E-mail: Bond80@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-2902-7529>