

Исследование методов разбивочно-контрольных работ и оптимизация осей плоско-пространственных закруглений примыканий и съездов

П.В. Тихомиров^{1a}, Р.С. Сапелкин^{1b}, А.В. Скрыпников^{1c}, В.В. Денисенко^{1d},
А.Ю. Жук^{2e}, Ю.А. Боровлев^{1f}

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, Россия

² Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^a tpv11@mail.ru, ^b ch5796@mail.ru, ^c skrypnikovvsafe@mail.ru, ^d v.denisenko1@yandex.ru,

^e lpf@brstu.ru, ^f borv_y@ya.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-6976-391X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-3863-7061>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-8428-4826>,

^e <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-5431-994X>

Статья поступила 02.04.2022, принята 11.05.2022

В технической, справочной и учебной литературе отмечается, что в настоящее время у нас нет еще специально разработанных способов, позволяющих производить разбивку примыканий и съездов как единого сооружения, поэтому детальная разбивка производится отдельно для каждого криволинейного элемента в зависимости от условий в разных частях развязки с помощью многочисленных опорных точек разными методами, требующими различных, более или менее сложных, полевых построений и вычислений. Также многие примыкания, съезды и другие транспортные сооружения начинают успешно проектировать в настоящее время с использованием так называемых плоских пространственных кривых. Действительно, распространенные сейчас методы детальной разбивки примыканий и съездов требуют большого количества пунктов разбивочной опорной сети, закрепленных непосредственно внутри территории. В подготовительный период для разбивки вновь строящегося пересечения можно беспрепятственно пользоваться указанной геодезической основой. Однако в строительный период, когда вся территория является строительной площадкой, где работают землеройные машины и механизмы, перемещаются земляные массы, как правило, большинство опорных пунктов не удается сохранить в неприкосновенности, что препятствует непрерывному геодезическому контролю строительства. Кроме того, создание опорной сети из более чем 20 пунктов, их закрепление, измерение и уравнение, а также последующее восстановление утраченных пунктов требует больших затрат труда, времени и средств. Все это снижает производительность разбивочно-контрольных работ, задерживает строительство, ведет к отклонениям от проекта, браку и, в конечном счете, к снижению качества строительства и эксплуатационных характеристик. В настоящей работе для устранения большинства перечисленных недостатков предлагается комбинированный метод разбивки примыканий и съездов, позволяющий не закреплять вообще на местности опорные точки для установки теодолита, а произвольно выбирать в любом удобном месте, свободном от строительных помех, в непосредственной близости (до 50 м) от разбиваемых точек станции для установки инструмента, помимо всего, освободившись от необходимости его центрирования и от ошибок при центрировке. Метод позволяет ограничиться минимальным количеством опорных пунктов и заключается в сочетании обратной угловой засечки и полярных координат с помощью современных геоинформационных систем.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги; разбивки; примыкания; геоинформационные системы.

Research of methods of marking and control works and optimization of the axes of flat-spatial roundings of junctions and exits

P.V. Tikhomirov^{1a}, R.S. Sapelkin^{1b}, A.V. Skrypnikov^{1c}, V.V. Denisenko^{1d},
A.Yu. Zhuk^{2e}, Yu.A. Borovlev^{1f}

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolutsii Prospect, Voronezh, Russia

² Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^a tpv11@mail.ru, ^b ch5796@mail.ru, ^c skrypnikovvsafe@mail.ru, ^d v.denisenko1@yandex.ru,

^e lpf@brstu.ru, ^f borv_y@ya.ru

^a <https://orcid.org/0000-0002-6976-391X>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-3863-7061>,

^c <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^d <https://orcid.org/0000-0002-8428-4826>,

^e <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-5431-994X>

Received 02.04.2022, accepted 11.05.2022

It is noted in the technical, reference and educational literature that at present we do not yet have specially developed methods making it possible to lay out junctions and exits as a single structure, therefore a detailed breakdown is made separately for each curvilinear element, depending on the conditions in different parts decoupling using numerous reference points by different methods, requiring various more or less complex field constructions and calculations. Also, many junctions and exits, and other transport facilities are now beginning to be successfully designed using the so-called flat spatial curves. Indeed, the currently widespread methods of detailed breakdown of junctions and exits require a large number of points of the grid reference network, fixed directly within the territory. In the preparatory period for the breakdown of the newly constructed intersection, it is possible to freely use the indicated geodetic base. However, during the construction period, when the entire territory is a construction site, where earth-moving machines and mechanisms are operating, earth masses are moving, as a rule, most of the strongholds cannot be kept intact, which prevents continuous geodetic control of construction. In addition, the creation of a backbone network of more than 20 points, their consolidation, measurement and equalization, as well as the subsequent restoration of the lost points, requires a lot of labor, time and money. All this reduces the productivity of layout and control work, delays construction, leads to deviations from the project, marriage and, ultimately, to a decrease in the quality of construction and operational characteristics. In this paper, to eliminate most of these shortcomings, a combined method of staking out junctions and exits is proposed, which makes it possible not to fix reference points for the installation of a theodolite at all on the ground, but to arbitrarily choose in any convenient place free from building interference, in the immediate vicinity (up to 50 m) from the points to be set, stations for setting the tool, in addition to being freed from the need for its centering and from centering errors. The method makes it possible to limit the minimum number of support points and involves a combination of the reverse angle of sights and polar coordinates using modern geo-information systems.

Keywords: logging roads; breakdowns; junctions; geographic information systems.

Введение. Решающим фактором для успешной разбивки предлагаемым методом является оптимальное расположение закрепленных опорных пунктов. Учитывая специфические особенности стройплощадок транспортных развязок для оптимизации расположения опорных пунктов, были поставлены следующие условия: а) пункты должны быть за пределами стройплощадки; б) пункты должны обеспечивать заданную точность разбивки на максимальной площади рабочей области разбивки; в) пункты должны располагаться в максимально узком секторе видимости, поскольку дорога по оси обычно проектируется в насыпи, и обе половины развязки приходится разбивать раздельно из за ограниченной видимости. Например, сектор видимости ограничен направлениями, из-за насыпи в направлении видимости нет левоповоротного съезда; г) линии визирования на опорные пункты должны минимально отклоняться от рабочей области разбивки, так как за этой областью может располагаться застроенная или залесенная зона.

Традиционные методы проектирования лесовозных автомобильных дорог предусматривают раздельное решение плана и профиля трассы. В связи с этим на криволинейных участках образуются несоответствия некоторых параметров. Так, например, образуются асимметричные перекрывающиеся сочетания вертикальных и горизонтальных кривых, неблагоприятно влияющие на зрительное восприятие дороги, режимы движения транспортной единицы, расчетные расстояния видимости и т.д.

Цель исследования. Исследование методов разбивочно-контрольных работ и поиск оптимального расположения опорных пунктов; разработка методики разбивки плоских пространственных дорожных кривых в наклонной плоскости визирования теодолитом.

Объект исследования — методы разбивочно-контрольных работ и проектирование плоских пространственных дорожных кривых.

Методы исследования — графоаналитические и экспериментальные исследования точности разбивки.

Для разработки компьютерных программ были несколько преобразованы формулы Пранис-Праневича:

$$ctg\alpha_2 = \frac{(y_2-y_1)ctg\beta_1 - (y_3-y_2)ctg\beta_2 - (x_3-x_1)}{(x_3-x_1)ctg\beta_1 - (x_3-x_2)ctg\beta_2 + (y_3-y_1)}; \quad (1)$$

$$\Delta x_p = \frac{(y_2-y_1)ctg\beta_1 - ctg\alpha_2\{(x_2-x_1)ctg\beta_1 + (y_2-y_1)\} - (x_2-x_1)}{1 + ctg^2\alpha_2} \quad (2)$$

$$x_p = x_2 + \Delta x_p \quad (3)$$

$$y_p = y_2 + \Delta x_p ctg\alpha_2 \quad (4)$$

Горизонтальный угол α на разбиваемую точку n вычислен по треугольнику $n p_i B'_0$ с решением обратных геодезических задач.

$$\cos\alpha = \frac{(x_p-x_n)^2 + (y_p-y_n)^2 + (x_2-x_p)^2 + (y_2-y_p)^2 - (x_2-x_n)^2 - (y_2-y_n)^2}{2\sqrt{\{(x_p-x_n)^2 + (y_p-y_n)^2\} \cdot \{(x_2-x_p)^2 + (y_2-y_p)^2\}}}$$

Отметка станции H_p определялась по углу наклона v на пункт B'_0 (или П), отметка которого H_2 :

$$H_p = H_2 - S_2 tg v \quad (6)$$

Угол наклона j на определяемую точку, отметка которой H_n , равен:

$$j = arctg\left\{\frac{H_n - H_p}{a}\right\}, \quad (7)$$

наклонное расстояние a_n равно:

$$a_n = a sec j. \quad (8)$$

x_i и y_i — координаты точек $A_0 B_0 C_0$ (или 1, 2, 3) P, n ; α_2 — дирекционный угол линии S_2 ; β_1 и β_2 — горизонтальные углы обратной засечки.

Для ввода исходных данных необходимо иметь ведомость координат всех разбиваемых точек, предварительно составленную в процессе проектирования, что не представляет сложности при своевременном компьютерном проектировании.

В соответствии с предлагаемым методом авторами были проведены графоаналитические и экспериментальные исследования точности разбивки предлагаемым методом. Точность разбивки определялась с использованием формулы работы, несколько преобразованной:

$$M_3^2 = \frac{2r_1(r_1-r_2\cos\beta_1-r_3\cos\beta_3)+r_2^2+r_3^2}{(r_2r_3\sin\beta_2+r_1r_2\sin\beta_1-r_1r_3\sin\beta_3)^2} \cdot m_\beta^2, \quad (9)$$

$$\text{где } r_i = \frac{\rho}{S_i}. \quad (10)$$

Кроме того, составляющая суммарной погрешности — погрешность полярного метода равна:

$$M_n = \pm \sqrt{(\mu a)^2 + \left(a \frac{m_{\beta} \sqrt{2}}{\rho}\right)^2 + m_{\phi}^2}. \quad (11)$$

Погрешности центрирования отсутствуют по причине, указанной выше. Обозначения: m_{β} — погрешность измерения угла одним приемом, в вычислениях; μ — относительная погрешность измерения расстояния, принята равной $\frac{1}{5000}$, при 50 м равна 0,01 м, поскольку расстояние от инструмента до искомой точки не более 50 м. Фиксированная принята равной 3 м. Поскольку результаты измерений опорной сети имеют более высокую точность и впоследствии уравниваются, погрешностью опорных пунктов пренебрегаем.

Суммарная погрешность горизонтальной разбивки предлагаемым методом равна:

$$M = \pm \sqrt{M_3^2 + M_m^2}. \quad (12)$$

На генплане примыкания и съезды с самыми распространенными геометрическими параметрами в масштабе 1:1000 были построены лафоиды (кривые равных погрешностей) при различном расположении опорных пунктов, и был произведен поиск оптимального их расположения опорных пунктов, а также поиск оптимального их расположения при перечисленных четырех ограничениях. В связи с распространенными рекомендациями о наиболее выгодном расположении точек внутри треугольника пунктов. Заданная точность разбивки принята равной среднеквадратической погрешности разбивки на кривых автомобильных дорог — 0,04 м. При этом образовалась «зона необеспечения» (ЗН) заданной точностью разбивки (заштрихована), обусловленная влиянием опасной окружности. Как выяснилось, ЗН занимает наиболее важные участки для разбивки и имеет большую площадь.

Традиционные методы проектирования лесовозных автомобильных дорог предусматривают раздельное решение плана и профиля трассы. В связи с этим на криволинейных участках образуются несоответствия некоторых параметров. Так, например, образуются асимметричные перекрывающиеся сочетания вертикальных и горизонтальных кривых, неблагоприятно влияющие на зрительное восприятие дороги, режимы движения транспортной единицы, расчетные расстояния видимости и т.д.

Только пространственно-плавная линия лесовозной автомобильной дороги, вписанная в ландшафт, запроектированная во взаимосогласии с планом и профилем, обеспечивает постоянный или плавно-переменный режим движения, способствует работоспособности водителя и безопасности движения. Одним из видов такой линии является плоская пространственная кривая (рис. 1).

Применение плоских пространственных кривых целесообразно при соответствующих топографических условиях: холмистой или горной местности, на пересечениях дорог, на переходах трассы через тальвеги, водоразделы, а также в самых разнообразных случаях, когда угол поворота трассы можно совместить с переломом профиля и соединить горизонтальную и вертикальную кривую в единую плоскую пространственную кривую, расположенную целиком в одной наклонной к горизонту

плоскости. Оптический анализ и наблюдения на дорогах подтверждают, что совершенное совмещение кривых в плане с кривыми в профиле практически обеспечивает оптически ясный вид дороги в перспективе. Перспективные изображения плоских кривых плавны и оптически ясны. Наилучшие условия для обеспечения видимости на плоской пространственной кривой создаются при одинаковых уклонах ее плоскости и выража.

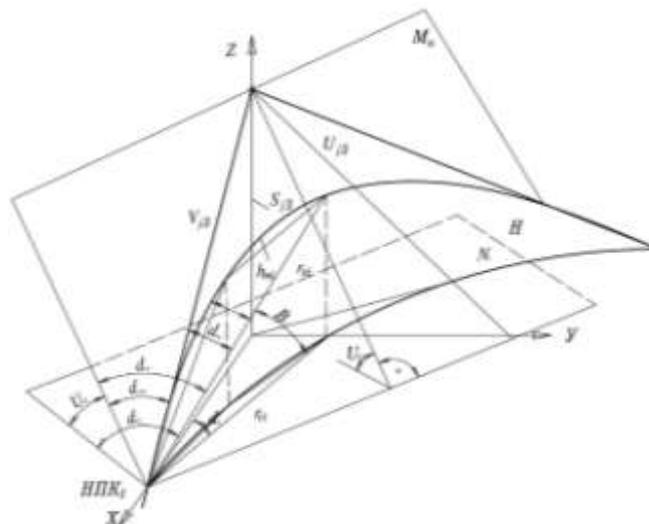


Рис. 1. Плоская пространственная кривая в изометрии

Итак, проектирование плоских пространственных дорожных кривых является прогрессивным, так как здесь согласуются криволинейные элементы плана и профиля трассы и образуются благоприятные для режима движения плавные и ясные пространственные закругления.

Рассмотрим разработанный алгоритм для следующей программы, оптимизирующий по минимуму земляных работ положение в трехмерном пространстве сложной плоской пространственной кривой, состоящей в плане из двух клотоид и круговой вставки, и определяющий необходимые данные для разбивки оптимальной в данных условиях кривой в наклонной плоскости визирования.

Для некоторого упрощения алгоритма и удобства ввода исходных данных в соответствующую программу были исследованы зависимости, используемые при назначении длины переходной кривой.

$$\begin{cases} W = \sqrt{127R(\psi + \xi)}, \text{ км/ч;} \\ L = \frac{W^3}{28R} \end{cases} \quad (13)$$

Решая эту систему уравнения относительно L при $(\psi + \xi) \approx 0,2$, можно сделать вывод, что $L \approx 5\sqrt{R}$, где W — допустимая скорость движения на круговой кривой; R — радиус круговой кривой; L — длина переходной кривой; ξ — поперечный уклон проезжей части; ψ — коэффициент поперечного сцепления.

Нам необходимы следующие исходные данные: $R_1 - R_g$ — диапазон радиусов круговых вставок, возможных для данного закругления с фиксированными вершиной и величиной угла поворота трассы, просмат-

риваемых через определенный шаг D ; N — интервал в длине трассы; $\varphi(\text{рад.})$ — угол поворота трассы; fN — длина прямолинейного участка трассы до начала кривой, принадлежащего наклонной плоскости практикуемого закругления. Массив координат пикетов топографической поверхности в предлагаемых пределах закругления, начало координат в ВУ (рис. 2):

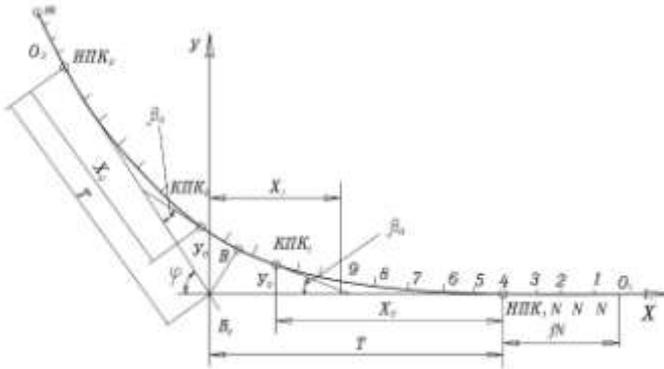


Рис. 2. Элементы горизонтальной проекции

$$\begin{aligned} & (x_1, x_2, \dots, x_n); \\ & (y_1, y_2, \dots, y_n); \\ & (z_1, z_2, \dots, z_n), \end{aligned} \quad (15)$$

где $j = 1, 2, \dots, m$. — номер точки проектируемого участка трассы.

Все описываемые ниже действия выполняются для каждого радиуса из заданного диапазона радиусов через определенный шаг D (цикл $R = R_1, R_2, \dots, R_g$).

Далее определяем черную отметку каждой промежуточной точки проектируемого участка трассы с известными плановыми координатами X и Y .

Используя цифровую модель местности в виде треугольных контуров, образованных вершинами-пикетами тахеометрической съемки, координаты которых заданы в табличной форме (массив 15, составляется с помощью специальной подпрограммы, использующей исходные данные непосредственно из полевых журналов тахеометрической съемки), определяем треугольный контур, внутри которого при наименьшем удалении от вершин расположена данная текущая промежуточная точка, следующим образом.

Определяем плановые координаты промежуточных точек проектируемого участка трассы. Начало координат в вершине угла поворота трассы ВУ, положительное направление оси абсцисс — в сторону НПК.

1. Если $j \leq f$ (в пределах прямоугольного участка до НПК), то:

$$X = T - (j - f)N. \quad (16)$$

2. Если $f < j \leq \frac{L}{N} + f$ (в пределах первой переходной кривой), то:

$$\beta j = \frac{N^2(j-f)^2}{2C}, \quad (17)$$

$$X = T - X'_0, \quad (18)$$

$$Y = Y'_0, \quad (19)$$

где Y'_0 и X'_0 определены при $\beta_0 = \beta j$.

3. Если $\frac{L}{N} + f < j \leq \frac{R\varphi}{N} + f$ (в пределах круговой вставки), то:

$$\beta k = \frac{N(j-f)}{2R}, \quad (20)$$

$$X = T - X_0 - 2R \sin(\beta k - \beta_0) \cos \beta k, \quad (21)$$

$$Y = Y_0 + 2R \sin(\beta k - \beta_0) \sin \beta k. \quad (22)$$

4. Если $\frac{L+R\varphi}{N} + f \geq j > \frac{R\varphi}{N} + f$ (в пределах второй переходной кривой), то:

$$\beta p = \frac{\{L+R\varphi - N(j-f)\}^2}{2C}, \quad (23)$$

$$X_p = X''_0, \quad (24)$$

$$Y_p = Y''_0, \quad (25)$$

где X''_0 и Y''_0 определены при $\beta_0 = \beta p$;

$$X = -(T - X_p) \cos \varphi + Y_p \sin \varphi, \quad (26)$$

$$Y = (T - X_p) \sin \varphi + Y_p \cos \varphi. \quad (27)$$

5. Если $j > \frac{L+R\varphi}{N} + f$ (в пределах прямолинейного участка после НПК2), то:

$$X = -\{(j - f)N - K + T\} \cos \varphi, \quad (28)$$

$$Y = \{(j - f)N - K + T\} \sin \varphi. \quad (29)$$

Далее определяем черную отметку каждой промежуточной точки проектируемого участка трассы с известными плановыми координатами X и Y .

Используя массив (15), определяем индекс i_0 координат первой вершины указанного треугольного контура и находим i_0 такое, что:

$$(x_{i_0} - X)^2 + (y_{i_0} - Y)^2 \leq (x_k - X)^2 \quad (30)$$

для всех $k = 1, 2, \dots, n$.

Если:

$$(x_{i_0} - X)^2 + (y_{i_0} - Y)^2 = 0, \quad (31)$$

то $Z = z_{i_0}$ — отметка точки проектируемого закругления.

Все описываемые ниже действия выполняются в случае, если:

$$(x_{i_0} - X)^2 + (y_{i_0} - Y)^2 \neq 0. \quad (32)$$

На основании модели, описанной авторами в [8], подставив в них (30)–(33), получаем массив:

$$\begin{aligned} & (\alpha_{nf+1}, \alpha_{nf+2}, \dots, \alpha_{nm-f}), \\ & (h_{nf+1}, h_{nf+2}, \dots, h_{nm-f}), \\ & (r_{nf+1}, r_{nf+2}, \dots, r_{nm-f}). \end{aligned} \quad (33)$$

В результате на печать выводим следующие данные: $R_{j_3}, R_B, R_N, T_{j_3}, K_{j_3}, V_{j_3}, U_{j_3}, S_{j_3}(P_1, P_2, \dots, P_g)$, массив, а также разбивочные данные u_0, α_0 и массив.

Алгоритм реализован в программу на языке C++, что позволяет выполнять вычисления достаточно быстро.

Выводы. Комбинированные методы разбивки транспортных примыканий, съездов и проектирование плоских пространственных дорожных кривых позволяют:

– осуществлять оперативную пространственную разбивку как единого сооружения единым методом, одним инструментом одновременно в плане и по высоте, по-

вышая таким образом производительность разбивочных, контрольных и приемочных работ;

– сократить более чем в 3,5 раза количество закрепляемых опорных пунктов и исключить уничтожение их, закрепляя за пределами зоны строительных работ;

– выбирать произвольно наиболее удобные точки установки теодолита, не закреплять их, тем самым также избегая их уничтожения, восстановления и погрешностей центрирования;

– осуществлять непрерывный геодезический контроль за строительством примыканий и съездов, фиксируя на местности любую разбивочную точку независимо от других с заданной точностью разбивки;

– выполнять приемку выполненных дорожно-строительных работ и авторский надзор за реализацией геометрических параметров примыканий и съездов в соответствии с проектом.

Литература

- Боровлев А.О., Торопцев В.В., Никитин В.В., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Чигирина А.А. Интеллектуальные системы проектирования продольного профиля лесовозных автомобильных дорог // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 326-338.
- Чирков Е.В., Скрыпников А.В., Высоцкая И.А., Колесникова Н.И. Информационная модель критерия оптимальности трассы лесовозной автомобильной дороги // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 361-370.
- Высоцкая И.А., Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В. Автоматизированное проектирование продольного профиля лесовозных автомобильных дорог с учётом влияния зрительно плавных и изломанных линий // Автоматизация. Современные технологии. 2021. Т. 75. № 10. С. 450-453.
- Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Borovlev A.O. Structural models of road landscapes and microlandscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012116.
- Никитин В.В., Боровлев А.О., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Тюрюкова Т.В., Тверитнев О.Н. Математическое моделирование трассы лесовозных автомобильных дорог // Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал. 2021. № 4 (382). С. 150-161.
- Боровлев А.О., Никитин В.В., Брюховецкий А.Н., Тихомиров П.В., Торопцев В.В., Скрыпников А.В. Математическое обоснование круговых и параболических кривых лесовозных автомобильных дорог // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V Междунар. науч.-практической конф. (21 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 258-268.
- Мацнев М.В., Скрыпников А.В., Берестовой А.А., Микова Е.Ю., Пильник Ю.Н., Яковлев К.А. Особенности организации дорожно-строительных работ поточным методом с учётом сезонного характера их производства // Строительные и дорожные машины. 2021. № 5. С. 14-17.
- Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал. 2011. № 2. С. 36-41.
- Кероглу Л.А. Исследование пропускной способности автомобильных дорог. М.: Автотрансиздат, 1963. 66 с.
- Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа. Томск: НТЛ, 2011. 188 с.
- Быстрянец Е.В. Исследование технологии экспертной оценки качества информационного обеспечения автомобильного транспорта // Автоматизация. Современные технологии. 2017. Т. 71. № 9. С. 429-432.
- Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl. rept. 1982. № 690. P.117-121.
- Оптнер С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. М.: Советское радио, 1969. 216 с.
- Козлов Д.Г., Никитин В.В., Скрыпников А.В. Интеллектуальные системы проектирования сетей лесовозных автомобильных дорог. Воронеж: Воронежский гос. аграрный ун-т им. Петра I, 2021. 206 с.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. школа, 1991. 366 с.

References

- Borovlev A.O., Toropcev V.V., Nikitin V.V., Skrypnikov A.V., Bryuhoveckij A.N., CHigirina A.A. Intelligent systems for designing the longitudinal profile of logging roads // Sistemnyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 326-338.
- CHirkov E.V., Skrypnikov A.V., Vysockaya I.A., Kolesnikova N.I. Information model of the optimality criterion for the route of a logging road // Sistemnyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 361-370.
- Vysockaya I.A., Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Bryuhoveckij A.N., Nikitin V.V. Automated design of the longitudinal profile of logging roads, taking into account the influence of visually smooth and broken lines // Automation. Modern technologies. 2021. V. 75. № 10. P. 450-453.
- Zelikov V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Borovlev A.O. Structural models of road landscapes and microlandscapes // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Conference on Engineering Studies and Cooperation in Global Agricultural Production», 2021. P. 012116.
- Nikitin V.V., Borovlev A.O., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Tyurikova T.V., Tveritnev O.N. Mathematical modeling of the route of logging roads // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal. 2021. № 4 (382). P. 150-161.
- Borovlev A.O., Nikitin V.V., Bryuhoveckij A.N., Tikhomirov P.V., Toropcev V.V., Skrypnikov A.V. Mathematical substantiation of circular and parabolic curves of logging roads // Sistemnyj analiz i modelirovanie processov upravleniya kachestvom v innovacionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa: materialy V Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (21 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 258-268.
- Macnev M.V., Skrypnikov A.V., Berestovoj A.A., Mikova E.YU., Pil'nik YU.N., YAKovlev K.A. Features of the organization of road construction works by the in-line method, taking into account the seasonal nature of their production //

- Construction and Road Building Mashinery. 2021. № 5. P. 14-17.
8. Morozov P.I. Design and planning of arrangement of logging roads // Forestry Engineering Journal. 2011. № 2. P. 36-41.
 9. Keroglu L.A. Investigation of the capacity of highways. M.: Avtotransizdat, 1963. 66 p.
 10. Hromyh V.V., Hromyh O.V. Digital terrain models. Tomsk: NTL, 2011. 188 p.
 11. Bystryancev E.V. Research of the technology of expert assessment of the quality of information support for road transport // Automation. Modern technologies. 2017. V. 71. № 9. P. 429-432.
 12. Lawrence C.J. The use Landsat imagery as a basis for materials inventories and terrain maps // TRRL Suppl. rept. 1982. № 690. P.117-121.
 13. Optner S. System analysis for solving business and industrial problems. M.: Sovetskoe radio, 1969. 216 p.
 14. Kozlov D.G., Nikitin V.V., Skrypnikov A.V. Intelligent systems for designing forest road networks. Voronezh: Voronezhskij gos. agrarnyj un-t im. Imp. Petra I, 2021. 206 p.
 15. Isachenko A.G. Landscape studies and physical and geographical zoning. M.: Vyssh. shkola, 1991. 366 p.