

На правах рукописи

БОРОВЛЕВ Антон Олегович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КРИВЫХ НА
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ
С УЧЕТОМ ЗРИТЕЛЬНОЙ ПЛАВНОСТИ**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок
и лесного хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Архангельск
2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ФГБОУ ВО «ВГУИТ»).

Научный руководитель: **Скрышников Алексей Васильевич**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Пильник Юлия Николаевна**
доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ухтинский государственный технический университет», профессор кафедры «Экологии, землеустройства и природопользования»

Левушкин Дмитрий Михайлович
кандидат технических наук, доцент, Мытищинский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», доцент кафедры ЛТ4 «Технология и оборудование лесопромышленного производства»

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный инженерно-технологический университет»**

Защита диссертации состоится 14 апреля 2021 г. в ___ часов на заседании диссертационного совета Д 212.008.01, созданного на базе ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, ауд. 1220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте университета www.narfu.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.



Т.В. Тюрикова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Рост экономики страны не возможен без развития инфраструктуры, одной из составляющей которой является развитая сеть автомобильных дорог в целом и лесовозных автомобильных дорог в частности.

Осуществление задач связанных с развитием транспортной сети в целом и лесовозных автомобильных дорог как неотъемлемой ее части требует значительных капиталовложений. Необходимо добиться, чтобы затраты денежных и материальных ресурсов обеспечили безопасность движения и дали большой экономический, а также ландшафтно-архитектурный эффект, удовлетворяющий непрерывно возрастающему культурному слою населению. Это в первую очередь зависит от качества решений, поскольку рациональное проложение трассы на многие годы определяет важнейшие ее транспортно-эксплуатационные характеристики (скорость, уровень безопасности движения, пропускная способность).

От восприятия водителями направлений лесовозной автомобильной дороги или завышения опасных скоростей движения приводят к критическим ситуациям или дорожно-транспортным происшествиям. С другой стороны, снижение скорости перед кажущимися резкими поворотами дороги отражается на эффективности работы лесовозного автомобильного транспорта. Поэтому вид дороги в перспективе должен сильно ориентировать водителя, т.е. быть зрительно ясным явно меняющимся, обеспечивающим постоянство или плавное снижения режима движения транспортного потока. Необходимость удачного пространственного решения дороги при этом повышается.

Работа выполнялась автором в соответствии со Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 года (приказ Минпромторга России и Минсельхоз России от 31 октября 2008 г. №248/482).

Степень разработанности проблемы. Первые теоретические исследования закономерностей образований пространственных кривых при сочетании элементов плана и продольного профиля опубликованы Г. Лоренцом. Ему принадлежат следующие выводы: Если две прямые различного направления расположены с одной плоскости, то они пересекаются и ...ход от одного направления к другому осуществляется посредством плоской кривой.

Обзор литературы по пространственному проектированию дорог, в общем, и лесовозных автомобильных в частности свидетельствует, что вопросу рационального сочетания элементов и профиля уделяется достаточно большое внимание во многих странах. Ценный вклад в решение этой проблемы внесли отечественные ученые Бабков В.Ф., Николаевский Г.К., Бегма И.В., Тома Е.С., Орнатский Н.В., Усов А.П., Трескин С.А., Кузиков А.А., Курьянов В.К., Кондрашова Е.В., Афоничев Д.Н., Яковлев К.А., Самцов В.В., Козлов В.Г., Микова Е.Ю. и зарубежные Лорену Г., Баккер Х., Овердий Г., Фрейзинг Ф., Годен П., Геллер Ф., Кестер Х., Гос М., Веселы В., Пфейл В., Ранке В., Ранке В., Смит В., Фого Р. и др.

Дальнейшее повышение эффективности совершенствования методологических основ пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, по нашему мнению, необходимо проводить, за счет обеспечения ясности и зрительно-допустимой степени кривизны пространственных кривых, что требует существенного развития и продолжения изысканий по поиску новых, эффективных решений по этому вопросу.

Цель работы. Совершенствование методологических основ пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, за счет обеспечения ясности и зрительно-допустимой степени кривизны пространственных кривых.

Задачи исследований:

1. Исследовать количественные показатели кривизны кривых, характеризующие плавность и ясность параллельных проекций пространственных и плоских кривых.
2. Разработать аналитические методы оценки зрительной плавности и ясности траекторий движения глаз водителя лесовозного автомобиля.

3. Усовершенствовать методику пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог на топографических картах.

4. Провести экономическую оценку эффективности применения методики пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Предмет исследования. Механизмы, методы, математические модели и алгоритмы процесса пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Объект исследования. Участки лесовозных автомобильных дорог лесного комплекса, организация и проектирование лесовозных автомобильных дорог.

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследований. В диссертационной работе, для получения и обработки данных использовались методы: имитационного моделирования процесса организации пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, методы системного анализа и теории исследования операций, натурные наблюдения и эксперимент. Данные результаты экспериментальных исследований обрабатывались известными статистическими методами.

Научная новизна. Результатами диссертационной работы, обладающими научной новизной, являются:

1. Определены количественные показатели кривизны в начале и конце кривой, а также максимальной скорости изменения кривизны, отличающиеся достаточно полной характеристикой плавности и ясности параллельных проекций пространственных и плоских кривых. Сформулированы общие условия зрительной плавности и плоскости криволинейных участков лесовозных автомобильных дорог.

2. Разработаны аналитические методы оценки зрительной плавности и ясности траекторий движения, отличающиеся качественным подбором параметров пространственных и плоских кривых, отвечающих условиям зрительной плавности и ясности глаз водителя лесовозного автомобиля.

3. Усовершенствована методика пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог на топографических картах, отличающаяся возможностью одновременного проведения количественной оценки зрительной плавности и ясности любых параметрических заданных пространственных кривых.

4. Установлена опытно-экспериментальная оценка применения методов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, отличающаяся точностью и надежностью оценки применения методов и технологии проектирования.

Значимость для науки. Получены новые зависимости, отражающие закономерности процесса организации методологических основ обоснования оптимальных параметров пространственных и плоских кривых, отвечающих условиям зрительной плавности и ясности глаз водителя автомобиля на стадии трассирования.

Практическая значимость работы. Предложенные на основе пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог модели и зависимости позволяют:

- повысить технический уровень вновь строящихся лесовозных автомобильных дорог на основе углубления исследований методологических основ и методов обоснования оптимальных параметров пространственных и плоских кривых, отвечающих условиям зрительной плавности и ясности глаз водителя лесовозного автомобиля на стадии трассирования;

- прогнозировать развитие основной сети лесовозных автомобильных дорог на базе прогнозов развития грузовых и пассажирских перевозок и учета особенностей степени сложности дорожного строительства.

- повысить уровень организации и оперативного управления планированием сети лесовозных автомобильных дорог и дорожным движением.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Количественные показатели кривизны в начале и конце кривой, а также максимальной скорости изменения кривизны, позволяющие достаточно полно характеризовать плавность и ясность параллельных проекций пространственных и плоских кривых.

2. Аналитические методы оценки зрительной плавности и ясности траекторий движения, позволяющие за счет качественного подбора параметров пространственных и плоских кривых, одновременно провести количественную оценку зрительной плавности и ясности любых параметрических заданных пространственных кривых.

3. Усовершенствована методика пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог на топографических картах, обеспечивающая возможность при варианте проектировании трассы подыскать такие сочетания параметров кривых плана и продольного профиля, при которых пространственные кривые наилучшим образом вписываются в основные формы рельефа.

4. Установлена опытно-экспериментальная оценка применения методов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, позволяющая с высокой точностью и надежностью оценить применение пространственного метода и технологии проектирования.

Личный вклад соискателя. Вклад соискателя прослеживается на всех этапах выполнения работы: обзор научной, патентной и технической литературы, производственная постановка задач, разработка новых технологий методов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, выбор методов исследований, обработка результатов опытов, подготовка публикаций, формирование выводов и рекомендаций.

Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности. Результаты, выносимые на защиту, относятся к пункту 15 – «Обоснование схем транспортного освоения лесосырьевых баз, поставки лесопроductии, выбора техники и способов строительства лесовозных дорог и инженерных сооружений» (паспорт специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства).

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждена: численной реализацией аналитических зависимостей; использованием апробированных методов исследования; удовлетворительной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Реализация работы. ООО «Атлантида» (Центрально-Черноземный регион, 2020 г., путем внедрения изыскательских работ в методику обоснования геометрических элементов проезжей части лесовозных автомобильных дорог); ООО «СлавСтрой» (Воронежская область, город Воронеж, 2020 г., путем внедрения изыскательских работ в методику обоснования оптимальных параметров продольного профиля и ширины проезжей части лесовозных автомобильных дорог); ООО «Воронеж-Авторост» (Воронежская область, город Воронеж, 2020 г., путем решения задачи разработки логической и математической моделей процесса обоснования геометрических элементов на стадии технико-экономического обоснования).

Апробация результатов работы. Результаты работы обсуждались на международных и национальных научно-практических конференциях: Инновационные технологии и технические средства для АПК (г. Воронеж, 2019 г.), Молодежный вектор развития аграрной науки (г. Воронеж, 2020 г.), Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве (г. Воронеж, 2020 г.), Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения (г. Воронеж, 2020 г.), и др.

Публикации. Результаты исследований отражены в 20 научных работах, общим объемом 5,8 п.л. (авторский вклад – 3,8 п.л.), 5 статей в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России (авторский вклад – 0,72 п.л.).

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, выводов и рекомендаций, библиографического списка из 251 наименования. Основные материалы

диссертации изложены на 174 страницах машинописного текста, содержит 27 таблиц, 65 рисунков и приложения.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **Введении** изложено содержание диссертационной работы, обоснованы актуальность и научная новизна выполненных исследований, их практическая значимость, результаты внедрения, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первом разделе** проведен анализ принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Началом систематической разработки принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог считают вторую половину прошлого столетия. В 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, коснувшись в первую очередь дорожных сооружений, мостов и придорожных территорий.

К началу настоящего исследования были качественно сформулированы понятия о зрительной (оптической) плавности и частности дороги и основные эмпирические принципы пространственного проектирования.

Существовало мнение, что условиями, обеспечивающими пространственную плавность и ясность дорог, являются: оптимальные соотношения элементов трассы в пределах зон орошения в ландшафтных бассейнах и приемлемая для водителей тень кривизны кромок проезжей части дороги в перспективе; постепенность переходов между смежными элементами трас; постепенность переломов кромок проезжей части на участках виражей.

До настоящего времени наименее исследованы остались вопросы обеспечения ясности и зрительно допустимой степени кривизны, которые и избраны темой данной диссертации.

Таким образом, дальнейшее повышение эффективности совершенствования методологических основ пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог, за счет обеспечения ясности и зрительно-допустимой степени кривизны пространственных кривых, требует существенного развития и продолжения изысканий по поиску новых, эффективных решений по этому вопросу.

Во **втором разделе** представлена методика анализа проектных решений лесовозных автомобильных дорог и сделана попытка систематизации и классификации встречаемых в проектах криволинейных участков дороги.

Проверка дорожного полотна при помощи перспективных изображений моделей преследует две основные цели: получение удачно 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.

При предварительном просмотре проектов дорог было установлено, что в пределах типичных участков наиболее часто встречаются представленные в таблице 1 сочетание элементов продольного профиля.

Пунктирной линией в таблице 1 обозначены участки прямых уклонов продольного профиля протяженностью менее 300м. 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 и выпуклые (б).

Направление уклонов i_n , i_k , i_2 и i_3 не принималось, так как один и тот же участок дороги в зависимости от направления движения, является и спуском и подъемом.

Таблица 1 - Сочетание элементов продольного профиля. Обозначения: пр. - прямая; кр.к. – круговая кривая.

Типичные участки профиля	Элементы продольного профиля							Примечания
	пр.	кр.к.	пр.	кр.к.	пр.	кр.к.	пр.	
1								$i = 0$
2								$i \neq 0$
3 а								
3 б								
4 а			i_2					
4 б			i_2					
5 а			i_2		i_1			
5 б			i_2		i_1			
6			i_2					
7			i_2					
8			i_2		i_1			
9	Волнообразный профиль, имеющий более 3 кривых							

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. В практику проектирования дорог эта схема совмещения круговых кривых плана и профиля считается идеальной независимо от длины кривой. Поэтому для приближенной оценки зрительной ясности поворотов дороги, как правило, можно использовать систему относительных показателей, принимая за единицу длину кривой в плане C_p .

Нетрудно убедиться в том, что степень взаимной увязки кривых плана и продольного профиля полностью определяется следующими показателями:

модулем смещения средних кривых

$$M_a = \frac{\delta_c}{C_p} \quad (1)$$

и модулем длин кривых плана и профиля

$$M_S = \frac{C_v}{C_p} \quad (2)$$

Для более полной характеристики зрительной ясности пространственных кривых необходим и показатель соотношения радиусов кривых плана и профиля

$$m = \frac{R_v}{R_p} \quad (3)$$

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

В случаях, когда поворот дороги в плане состоит из клотоидных переходных кривых с круговой вставкой, величина C_p в формуле 1 по 3 должна быть заменена «эффективной» длиной кривой $C_{эп}$, определяемой по следующим формулам:

$$\text{при } \delta_{\text{опт}} < L_p \quad C_{эп} = C_{p,\text{общ}} - 2\delta_{\text{опт}} \quad (4)$$

$$\text{при } \delta_{\text{опт}} > L_p \quad C_{эп} = C_{p,\text{общ}} - 2\delta L \quad (5)$$

где: $C_{p,\text{общ}}$ – общая длина кривой в плане, включая переходные кривые, м; L_p – длина переходной кривой, м; $\delta_{\text{опт}}$ – оптимальное по условию зрительной ясности смещение начала вертикальной кривой НЗ по отношению к началу клотоиды НР, м.

На основе проведенного анализа рекомендуются следующие значения величин $\delta_{\text{опт}}$ в зависимости от параметра клотоиды A_p :

A_p , м 200 300 400 500 600 1000 2000

$\delta_{\text{опт}}$, м 40 50 60 70 80 90 100

За исходную точку при определении смещения середин кривых принималась середина закругления C_3 , поскольку положение вертикальных кривых определяется рельефом местности, и

возможности их перемещения при соблюдении требований увязки проложения дороги с рельефом, как правило, невелики. Наоборот, размещение кривых в плане сравнительно редко ограничивается ситуацией и их можно менять, увязывая с рациональным положением вертикальных кривых.

№ п/п	Схемы сочетаний	Показатели
1		$M_a = \delta_{оп} / C_{оп}$ $M_s = C_v / C_{оп}$ $m = R_v / R_p$
2		$M_a = \delta_{оп} / C_{оп}$ $M_s = S_v / C_{оп}$ $m_1 = R_{v,1} / R_{p,1}$, $m_2 = R_{v,2} / R_{p,1}$ или $m_3 = R_{v,2} / R_{p,2}$
3		$M_a = \delta_{оп} / C_{оп}$ $M_s = S_v / C_{оп}$ $m_1 = R_{v,1} / R_p$ $m_2 = R_{v,2} / R_p$ $m_3 = R_{v,3} / R_p$
4		$M_a = \delta_{оп} / S_{оп}$ $M_s = S_v / S_{оп}$ $m_1 = R_{c1} / R_{p1}$ $m_2 = R_{c2} / R_{p2}$

Рисунок 1. Характеристики сочетаний плана и продольного профиля.

при профиле, то смещение начал δ_n и δ_k принимается положительными.

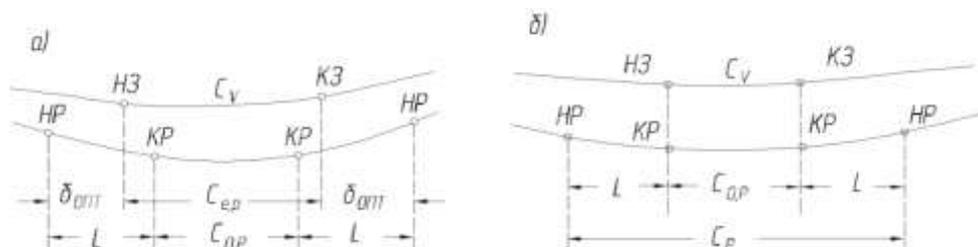


Рисунок 2. Схемы рационального совмещения клотоид в плане с круговыми кривыми (или параблами) а) продольном профиле: а) при $b_{опт} < L$; б) при $b_{опт} \geq L$.

Таким образом, проведенные исследования дали общее представление о типах сочетаний кривых плана и профиля и их частоте в проектах лесовозных автомобильных дорог.

В **третьем разделе** представлены количественные показатели зрительной плавности и ясности пространственных кривых.

В проектах лесовозных автомобильных дорог в качестве элементов плана трассы встречаются прямые линии, переходные кривые, описываемые в последние годы чаще всего по клотоиде, и

Схемы рационального совмещения кривых плана и профиля даны на рисунке 1.

Соответствующие характеристики сложных сочетаний криволинейных участков плана и профиля в общем виде выражаются зависимостями:

$$M_a = \frac{\delta_{оп}}{C_{о,p,1} + T_{p,1} + C_{о,p,2}} = \frac{\delta_{оп}}{\delta_{о,p}}, \quad (6)$$

$$M_s = \frac{C_{v,1} + T_{v,1} + C_{v,2} + T_{v,2} + C_{v,3}}{C_{о,p,1} + T_{p,1} + C_{о,p,2}} = \frac{S_v}{S_{о,p}} \quad (7)$$

$$m_1 = \frac{R_{v,1}}{R_{p,1}}, m_2 = \frac{R_{v,2}}{R_{p,1}} \text{ или } m_3 = \frac{R_{v,2}}{R_{p,2}} \quad (8)$$

где: S_v , S_p – криволинейные участки трассы в плане, м; T_p , T_v – длины прямых в плане и профиле; $\delta_{оп}$ – смещение центров подобия криволинейных участков S_v и S_p .

Смещение $\delta_{оп}$ принимается отрицательными в случаях, когда криволинейного участка в плане расположен ЦП криволинейного участка в профиле.

Для приближенных оценок ясности дороги имеют особое значение величины вложений начала и концов криволинейных участков δ_n и δ_k и общая протяженность криволинейного участка S . Если криволинейный участок в плане $S_{о,p}$ перекрывает криволинейный участок S_v в

круговые кривые. Кривые линии могут быть также подразделены при анализе перспективных изображений по направлению их изогнутости на левые и правые, а переходные кривые, по их отношению к направлению движения лесовозного подвижного состава, на входные и выходные. Продольный профиль, как правило, проектируют, используя горизонтальные и наклонные прямые, вогнутые и выпуклые параболы (или круговые кривые). Обычно применяемые элементы плана и профиля трассы могут образовать 28 взаимных сочетаний (комбинаций). Таким образом, путем сочетания элементов плана и профиля получаем элементы трассы в пространстве.

Сопоставление перспективного изображения и плана участка лесовозной автомобильной дороги на рисунке 3 показывает, что направления изогнутости бровок земляного полотна, кромок проезжей части и оси дороги в перспективе и плане отсутствуют. Такое взаимное соответствие между планом и перспективой пространственных линий названо нами геометрическим родством. Если все упомянутые линии перспективы и плана дороги взаимно родственны, то водитель при движении правильно воспринимает направление, и такая перспектива будет правильно его ориентирующей.

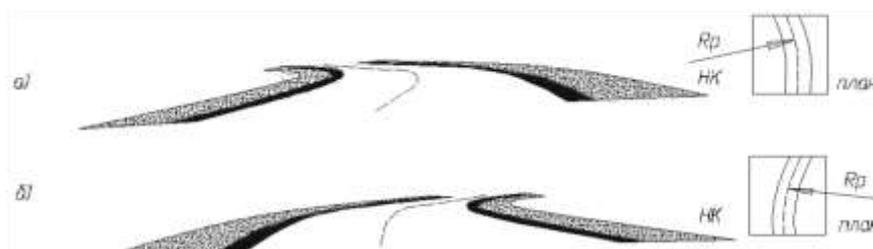


Рисунок 3. Перспективное изображение «горизонтальных кривых» родственные плану дороги и верно ориентирующие водителя: а) левый поворот; б) правый поворот.

Пример неясного участка дан на рисунке 4. Направление поворота дороги понятно, но водителю кажется, что на участке образовался «провал». При приближении к этому месту «провал» исчезает и поэтому его можно считать зрительным эффектом. Такие участки называются зрительно неясными. Они приводят к излишней эмоциональной напряженности водителя и к необоснованному снижению скорости. Эти участки не отвечают и эстетическим требованиям.

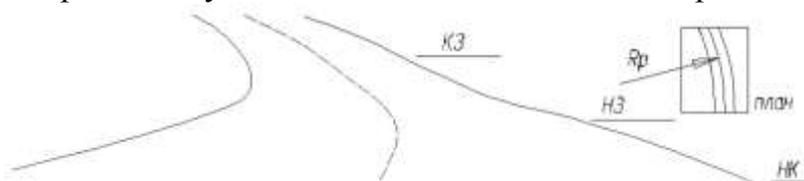


Рисунок 4. Зрительная «просадка» в пределах поворота $R_p=2500$ м, $R_v=4000$ м, смещение начала кривой $b_n=125$ м.

Дезориентирующими водителя являются участки лесовозных автомобильных дорог, направление которых по виду в перспективе воспринимается несоответствующим направлению трассы в плане. Пример дезориентирующего участка дан на рисунке 5. Представленный на рисунке участок левого поворота при отсутствии на нем средств зрительного ориентирования (направляющих столбиков и т.д.) воспринимается прямым. Неверное представление о направлении дороги опасно при движении с высокими скоростями и может явиться причиной дорожно-транспортных происшествий. Поэтому зрительная видимость дороги является важной предпосылкой безопасности движения лесовозного подвижного состава.



Рисунок 5. Левая кривая, проложенная на выпуклом участке рельефа, при $R_v: R_p=3,75$. Возможность дезориентации водителей автомобилей объясняется следующим. Как видно из

рисунка 5 направление изогнутости крайней бровки дорожного полотна в перспективном изображении противоположно направлению этой же бровки в плане (рисунок 5). При этом перспектива левого поворота стала подобной перспективе на рисунке 6, которая изображает прямой участок в плане с выпуклым профилем. Различие этих участков на глаз почти незаметно и большинство опрошенных лиц считали их прямолинейными в плане с выпуклым продольным профилем. Криволинейный в плане участок, изображенный на рисунке 5, особо опасен тем, что у водителя даже не возникает сомнений в дальнейшем направлении дороги. Участок воспринимается как прямолинейный, но это восприятие оказывается ошибочным.



Рисунок 6. «Выпуклая прямая» (в плане прямая, совмещенная с выпуклой вертикальной кривой).

Понятие плавности и зрительной ясности иногда принято объединять в одно понятие – рациональность. Следовательно, рациональной считается дорога, которая является плавной и правильной ориентирующей водителя.

Предлагается, что рациональность дороги является важным условием, повышающим безопасность движения.

На рисунке 7 представлена графическая модель пространственной кривой.

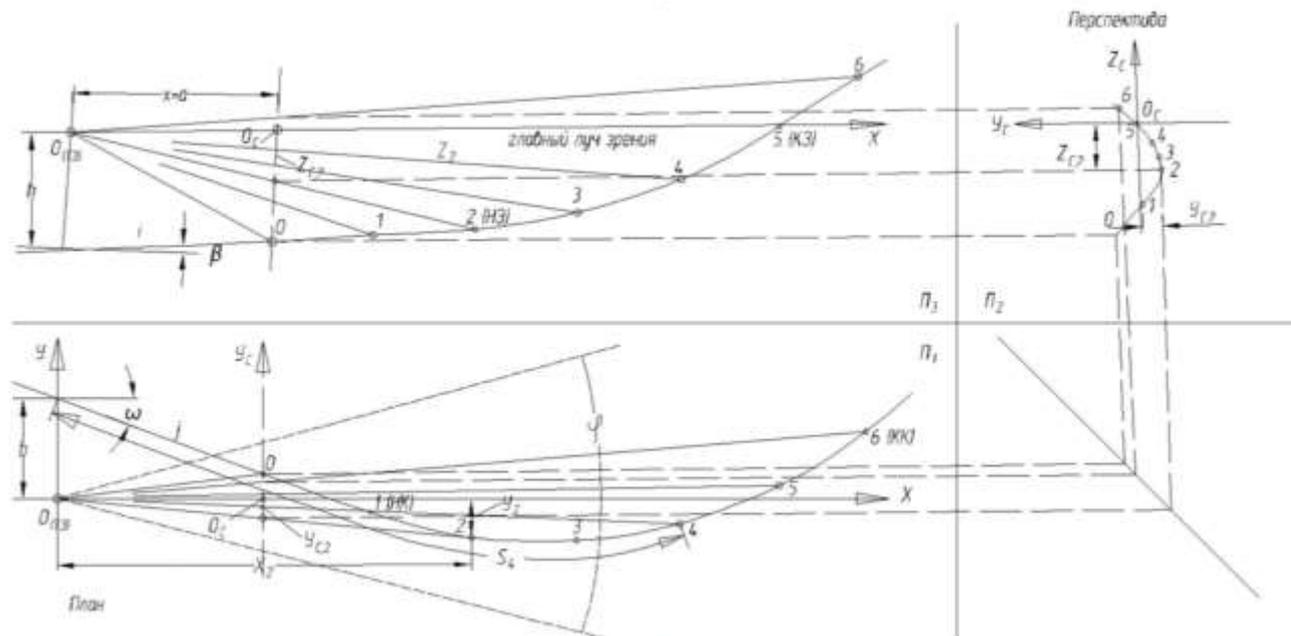


Рисунок 7. Схема центрального проецирования пространственной кривой. ТЗ – точка зрения (центр проецирования), П – плоскости проекций (1 – горизонтальная, 2 – фронтальная, 3 – профильная), а – расстояние от ТЗ до плоскости тзображения $Y_c O_c Z_c$ (Π_2), Φ – угол сектора изображения, (b, h) – координата начала проецируемой линии, β , ω – углы наклона проецируемой линии относительно оси X в профиле и плане, 1, j – угловые коэффициенты соответствующие углы β , ω .

Аналитически пространственная кривая определяется системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} x &= x(s) \\ y &= y(s) \\ z &= z(s) \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

За параметр принять путь S , отсчитываемый от точки зрения автоводителя. Выбранная точка зрения ТЗ принимается за начало правой системы координат O , главный луч зрения – за ось X . Плоскость изображения $Y_c O_c Z_c$ принята перпендикулярной к оси X .

Координаты центральной проекции ($Y_c Z_c$) любой из линий, определяющих дорожное полотно (кромки покрытия, бровки, ось), плоскость изображений, которая расположена на расстоянии a от точки зрения, определяют системой уравнений.

$$\left. \begin{aligned} y_c &= \frac{ay}{x} \\ x_c &= \frac{az}{x} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

В системе уравнения (10) величины x, y и z обозначают уравнения координат $x(s), y(s)$ и $z(s)$ пространственной кривой. Следовательно, координаты перспективы пространственной кривой являются функциями одного параметра s .

В случае параметрического задания плоской кривой ее кривизна выражается формулой

$$K_c = \frac{z'_c y''_c - z''_c y'_c}{(y'^2_c + z'^2_c)^{3/2}} \quad (11)$$

Значения производных y'_c, y''_c, z'_c, z''_c получаем, дифференцируя по параметру s уравнения перспективных координат (система 9)

где

$$y'_c = \left(\frac{ay}{x}\right)' = \frac{a(xy' - yx')}{x^2} = \frac{ap}{x^2} \quad (12)$$

$$y''_c = \left(\frac{ap}{x^2}\right)' = \frac{a(xp' - 2px')}{x^3} \quad (12б)$$

$$z'_c = \left(\frac{az}{x}\right)' = \frac{a(xz' - zx')}{x^2} = \frac{aq}{x^2} \quad (12в)$$

$$z''_c = \left(\frac{aq}{x^2}\right)' = \frac{a(qx' - 2qx')}{x^3} \quad (12г)$$

в зависимостях (10) приняты следующие обозначения:

$$xy' - yx' = p \quad (13а)$$

$$xz' - zx' = q \quad (13б)$$

Производные по s этих величин

$$p' = (xy' - yx')' = xy'' - yx'' \quad (13а)$$

$$q' = (xz' - zx')' = xz'' - zx'' \quad (13б)$$

Преобразуем и упрощаем числитель выражения (11)

$$\begin{aligned} y''_c z'_c - y'_c z''_c &= \frac{a^2(p'x - 2px')q}{x^3 \cdot x^2} - \frac{a^2 p}{x^2} \cdot \frac{(q'x - 2qx')}{x^3} = \frac{a^2(qp'x - 2qpx' - q'px + 2qpx')}{x^5} = \\ &= \frac{a^2(qp' - pq')}{x^4} = \frac{a[(xz' - zx')(xy'' - yx'') - (xy' - yx')(xz'' - zx'')]}{x^4} = \\ &= \frac{a^2(x^2 z' y'' - x z x' y'' - x y z' x'' - x y z' x'' - x^2 y' z'' + x y x' z'' + x z y' x'' - y z x' x'')}{x^4} = \frac{a^2[x^2 z' y'' - y' z'' + x y (x' z' - z' x'') + x z (y' x'' - x' y'') + y z (x' x'' - x' x'')]}{x^4} = \\ &= \frac{a^2[x(z' y'' - y' z'') + y(x' z' - z' x'') + z(y' x'' - x' y'')]}{x^3}. \end{aligned}$$

Преобразование и упрощение знаменателя выражения (10) дает

$$(y'^2_c + z'^2_c)^{3/2} = \left\{ \left[\frac{a(xy' - yx')}{x^2} \right]^2 + \left[\frac{a(xz' - zx')}{x^2} \right]^2 \right\}^{3/2} = \frac{a^3 [(xy' - yx')^2 + (xz' - zx')^2]^{3/2}}{x^6}.$$

Следовательно, кривизна

$$K_c = \frac{x^3 [x(z' y'' - y' z'') + y(x' z' - z' x'') + z(y' x'' - x' y'')]}{a [(xy' - yx')^2 + (xz' - zx')^2]^{3/2}} \quad (14)$$

Обозначив

$$z' y'' - y' z'' = u \quad (15а)$$

$$x' z'' - z' x'' = v \quad (15б)$$

$$y' x'' - x' y'' = w \quad (15в)$$

Формулу (13) можно представить в следующем виде:

$$K_c = \frac{x^3(xu+yv+zw)}{a(p^2+q^2)^{3/2}} \quad (16)$$

Обозначив далее

$$xu+yv+zw=U \quad (16a)$$

$$p^2 + q^2 = V \quad (16б)$$

Получаем

$$K_c = \frac{x^3U}{aV^{3/2}} \quad (17)$$

Плоскость изображения обычно принимают на расстоянии 1м. Поэтому в дальнейшем $a=1$.

При контроле зрительной ясности пространственных кривых важно определить направление изогнутости их центральных проекций. Если центр кривизны лежит на положительной полупрямой нормали, то кривизна считается положительной полупрямой нормали, то кривизна считается положительной, если отрицательной, - кривизна отрицательна.

В случае фиксированного положения точки зрения над полотном дороги направление изогнутости можно определить проще. Если центр кривизны расположен влево от центральной проекции кривой, то кривизна, подсчитанная по формуле (13), положительна, если центр кривизны справа – кривизна отрицательная.

Скорость изменения кривизны выражается первой производной от кривизны K_c по параметру s исходя из формулы (17), получаем:

$$\frac{dK_c}{ds} = K'_c = \frac{x^2(3UVx' + U'Vx - 1,5UV'x)}{V^{5/2}} \quad (18)$$

Зависимость (18) можно представить и в следующем виде:

$$K'_c = K_c \left[\frac{3x'}{x} + \frac{U'}{U} - \frac{1,5V'}{V} \right]. \quad (19)$$

В этой зависимости K'_c выражается посредством K_c .

В формулах (18) и (19) U' и V' являются производной функцией $U(s)$ и $V(s)$ по параметру s .

Их значения следующие:

$$U' = x'y + y'v + z'w + xu' + yv' + zw' \quad (20a)$$

$$V' = 2(pp' + qq') \quad (20б)$$

$$u' = z'y''' - y'z''' \quad (21a)$$

$$v' = x'z''' - z'x''' \quad (21б)$$

$$w' = y'x''' - x'y''' \quad (21в)$$

Из рисунка 8 видно, что различными являются значения максимальной скорости изменения кривизны. Зрительно неудовлетворяющую правую кромку проезжей части на рисунке 8а. характеризует большее значение $K'_{c,m}$, чем соответствующую линию на рисунке 8б.

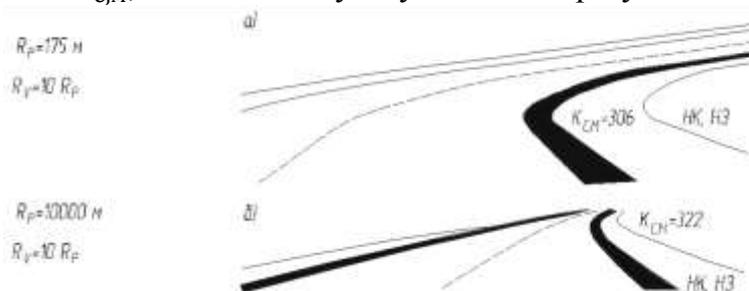


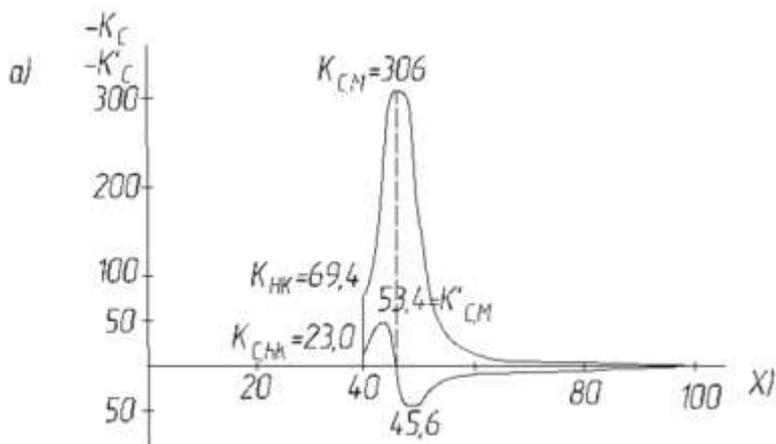
Рисунок 8. Перспективные изображения участков дороги. (Показатели плавности поворота $K_{c,m}$ отличаются мало, форма правых кромок отличаются заметно).

Кривизна правой кромки кривой, проведенной радиусом $R=10800$ м, нарастает до максимальной величины (322) постепенно на более длинном участке пути.

Таким образом, данный анализ дает основание полагать, что качественное различие правых кромок проезжей части количественно характеризует максимальная скорость изменения кривизны $K'_{c,m}$, поэтому ее также необходимо учесть при оценке зрительной плавности кривых.

$$K_{CM}=306$$

$$K'_{CM}=53,4\text{м}^{-1}$$



$$K_{CM}=322$$

$$K'_{CM}=5,2\text{м}^{-1}$$

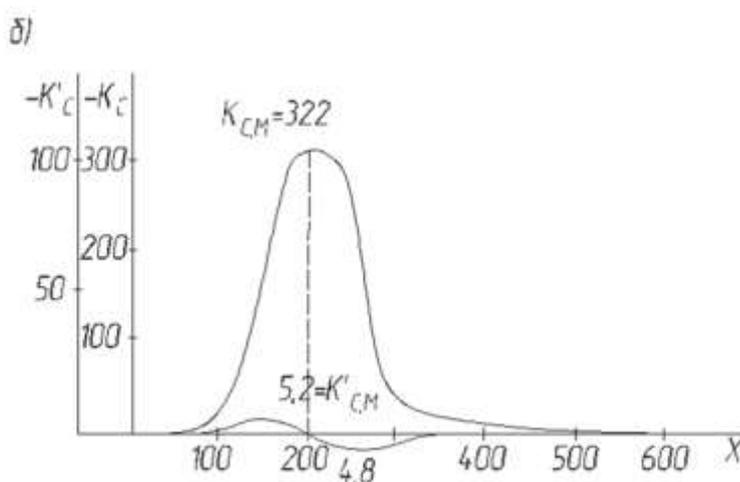


Рисунок 9. Графики $K_{C,M}=f_1(x)$ и $K'_{C,M}=f_2(x)$, соответствующие правым краям проезжей части на рисунке 9. $K'_{C,M}$ является второй характеристикой формы исследуемых линий.

Интервал значений $K'_{C,M}$ допустимых по условию зрительной плавности, определен экспериментально.

На основе описательной характеристики плавной линии дано ее математическое определение. Под плавными понимаются криволинейные участки трассы второго и более высоких порядков гладкости. Показана разница между аналитически фиксируемой и зрительно воспринимаемой плавностью линий.

Установлено, что вид дороги в перспективе правильно ориентирует водителя автомобиля, т.е. является зрительно ясным, при условии, если линии, описывающие бровки дорожного полотна и кромки проезжей части, в перспективном изображении изогнуты в том же направлении, что и в плане дороги. На этом основании сформулировано условие геометрического родства перспективного изображения и плана лесовозной автомобильной дороги, которое позволяет аналитически проверить зрительную ясность криволинейных участков.

В четвертом разделе представлены условия зрительной плавности и ясности и рекомендации по проектированию пространственных кривых.

Перспективные изображения и модели проектируемых лесовозных автомобильных дорог по сути являются средствами, позволяющими проектировщику подобрать в каждом конкретном случае, удовлетворяющие данным в общем виде рекомендациям СНиП, сочетания элементов плана и продольного профиля. Недостаточно обоснованными до сих пор можно считать интервалы оптимальных значений параметров пространственных кривых, удовлетворяющие требованиям зри-

тельной плавности и ясности. (Сказанное в большей мере касается определения верхних пределов этих интервалов).

Необходимость в зрительном анализе перспективных изображений значительно уменьшилась, если бы в распоряжении проектировщиков имелись сводные данные о том, какие сочетания параметров плана и профиля наилучшим образом обеспечивают зрительную плавность и ясность поворотов лесовозной автомобильной дороги. Решение такой задачи, исходящей из нужд практики проектирования, позволило бы значительно повысить качество проектных решений при одновременном уменьшении трудовых затрат на зрительный анализ при проектировании криволинейных участков лесовозной автомобильной дороги.

Используя математический аппарат, изложенный в разделе 3 диссертации, и применительно определенные значения критических величин $K_{с,м}$, $K_{с,кк}$, и $K'_{с,м}$, мы сделали попытку составления номограмм для проектирования пространственных кривых (рисунок 10).

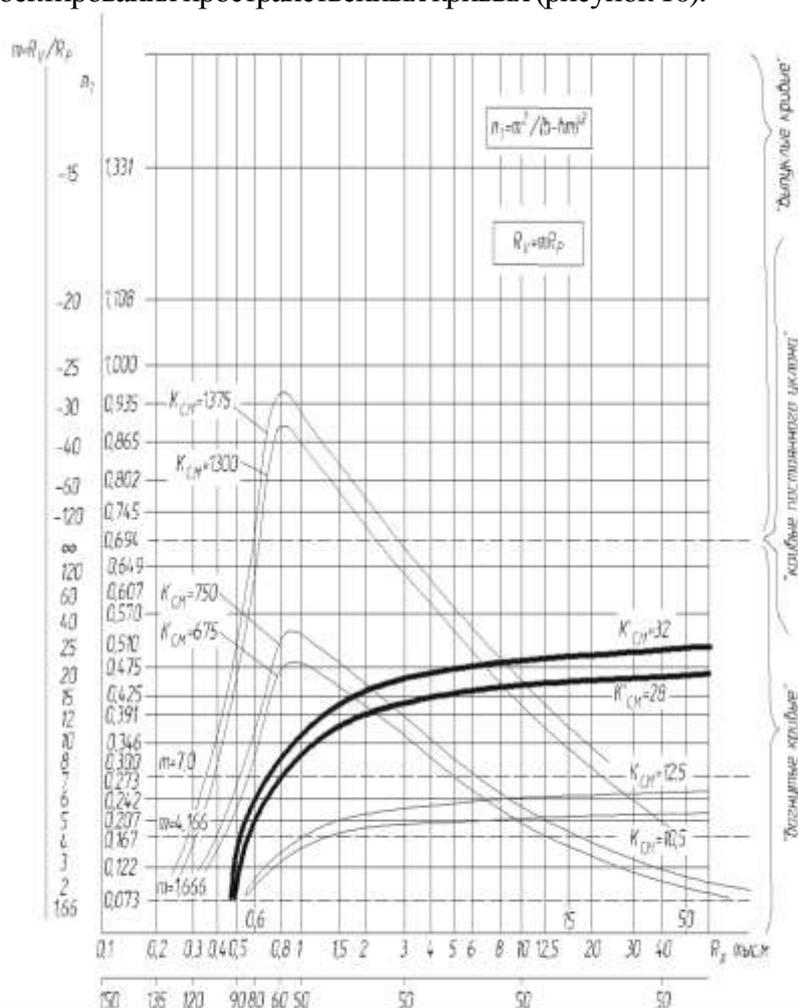


Рисунок 10. Номограмма для подбора параметров R_p и R_v левых пространственных кривых по условиям зрительной плавности и ясности ($b_l, k_p=5$ м; $h=-1,2$ м).

Приведенная номограмма позволяет подобрать параметры зрительно плавных и ясных пространственных кривых, а также провести зрительный анализ при вариантном проектировании трассы в случаях, когда начала кривых в плане и профиле примерно совпадают.

Принцип построения номограмм заключается в следующем. На координатной сетке, которая получена откладыванием по оси абсцисс радиусов кривых в плане R_p , а по оси ординат – соотношения $m=R_v/R_p$, нанесены кривые постоянных значений кривизны $K_{с,м}$, и скорости ее изменения $K'_{с,м}$ для 85% и 95% обеспеченности. Ось абсцисс R_p имеет логарифмический масштаб, а ось ординат m – масштаб, соответствующий функции

$$n_1 = \frac{1}{\frac{b^2}{m^2} - \frac{2bh}{m} + h^2} \quad (22)$$

(Эта функция непрерывна при изменении аргумента m в достаточно высоких интервалах от 0 до ∞ и от ∞ до $-b/h$).

Области по номограмме, ограниченные сверху кривыми критических величин $K_{c,m}$ и $K'_{c,m}$, а с боковых сторон и снизу – осями координат, включают характеристики пространственных кривых, удовлетворяющих первому и второму условиям зрительной плавности линий. Перекрывающиеся части областей показателей $K_{c,m}$ и $K'_{c,m}$ удовлетворяют обоим условиям зрительной плавности. Поэтому параметры, относящиеся к этой общей области, могут быть рекомендованы для использования при проектировании пространственных кривых. Горизонтальные линии $m=b/h$ на номограммах определяют область характеристик R_p , m , при которых поворот принимается зрительно неясным (направление изогнутости линии в перспективном изображении не соответствует направлению их изогнутости в плане).

Таким образом, проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили проверить и уточнить известные к началу исследований рекомендации по сочетанию элементов плана и продольного профиля трассы лесовозной автомобильной дороги.

Используя сформулированные условия геометрического родства, были раскрыты недостатки рекомендаций, данных Фрейзингом Ф., Бакером и Овердийкинком, и подтверждена правильность эмпирической рекомендации, данной Лоренцом Г., Бабковым В.Ф. и другими исследователями, что кривая в плане должна совпадать с длиной вертикального закругления или немного ее превышать.

В пятом разделе представлена методика пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Перед нами была поставлена задача: обеспечить при проектировании лесовозных автомобильных дорог в плане, продольном и поперечном профилях зрительную ясность и плавность проезжей части на уровне $K_{c,m} \leq 750$ при взгляде с расстояний 80 до 100 м перед началом кривых в плане; для контроля удачности принимаемых параметров кривых и их соотношений по ходу проектирования использовать лишь аналитические методы; захронометрировать время, потребовавшееся на аналитический контроль плавности и ясности; пространственные кривые, параметры которых были приняты на основе аналитически полученных выводов, окончательно проверить при помощи перспективных изображений и моделей.

Путем хронометрирования мы установили, что определение показателя $K_{c,m}$ в общем случае, когда $D_p \neq D_v$ требует в среднем от 4 до 5 мин времени.

Проверка зрительной ясности обеих кромок проезжей части с применением современных компьютерных технологий требовала примерно 1 минуты. Таким образом, аналитический контроль зрительной плавности и ясности одного поворота дороги в одном направлении движения занимает 2-3 минут. Следовательно, аналитический контроль плавности и ясности требует примерно в 20-25 раз меньше времени, чем проверка при помощи перспектив.

Оценка перспективных изображений, построенных их точек, принятых при аналитическом контроле, полностью подтвердила надежность аналитически полученных выводов. Недостаточная плавность была обнаружена лишь в тех случаях, когда из-за условий рельефа местности обеспечить плавность на заданном уровне ($K_{c,m} \leq 750$) было невозможно. Эксперимент привел нас к выводу, что аналитический метод контроля плавности и ясности является надежным, более объективным и экономически эффективным.

Таким образом, опытное проектирование лесовозных автомобильных дорог, проводившиеся в последние годы показало, что участки лесовозных автомобильных дорог, запроектированные с учетом условий зрительной ясности и плавности, при проверке с помощью перспективных изображений или моделей оказались удачными и не требовали корректировок.

Разработанная методика рационального совмещения кривых плана и профиля позволяет найти удачное решение, как правило, при второй попытке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов выполненных в соответствии с поставленными целью и задачами теоретических и экспериментальных исследований могут быть сделаны следующие выводы:

1. Повышение качества проектных решений является очень перспективной и актуальной задачей. По нашему мнению, первоочередными исследованиями должно быть установление условий, обеспечивающих зрительную плавность и ясность простых пространственных кривых, как наиболее распространенных, в зависимости от их параметров при взгляде из точек зрения, соответствующих нормальному расположению глаз водителей автомобилей. При этом под простыми пространственными кривыми мы имеем ввиду кривые, которые в плане и продольном профиле образуют линии постоянной кривизны – круговая кривая и прямая.

2. Установлено, что разница между показателями зрительной плавности параболических и круговых кривых небольшая. При заранее исследуемых круговых кривых в плане параболлами получены простые формулы для определения показателей $K_{C,нк}$, $K_{C,м}$.

3. Нами доказано существование критических точек, деливших траекторию движения глаз водителя автомобиля на участки зрительно неясного и ясного восприятия пространственных кривых лесовозной автомобильной дороги.

4. Разработан аналитический метод контроля зрительной плавности и ясности поворотов лесовозной автомобильной дороги. Проверка плавности проводится путем установления соответствия количественных показателей зрительной плавности $K_{C,м}$, $K'_{C,м}$ и $K_{C,нк}$, рассчитываемых по основным формулам (3.13), (3.19) и (3.54), интервалам значений, данных в таблице 4.7. Результаты расчетов представляются в виде графиков кривизны кромок проезжей части, соответствующих одной определенной точке зрения (например, рисунок 3.15. и 4.7) или в виде графиков максимальной кривизны, соответствующих перемещающейся точке зрения (рисунок 4.11).

Предлагаемый метод позволяет одновременно провести количественную оценку зрительной плавности и ясности любых параметрических заданных пространственных кривых.

5. Установлено, что совершенное совмещение кривых плана и продольного профиля может быть достигнуто, по меньшей мере, в 90 % - при проектировании лесовозных автомобильных дорог по новым направлениям.

6. Опытное проектирование привело к заключению, что выводы аналитического контроля плавности и ясности лесовозных автомобильных дорог являются надежными. Поскольку интервалы значений показателей, характеризующие плавные линии, определены с 85% - ной и 95% - ной обеспеченностью, выводы аналитических проверок плавности можно считать также объективными.

7. Аналитический контроль плавности и ясности требует примерно в 20-25 раз меньше времени, чем проверка при помощи перспективных изображений.

8. Диссертационное исследование завершено разработкой номограммы, позволяющей провести анализ и подбор параметров пространственных и плоских кривых, соответствующих общим условиям зрительной плавности и ясности. Кроме того, номограмма обеспечивает возможность при варианте проектировании трассы подыскать такие сочетания параметров кривых плана и продольного профиля, при которых пространственные кривые наилучшим образом выписываются в основные формы рельефа. Этим достигается уменьшение строительных затрат, в связи с уменьшением объемов работ по сооружению земляного полотна. Подбор одной пространственной кривой требует примерно минуты времени. По предложенной нами номограмме можно подобрать параметры пространственных кривых, обеспечивающих их зрительную плавность и ясность при наименьших строительных затратах.

9. При использовании номограммы затраты труда на зрительный анализ кривых уменьшаются до практического минимума (0,5 минуты на один поворот). Простота и доступность номограммы должны, по нашему мнению, открыть путь широкому внедрению принципов пространственного проектирования лесовозных автомобильных дорог в практику.

10. На этом основании данные раздела 4 условия рационального совмещения кривых плана и продольного профиля, методика пространственного проектирования, аналитические методы и вспомогательные средства зрительного анализа могут быть рекомендованы для использования в практике проектирования лесовозных автомобильных дорог.

Мы считаем, что в результате проведенных исследований рекомендации по проектированию пространственных кривых и методики проектирования и зрительного анализа доведены до состояния, соответствующего нуждам практики, и их внедрение может обеспечить значимое повышение качества проектных решений при проектировании лесовозных автомобильных дорог.

11. Установлено, что экономическая эффективность дополнительных капиталовложений, нередко нужных для обеспечения зрительной плавности и ясности кривых, значительно выше нормативной ($E_{cp} > 0,12$).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Информационная модель зоны варьирования трассы лесовозной автомобильной дороги / Боровлев А.О. [и др.] // Автоматизация. Современные технологии. - 2020. - Т. 74., № 12. - С. 538-542.

2. Скрыпников А.В., Чирков Е.В., Козлов В.Г., Боровлев А.О., Саблин С.Ю. Методы сглаживания эскизной линии трассы лесовозной автомобильной дороги // Современные наукоемкие технологии. – 2020. – № 12 (часть 1) – С. 113-118.

3. Постановка задачи проектирования оптимальной трассы лесовозной автомобильной дороги / Боровлев А.О. [и др.] // Современные наукоемкие технологии. - 2020. - № 11-1. - С. 87-92.

4. Факторы, влияющие на сложность строительства ведомственных автомобильных дорог / Боровлев А.О. [и др.] // Лесотехнический журнал. - 2020. - Т. 10, № 2 (38). - С. 114-122.

5. Методы проектирования лесовозных автомобильных дорог, основанные на расчете однозначно определенной трассы / Боровлев А.О. [и др.] // Лесной вестник. Forestry Bulletin. - 2020. - Т. 24, № 5. - С. 128-137.

Публикации в прочих изданиях:

6. Общая методика индивидуального прогнозирования технического состояния лесотранспортных машин в эксплуатации / Боровлев А.О. [и др.] // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. научно-практической конф. молодых ученых и специалистов, 2019. - С. 326-330.

7. Оценка хозяйственной деятельности человека в районе предполагаемого строительства лесовозной автомобильной дороги / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 110-122.

8. Теоретические предпосылки дорожно-ландшафтного районирования лесных и сельскохозяйственных автомобильных дорог / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С.122-132.

9. Математические основы метода проектирования клотоидной трассы путем аппроксимации последовательности точек / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С.132-146.

10. Теоретические основы и принципы математического моделирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог / Боровлев А.О. [и др.] // Наука и образование на совре-

менном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: материалы межд. научно-практической конф., 2020. - С. 308-312.

11. Проектирование дорог лесного и сельскохозяйственного назначения с учетом развития географической среды / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 544-559.

12. Сложность строительства лесовозных автомобильных дорог с учетом техногенных факторов / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 559-567.

13. Влияние характеристик ландшафта на сложность строительства лесовозных автомобильных дорог / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 568-574.

14. Структурные модели дорожных ландшафтов и микроландшафтов / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 578-587.

15. Трассирование лесовозных и сельскохозяйственных автомобильных дорог с использованием метода линейного районирования / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 626-631.

16. Применение методов нелинейного программирования при проектировании клотоидной трассы лесовозной автомобильной дороги / Боровлев А.О. [и др.] // Механизация и автоматизация технологических процессов в сельскохозяйственном производстве: материалы нац. научно-практической конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 631-639.

17. Влияние метеорологических условий на системы комплекса водитель-автомобиль-дорога-среда / Боровлев А.О. [и др.] // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 71-й студенческой научной конф. - Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 144-151.

18. Улучшение эксплуатационных показателей автомобильной техники / Боровлев А.О. [и др.] // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 71-й студенческой научной конф. - Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 41-50.

19. Результаты испытаний двигателя внутреннего сгорания автомобиля камаз с антифрикционным смазочным материалом / Боровлев А.О. [и др.] // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 71-й студенческой научной конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 80-89.

20. Мероприятия по обеспечению сцепных качеств дорожных покрытий и их выбор / Боровлев А.О. [и др.] // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 71-й студенческой научной конф. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. - С. 89-104.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, главный корпус, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», учёному секретарю.

Тел. 8(8182)216-149,

e-mail: t.turikova@narfu.ru

Подписано в печать

Формат 60 x 84 1/16. Бумага офисная. Усл. печ. л. 1 Тираж 100 экз. Заказ №