

ОБЗОР ПРИНЦИПОВ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

А.О. Боровлев, А.В. Скрыпников, А.Н. Брюховецкий,
В.А. Тимофеев, В.С. Прокопец

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

borov.borov.ar@yandex.ru

Цель исследования заключается в обзоре и анализе опыта специалистов в области пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог для дальнейшего совершенствования методологических основ за счет обеспечения ясности и зрительно-допустимой степени кривизны пространственных кривых. Восприятие водителями направлений лесовозной автомобильной дороги, завышение скоростей движения приводят к критическим ситуациям или дорожно-транспортным происшествиям. Снижение скорости перед кажущимися резкими поворотами дороги отражается на эффективности работы лесовозного автомобильного транспорта. Поэтому вид дороги в перспективе должен четко ориентировать водителя, т. е. быть зрительно ясным, явно изменяющимся, обеспечивающим постоянство или плавное снижение режима движения транспортного потока. Повышается необходимость оптимального пространственного решения дороги. Требуется определить условия, при которых обеспечивается зрительная плавность и ясность наиболее распространенных простых пространственных кривых при взгляде из точек, соответствующих нормальному расположению глаз водителей автомобилей.

Ключевые слова: дорога, пространственные кривые, зрительная плавность, проектирование, продольный профиль, кривизна

Ссылка для цитирования: Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Тимофеев В.А., Прокопец В.С. Обзор принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 5. С. 119–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-119-124

Началом систематической разработки принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог считают вторую половину XX в. В их основу был положен опыт эксплуатации первых немецких лесовозных автомобильных дорог, при проектировании которых учитывались критерии не только технического оснащения, но и эстетические особенности. К дорогам как крупным инженерным сооружениям были предъявлены архитектурные требования, затронувшие в первую очередь такие дорожные сооружения, как мосты и параллельно с ними — придорожные территории. В начале строительство следовало инструкции по ландшафтному формированию дорог, разработанной американскими дорожниками и архитекторами.

Идеалом трасс по-прежнему оставалась длинная прямая, что объясняется своеобразной психологической идеей проектировщиков, поскольку радиусы кривых вынуждали снижать скорость движения и часто служили причинами аварий. Они в результате получили оценку нежелательных и опасных участков дорог. Наоборот, редко встречающиеся длинные прямые участки, которые автомобили могли проезжать с высокой скоростью, водители идеальными для движения не считали. Признавая кривые нежелательными, но неизбежными элементами трассы, проектировщики трасс старались ограничить их количество и протяженность. Совмещение горизонтальных и

вертикальных кривых малого радиуса также считалось обязательным, поскольку такие участки меньше соответствовали требованиям видимости, поэтому план и продольный профиль трасс проектировали раздельно и независимо.

Цель работы

Цель работы — обзор и анализ опыта пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог для дальнейшего совершенствования методологии за счет обеспечения зрительной ясности и допустимой степени кривизны пространственных кривых трасс.

Материал и методы исследования

Изучение первых лесовозных автомобильных дорог в Германии в 1936–1938 гг. показало, что многие их участки на местности выглядели зрительно беспокойными, поскольку имели резкие повороты и переломы как в плане, так и в профиле [1–3].

Лесовозные автомобильные дороги как протрассированные длинные прямые прорезали окружающий ландшафт и казались чуждыми ему. Ф. Геллер в 1938 г. впервые высказал мнение, что проложение лесовозной автомобильной дороги представляется логичным только в тех случаях, когда кромки проезжей части, характеризующие ее направления, не имеют резких изменений кривизны. Приведенный в его статье пример удачного участка дороги был пологоизвилистым [4, 5].

При сопоставлении различных участков лесовозных автомобильных дорог авторы пришли к выводу, что для удачных построек характерно постепенное изменение направления дороги, а также зрительная ясность проложения дорожного полотна на местности. У водителей, проезжающих по таким участкам, не возникают сомнения в направлении пути за пределами непосредственной видимости.

Критические статьи, опубликованные А. Зейфертом и Р. Ханкером, качественно раскрыли основные причины неудач в трассировании лесовозных автомобильных дорог [6, 7].

Опыт первых лет строительства лесовозных автомобильных дорог способствовал выработке новых требований. Такие дороги стали рассматривать как плавные пространственные кривые, которые следует взаимосвязано прокладывать в плане и в продольном профиле. Теоретические основы идеи пространственной трассы, которые сформулировал Г. Лоренц, показали, что непрерывность дороги достигается в случаях, когда начало и конец кривых в плане и профиле совпадают (рисунки) [7].

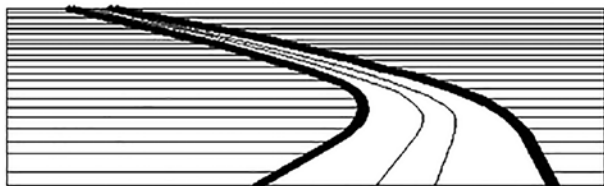


Схема рационального сочетания кривых в плане
Scheme of the rational curves combination in the plan

При проектировании магистралей Г. Лоренц предлагал руководствоваться законом непрерывности, согласно которому линейный график изменения кривизны должен быть непрерывным. Непрерывность графиков кривизны обеспечивала применение переходных кривых между прямыми и круговыми линиями. В отечественной дорожной литературе укрепилось удачное понятие непрерывности — *плавность* трассы, введенное В.Ф. Бабковым [8].

Требование плавности дорог вначале выдвигалось только из эстетических соображений. Однако позднее статически удовлетворяющие участки были признаны более удобными и безопасными для движения с высокими скоростями. Это послужило основной причиной для начала проведения исследований, направленных на установление нормативов для элементов плана и продольного профиля трассы, которые бы обеспечивали плавность и ясность дороги [9].

Зарубежный опыт ландшафтного проектирования за довоенный период в отечественной литературе впервые обобщил В.Ф. Бабков [8], осветивший основные условия для достижения

плавности и ясности дорог и сформулировавший рекомендации по увязке дорог с ландшафтом. В.Ф. Бабков отмечал, что в перспективе будет исследован вопрос о теории проектирования трассы как пространственной линии, плавность которой нельзя обеспечить, рассматривая ее изолированно в плане и профиле.

Несмотря на наличие требований в нормативных документах, проектирование дорог с учетом зрительной плавности и увязки с ландшафтом практически не получило широкого распространения.

Принципы пространственного проектирования не получили широкого внедрения в практику по причине недостаточной требовательности дорожных организаций-заказчиков к проектным организациям. Этот факт иногда пытаются оправдать отсутствием литературы, формулирующей правила обеспечения пространственной плавности трасс, с чем нельзя согласиться, так как еще в 1961 г. на русском языке были опубликованы книги М. Госа и В. Веселы [10].

Обоснованным представляется мнение о том, что безразличное, иногда и отрицательное отношение заказчиков проектов к обеспечению плавности и ясности дороги, связано с обязательным увеличением капитальных вложений в строительство. Еще до недавнего времени на часто задаваемый вопрос о том, какой эффект достигается улучшением плавности и ясности дороги, отдельные энтузиасты ландшафтного проектирования не могли дать убедительный ответ.

Поскольку пространственное проектирование лесовозных автомобильных дорог сложнее, обычного раздельного проектирования плана и профиля поддерживается и большинство проектировщиков. Конечно, объяснять слабое внедрение ландшафтного проектирования только недостатком внимания заказчиков и проектировщиков нельзя. Важной причиной, на наш взгляд, является отсутствие достаточно разработанной и научно обоснованной теории пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, а также недостаточный опыт [11–14].

Отечественные специалисты широко включились в разработку принципов и средств ландшафтного проектирования не так давно, основное внимание уделяя специальным методам проверки зрительной плавности. Для изображения участков автомобильных дорог по широкому проекту П.В. Панов разработал метод изготовления программных перспектив. Метод оценки трассы перемещающейся точки зрения предложил Кульминский [15].

И.В. Бегмой и Е.С. Томаревской были сформулированы некоторые положения методики учета требований зрительной плавности и ясности

дороги в направлении движения, а также предложены некоторые показатели оценки зрительной плавности и рекомендованы новые величины отдельных геометрических элементов, обеспечивающие зрительную плавность [16–18].

Разработке теоретических вопросов архитектурного проектирования дорог посвящены труды Н.В. Орнатского [19].

Существовало мнение, что пространственную плавность и ясность дорог обеспечивают следующие условия:

- наличие оптимальных соотношений элементов трассы в пределах зон орошения в ландшафтных бассейнах и приемлемой для водителей тени кривизны кромок проезжей части дороги в перспективе;

- постепенность переходов между смежными элементами трасс;

- постепенность переломов кромок проезжей части на участках виражей.

До настоящего времени наименее изучена проблема обеспечения ясности и зрительно допустимой степени кривизны дороги. К зрительно ясным относятся криволинейные в пространстве участки дороги, если направление изогнутости всех линий, описывающих бровки земляного полотна, кромок покрытия и полосы движения на перспективных изображениях, соответствуют направлению изогнутости их линий в плане трассы. Понятия плавности и зрительной ясности в целом иногда принято объединять понятием «рациональность».

Вопрос о рациональных сочетаниях элементов плана и профиля впервые поставлен Ф. Геллером. Он отметил, что плавность дороги нарушается при несогласованных величинах элементов плана и продольного профиля. Такое же мнение о характере продольной линии высказал С. Солдатов [20–21].

Первые теоретические исследования закономерностей образований пространственных кривых при сочетании элементов плана и продольного профиля опубликованы Г. Лоренцом. Ему принадлежит следующий вывод: если две прямые различного направления расположены в одной плоскости, то они пересекаются и ... ход от одного направления к другому осуществляется посредством плоской кривой, т. е. две прямые в пространстве, имеющие различные направления и уклоны, не пересекаются. Соединять их в пространстве Г. Лоренц предлагал с помощью пространственной кривой в виде винтовой линии с постоянным возрастным или убывающим шагом [22–25].

Согласно этой идее, переход от одного пространственного направления к другому должен осуществляться по боковой поверхности цилиндра, основанием которого служит участок кривой.

Полученные таким образом на поверхности цилиндра кривые представляют собой винтовые линии. Если проектная линия в продольном профиле в пределах кривой — прямая, то образуется винтовая линия постоянного шага. Если уклон линии в пределах цилиндрической поверхности переменный, то образуется винтовая кривая переменного шага. Желательно, чтобы шаг кривой в развертке был плавно изменяющимся. Этому названию, согласно исследованиям Х. Каспера, полностью удовлетворяет веревочная кривая, поскольку уклон ее изменяется пропорционально длине кривой, а не величине абсциссы.

Позднее Г. Лоренц сделал важный вывод относительно принципов проектирования плана и профиля. Плавный план и продольный профиль придают плавность трассе в пространстве, в том случае, если они согласованы между собой.

По Г. Лоренцу, идеальное закругление в пространстве можно создать путем совмещения начальных и конечных точек кривых в плане и продольном профиле. Хотя Г. Лоренц исследовал только сочетания круговых кривых, в дальнейшем этот принцип был распространен и на сочетание клотоид в плане с круговыми кривыми в профиле [4, 7, 9].

Вкладом Ф. Фрейсинга в теорию проектирования пространственно новых трасс можно считать уточнение основной рекомендации для случаев, когда сочетаемые кривые имеют резко различающийся геометрический характер.

Ф. Фрейсинг указал и на иную возможность устранения зрительных деформаций дороги, видимых с помощью вставок между обратными вертикальными кривыми, которые перекрывали бы начальные участки обоих сопряженных клотоид.

Вопросам пространственной геометрии трассы были посвящены также исследования Е.С. Томаревской, Д.Н. Афоничева, В.Г. Козлова, Е.В. Кондрашовой, В.К. Курьянова и др.

Поверхность автомобильной дороги в перспективе характеризуют проекции оси, бровок дорожного полотна, кромок проезжей части и очерк — линия, которая отделяет видимую часть проекции дороги от невидимой. Очерк неразвертываемой поверхности в перспективе представляется кривой линией, которая может у водителя создать ложное представление о действительной форме поперечного профиля дороги. Наоборот, очерк развертываемой поверхности верно воспроизводит форму поперечного профиля.

Пространственные линии в перспективе изображаются обыкновенными точками или имеют точку перегиба (ТП), которая может быть постоянной (проекция действительной ТП кривой) или оптимальной (соответствующей обыкновенной точке на пространственной прямой). Поскольку

последняя точка меняет свое место при перемещении точки зрения, ее называют оптической ТП [2, 6, 10].

И.В. Бегма и Е.С. Томаревская отмечают, что подвижность оптической точки перегиба при перемещении центра проекции (что происходит с глазом водителя при движении) может создать у водителя иллюзию движущейся волны дорожного полотна («вибрация дороги») [1].

Центральная проекция и план пространственной кривой должны быть родственными, поскольку считается, что элементы плана дороги оказывают большее влияние на режим движения, чем элементы продольного профиля.

Исследования центральных проекций пространственных кривых, приведенные Ф. Фрейсингом, Е.С. Томаревской и др., имеют преимущественно теоретическое значение [1, 2]. Наблюдения на дорогах показывают, что при соотношениях геометрических элементов трассы, определяемых современными техническими условиями проектирования дорог, водитель при движении не может зрительно воспринимать дорогу в целом, и особенно лесовозную автомобильную дорогу. Поэтому встречающаяся в литературе рекомендация во всех случаях избегать сочетаний плана и профиля, образующих поверхность дороги, описанную по геликоиду, практически часто представляется неуместной. В связи с этим важно определить условия, в которых можно ожидать заметные оптические деформации пространственных кривых. Практический интерес представляет также определение области рационального применения плоских кривых. Однако решение этой задачи будет возможным только после определения величины воспринимаемых отклонений от плавной и ясной линии при разных расстояниях до участка, где наблюдаются деформации.

Выводы

Обзор литературы по пространственному проектированию дорог, в целом, и в частности, лесовозных автомобильных, свидетельствует о том, что вопросу рационального сочетания элементов и профиля уделяется достаточно большое внимание во многих странах.

В результате обзора и анализа опыта различных авторов пространственного проектирования были определены направления дальнейшего совершенствования методологических основ пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог для обеспечения ясности и зрительно допустимой степени кривизны пространственных кривых. Для оценки плавности дороги необходимы математические показатели и объективные критерии. До тех пор, пока

сами понятия «плавность дороги» и «реальная ясность» недостаточно определены с математической точки зрения, не могут быть предложены и их количественные характеристики.

Список литературы

- [1] Чудинов С.А. Повышение эффективности инженерно-геодезических изысканий при проектировании лесовозных дорог // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе, 2020. Т. 1. С. 359–363.
- [2] Cantarella G.E., Pavone G., Vitetta A. Heuristics for urban road network design: Lane layout and signal settings // *European J. of Operational Research*, 2006, v. 175 (3), pp. 1682–1695.
- [3] Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path // *Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering – Mechanical engineering*. Institute of Physics Publishing, 2017, pp. 082018.
- [4] Chen Z., He F., Yin Y., Du Y. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks // *Transportation Research. Part B: Methodological*, 2017, v. 99, pp. 44–61.
- [5] Simniceanu L. The study of the car's stability using a simplified model // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 568(1). DOI:10.1088/1757-899x/568/1/012053
- [6] Dantzig G.B., Harvey R.P., Lansdowne Z.F., Robinson D.W., Maier, S.F. Formulating and solving the network design problem by decomposition // *Transportation Research Part B*, 1979, v. 13 (1), pp. 5–17.
- [7] Davis G.A. Exact local solution of the continuous network design problem via stochastic user equilibrium assignment // *Transportation Research Part B*, 1994, v. 28 (1), pp. 61–75.
- [8] Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. М.: Книга по Требованию, 2013. 368 с.
- [9] Dixit V.V., Chand S., Nair D.J. Autonomous vehicles: Disengagements, accidents and reaction times // *PLoS ONE*, 2016, v. 11 (12), art. no. 0168054.
- [10] Гос М., Веселы В. Трассирование дорог с учетом ландшафта / Под ред. Н.В. Орнатского. М.: Автотрансиздат, 1961. 144 с.
- [11] Farah H., Erkens S.M.J.G., Alkim T., van Arem B. Infrastructure for automated and connected driving: state of the art and future research directions // *Road Vehicle Automation 4, Lecture Notes in Mobility*, 2018, pp. 187–197.
- [12] Zavrzhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., 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, pp. 823–827.
- [13] Favarò F., Eurich S., Nader N. Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations // *Accident Analysis and Prevention*, 2018, v. 110, pp. 136–148.
- [14] Hardman S., Lee J.H., Tal G. How do drivers use automation? Insights from a survey of partially automated vehicle owners in the United States // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2019, 129, pp. 246–256.
- [15] Fischetti M., Ljubić I., Monaci M., Sinnl M. On the use of intersection cuts for bilevel optimization // *Mathematical Programming*, 2018, v. 172 (1–2), pp. 77–103.

- [16] Бегма И.В., Томаревская Е.С. Проектирование автомобильной дороги с учетом зрительного восприятия. М.: Автотрансиздат, 1963, 76 с.
- [17] Бегма И.В., Михно О.Д., Томаревская Е.С. Учет полей невидимости при трассировании дорог // Автомобильные дороги, 1967. № 2. С. 23–24.
- [18] Калужский Я.А., Бегма И.В., Кисляков В.М., Филиппов В.В. Применение теории массового обслуживания в проектировании дорог. М.: Транспорт, 1969. 136 с.
- [19] Орнатский Н.В. Устройство и содержание грунтовых дорог. М.: Транспечать НКПС, 1929. 32 с.
- [20] Tarmaev A.A., Petrov G.I., Filippov V.N. Analysis of freight cars wheels wear based on mathematical modeling of the dynamics of their movement // J. of Physics: Conference Series. Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 012087.
- [21] Joševski M., Katriniok A., Riek A., Abel D. Disturbance estimation for longitudinal vehicle dynamics control at low speeds // IFAC-PapersOnLine, 2017, no. 50(1), pp. 987–993.
- [22] Więckowski D., Pusty T., Jędrzyński P. Influence of the vertical load exerted by the trailer on the coupling device on towing vehicle's steerability and stability // IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016, v. 148, pp. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/148/1/012031
- [23] Abdullah M.A., Jamil J.F., Salim M.A. Dynamic performance analysis of a real vehicle driving // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, no. 100(1). DOI: 10.1088/1757-899X/100/1/012017
- [24] Stroganov Y.N., Stroganova Yu.O., Ognev O.G. Improving design safety of tractor-trailers by upgrading towing couplers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, v. 1, iss. 632, pp. 12028.
- [25] Sun C., Wang J., Xie L., Chu D., Liu L. Research on road safety evaluation in curves based on TruckSim-simulink co-simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 6, iss. 392, pp. 062157. DOI:10.1088/1757-899X/392/6/062157

Сведения об авторах

Боровлев Антон Олегович — экстерн Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

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

Брюховецкий Андрей Николаевич — докторант Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

Тимофеев Вадим Александрович — экстерн Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

Прокопец Владимир Сергеевич — экстерн Воронежского государственного университета инженерных технологий, skrypnikovvsafe@mail.ru

Поступила в редакцию 22.04.2021.

Принята к публикации 12.05.2021.

PRINCIPLES OF SPATIAL DESIGN FOR HAULAGE ROADS

A.O. Borovlev, A.V. Skrypnikov, A.N. Bryukhovetsky, V.A. Timofeev, V.S. Prokopets

Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

borov.borov.ar@yandex.ru

The purpose of the study is to review and analyze the experience of specialists in the field of spatial design of haulage roads for further improving the methodological foundations by providing clarity and visually acceptable degree of spatial curves. Drivers perception of the haulage road as well as overspeeding lead to critical situations or road accidents. A decrease in speed at seemingly abrupt bends on the road affects the efficiency of the log trucking transport. Therefore, the perspective view of the road should clearly orient the driver, that is, be visually clear, clearly changing, ensuring the constancy or modulated reduction of the traffic condition. The need for an optimal spatial solution of the road increases. It is required to determine the conditions under which the visual smoothness and clarity of the most common simple spatial curves when looking from points corresponding to the normal position of the eyes of car drivers is ensured.

Keywords: road, spatial curves, visual smoothness, design, longitudinal profile, curvature

Suggested citation: Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Bryukhovetsky A.N., Timofeev V.A., Prokopets V.S. *Obzor printsipov prostranstvennogo projektirovaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Principles of spatial design for haulage roads]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 5, pp. 119–124.

DOI: 10.18698/2542-1468-2021-5-119-124

References

- [1] Chudinov S.A. *Povyshenie effektivnosti inzhenerno-geodezicheskikh izyskaniy pri projektirovanii lesovoznykh dorog* [Improving the efficiency of engineering and geodetic surveys in the design of forest roads]. *Modernizatsiya i nauchnye issledovaniya v transportnom komplekse* [Modernization and research in the transport complex], 2020, v. 1, pp. 359–363.
- [2] Cantarella G.E., Pavone G., Vitetta A. Heuristics for urban road network design: Lane layout and signal settings. *European J. of Operational Research*, 2006, v. 175 (3), pp. 1682–1695.

- [3] Fedotov A.I., Tikhov-Tinnikov D.A., Ovchinnikova N.I., Lysenko A.V. Simulation of car movement along circular path. Innovations and prospects of development of mining machinery and electrical engineering – Mechanical engineering. Institute of Physics Publishing, 2017, pp. 082018.
- [4] Chen Z., He F., Yin Y., Du Y. Optimal design of autonomous vehicle zones in transportation networks. Transportation Research. Part B: Methodological, 2017, v. 99, pp. 44–61.
- [5] Simniceanu L. The study of the car's stability using a simplified model. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, no. 568(1). DOI:10.1088/1757-899x/568/1/012053
- [6] Dantzig G.B., Harvey R.P., Lansdowne Z.F., Robinson D.W., Maier, S.F. Formulating and solving the network design problem by decomposition. Transportation Research Part B, 1979, v. 13 (1), pp. 5–17.
- [7] Davis G.A. Exact local solution of the continuous network design problem via stochastic user equilibrium assignment. Transportation Research Part B, 1994, v. 28 (1), pp. 61–75.
- [8] Babkov V.F., Andreev O.V. *Proektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Road design]. Part I. Moscow: Book on Demand, 2013, 368 p.
- [9] Dixit V.V., Chand S., Nair D.J. Autonomous vehicles: Disengagements, accidents and reaction times. PLoS ONE, 2016, v. 11 (12), art. no. 0168054.
- [10] Gos M., Vesely V. *Trassirovanie dorog s uchetom landshafta* [Tracing roads taking into account the landscape]. Ed. N.V. Ornatsky. Moscow: Avtotransizdat, 1961, 144 p.
- [11] Farah H., Erkens S.M.J.G., Alkim T., van Arem B. Infrastructure for automated and connected driving: state of the art and future research directions. Road Vehicle Automation 4, Lecture Notes in Mobility, 2018, pp. 187–197.
- [12] Zavrazhnov A.I., Belyaev A.N., Zelikov V.A., 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, pp. 823–827.
- [13] Favaro F., Eurich S., Nader N. Autonomous vehicles' disengagements: Trends, triggers, and regulatory limitations. Accident Analysis and Prevention, 2018, v. 110, pp. 136–148.
- [14] Hardman S., Lee J.H., Tal G. How do drivers use automation? Insights from a survey of partially automated vehicle owners in the United States. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2019, v. 129, pp. 246–256.
- [15] Fischetti M., Ljubić I., Monaci M., Sinnl M. On the use of intersection cuts for bilevel optimization. Mathematical Programming, 2018, v. 172 (1–2), pp. 77–103.
- [16] Begma I.V., Tomarevskaya E.S. *Proektirovanie avtomobil'noy dorogi s uchetom zritel'nogo vospriyatiya* [Designing a road taking into account visual perception]. Moscow: Avtotransizdat, 1963, 76 p.
- [17] Begma I.V., Mikhno O.D., Tomarevskaya E.S. *Uchet poley nevidimosti pri trassirovanii dorog* [Accounting for invisibility fields when tracing roads]. *Avtomobil'nye dorogi* [Automobile roads], 1967, no. 2, pp. 23–24.
- [18] Kaluzhskiy Ya.A., Begma I.V., Kislyakov V.M., Filippov V.V. *Primenenie teorii massovogo obsluzhivaniya v proektirovanii dorog* [Application of queuing theory in road design]. Moscow: Transport, 1969, 136 p.
- [19] Ornatskiy N.V. *Ustroystvo i soderzhanie gruntovykh dorog* [Construction and maintenance of dirt roads]. Moscow: Transpechat' NKPS, 1929, 32 p.
- [20] Tarmaev A.A., Petrov G.I., Filippov V.N. Analysis of freight cars wheels wear based on mathematical modeling of the dynamics of their movement. J. of Physics: Conference Series. Institute of Physics Publishing, 2019, pp. 012087.
- [21] Joševski M., Katriniok A., Riek A., Abel D. Disturbance estimation for longitudinal vehicle dynamics control at low speeds. IFAC-PapersOnLine, 2017, no. 50(1), pp. 987–993.
- [22] Więckowski D., Pusty T., Jędryś P. Influence of the vertical load exerted by the trailer on the coupling device on towing vehicle's steerability and stability. IOP Publishing IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2016, v. 148, pp. 012031. DOI: 10.1088/1757-899X/148/1/012031
- [23] Abdullah M.A., Jamil J.F., Salim M.A. Dynamic performances analysis of a real vehicle driving. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2015, no. 100(1). DOI: 10.1088/1757-899X/100/1/012017
- [24] Stroganov Y.N., Stroganova Yu.O., Ognev O.G. Improving design safety of tractor-trailers by upgrading towing couplers. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, v. 1, iss. 632, pp. 12028.
- [25] Sun C., Wang J., Xie L., Chu D., Liu L. Research on road safety evaluation in curves based on TruckSim-simulink co-simulation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 6, iss. 392, pp. 062157. DOI:10.1088/1757-899X/392/6/062157

Authors' information

Borovlev Anton Olegovich — External student 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

Bryukhovetskiy Andrey Nikolaevich — Ph.D. student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Timofeev Vadim Aleksandrovich — External student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Prokopets Vladimir Sergeevich — External student of the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Received 22.04.2021.

Accepted for publication 12.05.2021.