

**А.О. Боровлев, А.В. Скрыпников, И.А. Высоцкая, А.Н. Брюховецкий,
В.В. Никитин**

СОЧЕТАНИЯ КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ПЛАНА И ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТРАССЫ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Введение. Строительство сети лесовозных дорог обеспечивает доступ к лесным ресурсам и является одними из наиболее затратных статей расходов для лесозаготовительных предприятий. Основой формообразования будущей дороги является ее трасса, а очертания этой трассы во многом определяют технические и транспортно-эксплуатационные качества будущей дороги.

Процесс проектирования лесовозных автомобильных дорог включает в себя технологическую последовательность проектных операций, что обуславливает необходимость разработки научно обоснованных методов проектирования и оптимизации лесотранспортной сети. При формировании оптимальной схемы развития лесовозной автомобильной дороги и выборе её рационального положения на местности, инженер сталкивается с необходимостью учитывать особенности рельефа, физико-географических процессов и явлений, для построения перспективных изображений будущей трассы [Морозов, 2011].

Проверка дорожного полотна при помощи перспективных изображений моделей имеет две основные цели: получение удачного дорожно-ландшафтного решения и обеспечение условий безопасности движения (зрительная ясность и плавность). Ландшафтные изображения, как правило, охватывают отдельные ландшафтные бассейны и позволяют оценить в целом гармоническое положение участков дороги в увязке с ландшафтом.

Цель исследования провести анализ, который позволит определить встречаемые в проектах лесовозных автомобильных дорог типичные сочетания трассы в плане и профиле и их частоту и оценить в первом приближении соответствие этих сочетаний зрительной ясности и плавности.

Материалы и методика исследования. Характер дорог показал, что в пределах видимых водителю участков отчетливо открываются не более двух односторонних иных кривых в плане [Бурмистров, 2018].

Рассмотрим 10 различных участков трассы лесовозных автомобильных дорог общей протяженностью 26 км республики Коми. Из анализа перспективных изображений разных лесовозных автомобильных дорог можно сделать вывод, что прямые вставки короче 300 м, направленные в одну сторону круговыми кривыми средних радиусов, не воспринимаются как самостоятельный элемент и создают впечатление ошибочно разбитой кривой.

Таблица 1

Типичные сочетания элементов в плане
Typical combinations of elements in plan

Элементы плана трассы				
прямая линия	круговая кривая	прямая линия	круговая кривая	прямая линия
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

Поскольку криволинейные участки, содержащие короткую прямую обычно обозримы, при оценке зрительной плавности и ясности необходимо охватить оба сопряженных этой вставкой криволинейных участка. По этим соображениям к типичным участкам трассы отнесены также односторонние и обратные кривые в случаях, когда длина прямой вставки между концами круговых менее 300 м, и участок находится в зоне видимости на вогнутом плоском участке продольного профиля. Если прямая длиной менее 300 м совпадала с выпуклым профилем и видна одна кривая, то смежные кривые рассматривались как типичные участки плана.

Предварительный осмотр проектов также показал, что число правых и левых поворотов примерно одинаково. Поэтому направление поворотов при выделении типичных участков плана не учитывалось, условно все повороты были приняты как левые. Авторы имели в виду, что общее количество кривых в плане может быть разделено на равные части, соответствующие правым и левым поворотам.

Поэтому границами типичных участков плана приходилось принимать точки на пространственных прямых между односторонними кривыми. В редких случаях извилистой трассы границами участков принимались точки перегиба или точки сопряжения односторонних кривых.

При предварительном просмотре проектов дорог было установлено, что в пределах типичных участков наиболее часто встречаются показанные в табл. 2 сочетания элементов продольного профиля.

Пунктирной линией в табл. 2 обозначены участки прямых уклонов продольного профиля протяженностью менее 300 м. К типичным участкам профиля с 4 по 9 отнесены также участки непосредственно сопряженных вертикальных кривых. Типичные участки профиля 3, 4 и 5 подразделены на вогнутые (а) и выпуклые (б). Направление уклонов не принималось во внимание, так как один и тот же участок дороги, в зависимости от направления движения, является и спуском и подъемом.

Таблица 2

**Сочетание элементов продольного профиля
(пр. – прямая; кр.к. – круговая кривая)**

**A combination of elements of a longitudinal profile
(пр. – straight; кр.к. – circular curve)**

Типичный участок профиля	Элементы продольного профиля						
	пр.	кр.к.	пр.	кр.к.	пр.	кр.к.	пр.
1							
2							
3а							
3б							
4а							
4б							
5а							
5б							
6							
7							
8							
9	Изогнутый профиль, переходный блок с 5 метров.						

Приведенные в табл. 1 и 2 типичные участки плана и продольного профиля образует 48 взаимных сочетаний. В дальнейшем сочетания определены двумя цифрами и буквой. Первая цифра соответствует типичному участку плана, вторая – типичному участку продольного профиля; буква (а) означает, что профиль является вогнутым; (б) – выпуклым. Графические изображения схем сочетаний позволяют легко представить,

совмеща участки плана (см. табл. 1) с типичными участками продольного профиля (см. табл. 2). Кроме того, каждое из этих сочетаний может иметь несколько вариантов.

Результаты исследования. Длины кривых в плане C_p и профиле C_V одинаковы ($C_p = C_V$) и если их середины, точки СК и СЗ, совпадают (т. е. величина смещения $\delta_c = 0$), то получается, согласно [Kozlov et. al., 2019; Skrypnikov et. al., 2017], сочетание этих кривых. Чаще всего точки середины кривых в плане и профиле смежные, а также различаются их длины ($C_p \neq C_V$). Могут образоваться варианты сочетаний элементов плана и продольного профиля, приведенные на рис. 1б–1е. Условию ясности при малых величинах смещения начал и концов (δ_n и δ_k) кривых плана и профиля соответствуют варианты сочетаний, изображенные на рис. 1б и 1в. Остальные варианты сочетаний (рис. 1г–1е) являются неудачными, поскольку по виду в перспективе такие участки неправильно ориентируют водителя в дальнейшем направлении дороги.

Следовательно, одно и то же сочетание, например, «23», в зависимости от случайно получившегося положения кривых плана и профиля может иметь как удачные, так и неудачные варианты. По улучшению каждого из этих вариантов могут быть даны определенные рекомендации, которые имеют важное значение при проектировании трассы на топографических картах методом постепенных приближений.

По этим соображениям был проведен учет не только типичных сочетаний, но и их вариантов. Для определения вариантов сочетаний дополнительно вводится цифра, помещаемая после дефиса («-»). Например, шифр «23а-1» означает: сочетание 2-го типичного участка плана с 3-м типичным участком вогнутого продольного профиля, соответствующее 1-му варианту.

Таблица 3

Размещения элементов трассы
Alignment Placements

Рисунок	Элементы трассы				
	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5
1а	прямая	–	простран.кр.	–	прямая
1б,в	прямая	простран.кр.	простран.кр.	простран.кр.	прямая
1г	прямая	плоская.кр.	простран.кр.	плоская.кр.	прямая
1д	прямая	простран.кр.	простран.кр.	плоская.кр.	прямая
1е	прямая	плоская.кр.	простран.кр.	простран.кр.	прямая

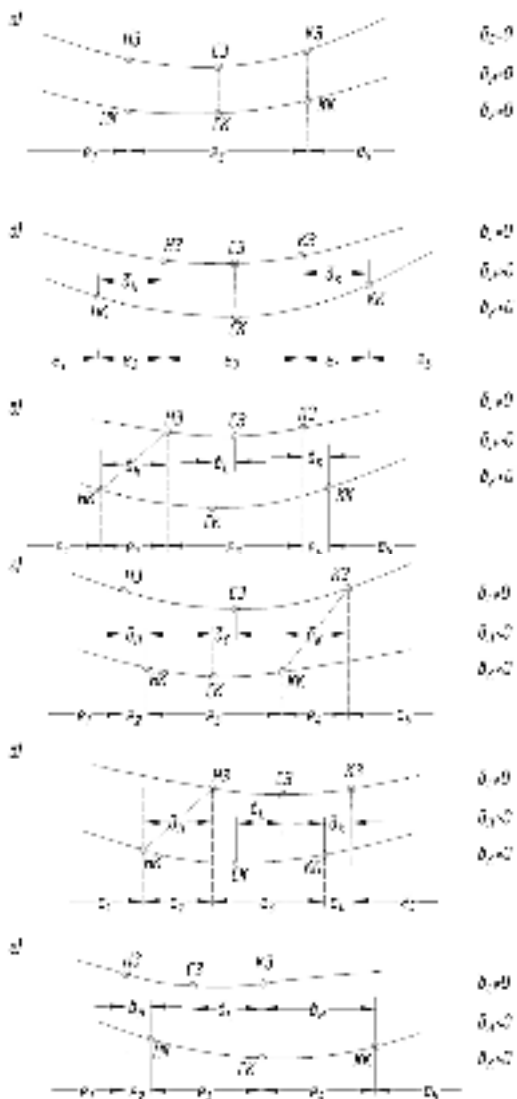


Рис. 1. Варианты сочетаний кривых в плане и профиле:
 а, б при $\delta_c = 0$; в, г, д, е при $\delta_c \neq 0$
 Fig. 1. Variants of combinations of curves in plan and profile:
 а, б at $\delta_c = 0$; в, г, д, е at $\delta_c \neq 0$

Изображенные на рис. 1 криволинейные в пространстве участки трассы сложены из определенного количества пространственных элементов, последовательность которых, как видно из табл. 3, различается.

В комбинаторике соединения, которые различаются друг от друга самими элементами или их порядком, называют размещениями. В данном случае совокупность элементов трассы, получившуюся при сочетании одного участка плана и профиля, можно назвать размещением элементов трассы.

Целесообразно обратить внимание на одну особенность размещений элементов трассы в случаях, когда $\delta_c = 0$. По рис. 1а и 1б видно, что средний элемент e_3 является пространственной кривой, элементы e_1 и e_5 – прямые линии, а элементы e_2 и e_4 – винтовые линии постоянного шага (рис. 1б). Элементы e_1 и e_5 , e_2 и e_4 расположены симметрично относительно среднего элемента e_3 и точек СК и СЗ.

Такие размещения элементов трассы условно назовём симметричными, а сами сочетания симметричными совершенными (рис. 1а) или симметричными несовершенными (рис. 1б). В случаях, когда $\delta_c \neq 0$ и $C_p \neq C_\gamma$, образуются, приведенные на рис. 1в–1е, варианты сочетаний, элементы e_2 и e_4 которых расположены ассиметрично относительно точки СЗ. Эти сочетания названы авторами ассиметричными несовершенными.

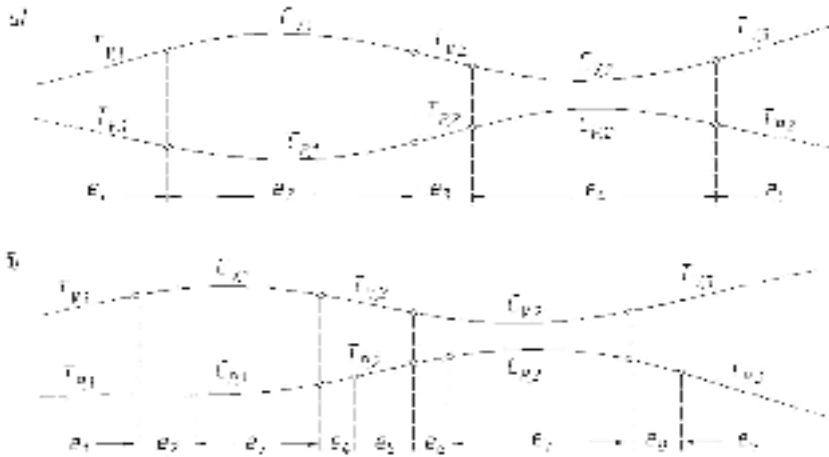


Рис. 2. Варианты сочетания сложных участков плана и продольного профиля

Fig. 2. Options for combining complex sections of the plan and longitudinal profile

Аналогичные варианты образуются и при сочетании более сложных участков плана (3 и 4) и участков продольного профиля (4 и 5). На рис. 2 а, б приводятся два варианта сочетания 4б («41-1» и «46-4»).

В табл. 4 систематизированы те сочетания типичных участков плана и профиля и их варианты, которые перед началом анализа проектов авторы считали наиболее вероятными. Для редко встречаемых (по личному опыту проектирования) сочетаний учет вариантов не был предусмотрен. К маловероятным авторы отнесли и некоторые из основных сочетаний (29, 37, 38, 39, 47, 48, 49). Очевидно, что принятая система обозначений дает возможность, в случае необходимости, расширять ее по ходу анализа введением и других сочетаний.

Для общей оценки зрительной ясности криволинейных участков трассы необходимо создать систему характеризующих ее показателей, которые были бы удобны при анализе и отражали бы соответствие встречаемых сочетаний условиям зрительной ясности [Чирков и др., 2020]. В практике проектирования дорог схема совмещения круговых кривых плана и профиля считается идеальной независимо от длины кривой (рис. 2а). Поэтому для приближенной оценки зрительной ясности поворотов дороги, как правило, можно использовать систему относительных показателей, принимая за единицу длину кривой в плане C_p .

Степень взаимной увязки кривых плана и продольного профиля полностью определяется следующими показателями:

модулем смещения средних кривых

$$M_a = \frac{\delta_c}{C_p}$$

и модулем длин кривых плана и профиля

$$M_s = \frac{C_v}{C_p}.$$

Для более полной характеристики зрительной ясности пространственных кривых необходим и показатель соотношения радиусов кривых плана и профиля $m = \frac{R_v}{R_p}$.

В этих формулах приняты следующие обозначения:

δ_c – смещение середины кривых плана и продольного профиля, м;
 R_p, R_v – радиусы кривых в плане и профиле, м.

Таблица 4

Сочетания типичных участков плана и профиля и их варианты

Combinations of typical plan and profile sections and their variants

Типичные участки плана	Типичные участки прод. проф.	Сочетания типичных участков плана и профиля и их варианты				
		0	1	2	3	4
1	1	11				
	2	12				
	3а			13а-2	13а-3	13а-4
	4а	14а				
	4б	14б				
	5а	15а				
	5б	15б				
	6	16				
	7	17				
	8	18				
	9	19				
2	1	21				
	2	22				
	3а		23а-1	23а-2	23а-3	23а-4
	3б		23б-1	23б-2	23б-3	23б-4
	4а		24а-1	24а-2	24а-3	24а-4
	4б		24б-1	24б-2	24б-3	24б-4
	5а	25а				
	5б	25б				
	6		26-1	26-2	26-3	26-4
	7	27				
	8	28				
3	1	31				
	2	32				
	3а			33а-2	33а-3	33а-4
	3б			33б-2	33б-3	33б-4
	4а	34а				
	4б	34б				
	6	36				
4	1	41				
	2	42				
	3а			43а-2	43а-3	43а-4
	3б			43б-2	43б-3	43б-4
	4а	44а				
	4б	44б				
	6	46				

Выводы. Проведенные исследования дали общее представление о типах сочетаний кривых плана и профиля и их частоте в проектах лесовозных автомобильных дорог. Основными причинами неудачных сочетаний кривых плана и продольного профиля (рис. 1г–1е) являются недостаточная изученность зрительной ясности и плавности, а также отсутствие опыта практического использования в проектных организациях известных принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Библиографический список

Бурмистров Д.В. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // *Лесной вестник. Forestry Bulletin*. 2018. Т. 22. № 5. С. 69-76.

Козлов В.Г. Анализ существующих методов проектирования трассы лесных автомобильных дорог // *Фундаментальные исследования*. 2017. №3. С. 35-39.

Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // *Лесотехнический журнал*. 2011. №2. С. 36-41.

Чирков Е.В., Скряпников 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., 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.

Skrypnikov A.V., Dorokhin S., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2017. V. 12. № 2. P. 511-515.

References

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

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

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.)

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.

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, vol. 12, no. 2, pp. 511–515.

Материал поступил в редакцию 23.02.2021

Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В. Сочетания криволинейных участков плана и продольного профиля трассы лесовозных автомобильных дорог // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2021. Вып. 235. С. 196–207. DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.196-207

Ежегодные экономические потери вследствие неудачного проектирования трассы лесовозной автомобильной дороги наносят огромный ущерб предприятиям и отраслям экономики. Поэтому повышение эффективности дорожно-строительного производства связано с усовершенствованием методик расчетов проектирования и строительства лесовозных автомобильных дорог. По мере увеличения интенсивности движения на лесовозных автомобильных дорогах возникла необходимость оптимального проектирования геометрических элементов дорог. Основой формообразования будущей дороги является ее трасса, а очертания этой трассы во многом определяют технические качества будущей дороги. В работе рассматриваются и анализируются различные сочетания криволинейных участков плана и продольного профиля трассы лесовозных автомобильных дорог. Основными причинами часто получавшихся неудачных сочетаний кривых плана и продольного профиля является недостаточная изученность зрительной ясности и плавности, а также недостаточный опыт практического использования в проектных организациях известных принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог. Целью исследования является анализ, который позволит определить встречаемые в проектах лесовозных автомобильных дорог типичные сочетания трассы в плане и профиле и их частоту и оценить в первом приближении соответствие этих сочетаний зрительной ясности и плавности. В работе систематизированы различные сочетания типичных участков плана и профиля и их варианты, получены показатели степени взаимной увязки кривых плана и продольного профиля. Проведенные исследования дали общее представление о типах сочетаний кривых плана и профиля и их частоте в проектах лесовозных автомобильных дорог.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, криволинейные участки плана трассы, профиль трассы.

Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Vysotskaya I.A., Bryukhovetskiy A.N., Nikitin V.V. Combinations of curved segments of the plan and longitudinal profile of forest roads. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2021, is. 235, pp. 196–207 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2021.235.196-207

Annual economic losses due to the unsuccessful design of the route of the timber haul road cause enormous damage to enterprises and sectors of the economy. Therefore, an increase in the efficiency of road construction production is associated with the improvement of calculation methods for the design and construction of timber highways. With the increase in traffic intensity on forest roads, it became necessary to optimally design the geometric elements of the roads. The basis for the formation of the future road is its route, and the outline of this route largely determines the technical qualities of the future road. The work examines and analyzes various combinations of curvilinear sections of the plan and the longitudinal profile of the route of timber transport roads. The main reasons for the often obtained unsuccessful combination of plan curves and longitudinal profile are insufficient study of visual clarity and smoothness, as well as insufficient experience of practical use in design organizations of the known principles of spatial design of timber haul roads. The aim of the study is to analyze, which will make it possible to determine the typical combinations of the route in plan and profile and their frequency found in the projects of timber hauling roads and their frequency and to estimate, in a first approximation, the correspondence of these combinations of visual clarity and smoothness. In the work various combinations of typical sections of the plan and profile and their variants are systematized, indicators of the degree of mutual coordination of the curves of the plan and the longitudinal profile are obtained. The studies carried out gave a general idea of the types of combinations of plan and profile curves and their frequency in projects of timber transport roads.

Key words: logging highways, curved sections of the route plan, route profile.

БОРОВЛЕВ Антон Олегович – соискатель кафедры информационной безопасности Воронежского государственного университета инженерных технологий.

394036, пр. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия. E-mail: Antbor@mail.ru ,
<https://orcid.org/0000-0002-0154-8015>

BOROVLEV Anton O. – postgraduate student of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies,

394036, Revolyutsii av. 19. Voronezh. Russia. E-mail: Antbor@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-0154-8015>

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>

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>

БРЮХОВЕЦКИЙ Андрей Николаевич – доцент, заведующий кафедрой тракторов и автомобилей, проректор по учебной и научно-педагогической работе Луганского национального аграрного университета, кандидат технических наук.

91008, Артемовский район, городок ЛНАУ, д. 1, г. Луганск, Луганская Народная Республика. E-mail: bruhoveckiy@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3141-1520>

BRYUKHOVETSKIY Andrey N. – PhD (Technical), associate Professor, head of the Department of tractors and cars, Pro-rector on educational and pedagogical work of GOU LC «Lugansk national agrarian University».

91008. Artemovskiy district. Mistechko lnau. 1. Lugansk. Lugansk people's Republic. E-mail: bruhoveckiy@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3141-1520>

НИКИТИН Владимир Валентинович – доцент, начальник отдела международного научно-образовательного сотрудничества Мытищинского филиала Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, кандидат технических наук.

141005, ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Россия. E-mail: nikitinvv@bmstu.ru, [https:// orcid.org/0000-0001-5284-8116](https://orcid.org/0000-0001-5284-8116)

NIKITIN Vladimir V. – PhD (Technical), Associate Professor, Head of the Department of International Scientific and Educational Cooperation, Mytishchi Branch of the Bauman Moscow State Technical University.

141005. 1-ya Instytutskaya str. 1. Mytishchi. Russia. E-mail: nikitinvv@bmstu.ru, [https:// orcid.org/0000-0001-5284-8116](https://orcid.org/0000-0001-5284-8116)