

## Инновационный метод определения параметров закруглений лесных автомобильных дорог

А.М. Меньшиков<sup>a</sup>, Д.С. Осин<sup>b</sup>, Т.М. Шарова<sup>c</sup>

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,  
наб. Северной Двины, 17, Архангельск, Россия

<sup>a</sup> alm2005@mail.ru, <sup>b</sup> avarexpertiza@yandex.ru, <sup>c</sup> sharptiza@yandex.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1220-2817>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0007-2293-8445>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0003-6832-7819>

Статья поступила 13.08.2024, принята 20.09.2024

*После окончания лесозаготовительных работ многие лесовозные дороги передаются в ведение Росавтодора, подвергаются реконструкции или модернизации и далее обеспечивают транспортное сообщение муниципальных образований региона. Поскольку дороги постоянного действия строились 60–70 лет назад, а в период смены экономического уклада претерпели неоднократную смену собственников, у них зачастую отсутствует проектная или исполнительная документация. По этой причине приходится вновь составлять технические паспорта дорог, определять координаты плано-высотного положения трасс и восстанавливать геометрические параметры закруглений. Последнее сопряжено со значительными трудностями, поскольку работы выполняются за пределами дорожного полотна, нередко в заболоченной местности и, как правило, с использованием малопроизводительных средств линейно-угловых измерений. Ситуация усугубляется еще и тем, что на лесовозных дорогах широко распространены закругления с переменной кривизной траектории, а продольные профили дорог, запроектированные по методу «обертывающей», могут иметь перепады высотных отметок в несколько метров даже на траектории одного закругления. В результате пространственная протяженность дуги закругления значительно отличается от кривой на плоскости, запроектированной в двухмерной системе координат. В данной работе теоретически обоснован и экспериментально апробирован способ, позволяющий весьма эффективно и с хорошей точностью определять плано-высотные координаты основных точек закруглений, используя современное аппаратное обеспечение дорожной деятельности — спутниковую систему (GNSS) в тандеме с беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Приводится алгоритм определения радиусов переменной кривизны траектории, базирующийся на теоретических положениях дифференциальной геометрии. Подробно изложена методика апробации предлагаемого способа в условиях эксплуатации лесовозных дорог, имеющих радиусы закруглений 40...200 м, приводится табель необходимых средств измерений.*

**Ключевые слова:** лесовозные дороги; закругления трассы; трехмерные координаты траекторий; автопоезда-оригентовозы; дифференциальная геометрия.

## An innovative method for determining the parameters of curves of forest roads

A.M. Menshikov<sup>a</sup>, D.S. Osin<sup>b</sup>, T.M. Sharova<sup>c</sup>

Northern (Arctic) Federal University; 17, Northern Dvina Emb., Arkhangelsk, Russia

<sup>a</sup> alm2005@mail.ru, <sup>b</sup> avarexpertiza@yandex.ru, <sup>c</sup> sharptiza@yandex.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0003-1220-2817>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0009-0007-2293-8445>, <sup>c</sup> <https://orcid.org/0009-0003-6832-7819>

Received 13.08.2024, accepted 20.09.2024

*After the completion of logging operations many logging roads are entrusted to the jurisdiction of Rosavtodor, undergo reconstruction or modernization, and then provide transport links to the municipalities of the region. Since permanent roads were built 60-70 years ago, and during the period of changing economic structures they underwent repeated changes of owners, they often lack design or executive documentation. For this reason, it is necessary to recompile technical passports of roads, determine the coordinates of the plan-elevation position of the routes, and restore the geometric parameters of the curves. The latter is associated with significant difficulties, since the work is carried out outside the roadway, often in marshy areas and, as a rule, using low-performance linear-angular measurement tools. The situation is further aggravated by the fact that curves with variable trajectory curvature are widespread on logging roads, and longitudinal road profiles designed using the «wrapping» method can have elevation differences of several meters even along the trajectory of one curve. As a result, the spatial extent of the rounded arc differs significantly from the curve on the plane projected in a two-dimensional coordinate system. In this work, a method is theoretically substantiated and experimentally tested that makes it possible to very effectively and with good accuracy determine the horizontal-altitude coordinates of the main rounding points using modern hardware for road activities - a GNSS satellite system in tandem with an unmanned aerial vehicle. An algorithm is given for determining the radii of variable curvature of a trajectory based on the theoretical principles of differential geometry. The methodology for testing the proposed method under operating conditions of logging roads with curvature radii of 40 to 200 meters is described in detail, and a report card of the necessary measuring instruments is given.*

**Keywords:** logging roads; route curvatures; three-dimensional coordinates of trajectories; log-carrying road trains; differential geometry.

**Введение.** Лесовозные дороги являются дорогами промышленного транспорта, их срок службы определяется периодом освоения тяготеющих к ним лесосырьевых баз [9]. По окончании лесозаготовительных работ лесовозные дороги постоянного действия зачастую передаются на баланс региональных подразделений Росавтодора, после чего подвергаются реконструкции или модернизации и в дальнейшем обеспечивают транспортное сообщение муниципальных образований региона. При этом нередко у них отсутствует проектная или исполнительная документация. В таких ситуациях приходится вновь составлять технические паспорта дорог, определять координаты планово-высотного положения трасс, восстанавливать геометрические параметры дорог.

Наиболее трудоемким является определение параметров закругления (угла поворота, центра кривизны, радиуса и длины закругления, биссектрисы, тангенсов и др.), производимое в сложных условиях за пределами дорожного полотна, в отсутствие угловых опознавательных или створных столбов, пикетажных и километровых столбиков и без геодезической привязки к постоянным объектам на местности. Повороты трассы имеют переменный радиус кривизны без наличия выраженных круговых кривых, из-за чего представляется более корректным использовать термин «закругление трассы». Значительные трудности представляет также определение положения вершины угла поворота, точек начала и конца закругления при повороте трассы [4; 6].

Кроме того, для дорог промышленного транспорта и, в частности, для лесовозных дорог свойственно проектирование продольного профиля методом «обертывающей линии», в низких насыпях, исходя из критерия минимума земляных работ при возведении земляного полотна. Вследствие этого длина пространственной траектории трассы даже на относительно небольших участках закруглений существенно превышает длину ее проложения при плоском проектном трассировании. Доказано, что ошибки из-за подмены фактической длины трассы ее плоской проекцией существенно превышают ошибки геодезических полевых измерений, причем даже на дорогах общего пользования высоких технических категорий [6].

В этой связи, актуальной является разработка способа определения геометрических параметров и фактической длины закруглений дороги, учитывающего пространственное положение трассы, обеспечивающего повышенную точность результатов и обладающего сравнительно невысокой трудоемкостью. Использование современного геодезического обеспечения дорожной деятельности, в частности, спутниковой аппаратуры GNSS, позволяющей с высокой точностью определять планово-высотные координаты трассы дороги в трехмерном формате, совместно с применением беспилотных летательных

аппаратов (БПЛА) открывает возможности для решения такого рода задач.

**Цель и метод исследования.** На автомобильных дорогах лесопромышленного комплекса широко распространены закругления трассы малых (40...250 м) радиусов, при этом кривизна оси чаще всего имеет переменное значение. Это наиболее характерно для автодорог постоянного действия низких технических категорий с одной или двумя полосами движения. Причинами переменной кривизны закруглений трассы являются сопряжения переходных кривых, выполненные без круговых или прямых вставок, а также существенные ошибки исполнителей при разбивке координат оси трассы при строительстве дороги. Извилистость трассы влечет за собой уменьшение скорости движения автотранспортных средств (АТС) ниже расчетных значений, повышенную аварийность, напряженное психофизиологическое состояние водителей при движении в закруглениях из-за необходимости часто корректировать траекторию движения АТС [12; 13].

Сведения об основных способах определения фактических параметров закруглений дорог с применением традиционных средств линейно-угловых измерений и геометрического нивелирования достаточно полно скомпилированы в ВСН 5-81, редакция 2014 г. [1]. Эти способы не учитывают пространственное положение трасс, отличаются значительной трудоемкостью и применяются в настоящее время весьма ограниченно.

Более современным способом, учитывающим пространственное положение трасс и при этом обладающим очень малой трудоемкостью, является применение передвижной дорожной лаборатории, оснащенной спутниковой аппаратурой GNSS, малогабаритной интегрированной системой инерциальной навигации «КомпаНав-2МТ» и оптронным датчиком пройденного пути, предназначенной для диагностики транспортно-эксплуатационного состояния дорог [7]. Двигаясь в режиме измерений со скоростью до 60 км/ч, лаборатория обеспечивает сбор большого объема объективной информации, в том числе и о параметрах поворотов трассы. Однако статистическое качество данных полевых измерений оставляет желать лучшего, особенно на участках закруглений дорог. Кроме того, машина малоэффективна на дорогах с переходными и низкими типами покрытий, которые преобладают на дорогах лесопромышленного комплекса.

Известны способы определения радиуса поворота автомобильной дороги, основанные на различии частот вращения колес транспортного средства с измерительной аппаратурой на закруглении [3; 7]. Данные способы также обеспечивают хорошую производительность, но являются весьма приблизительными в отношении точности измерений.

В последние годы в дорожную сферу стали внедряться высокотехнологичные беспилотные

летательные системы [14–16] и спутниковая аппаратура GNSS [6; 17–20]. БПЛА на данном этапе развития применяют для аэрофотосъемки и картографирования местности, контроля состояния ездных поверхностей дорог и режимов движения транспортных средств. Достаточно точная спутниковая аппаратура GNSS, напротив, стала широко применяться в качестве геодезического обеспечения различных сфер дорожной деятельности. Но для определения положения основных точек закругления трассы одной только GNSS недостаточно.

Цель — разработать и апробировать в эксплуатационных условиях инновационный способ определения геометрических параметров закруглений лесных автомобильных дорог, обеспечивающий достаточно высокую эффективность благодаря применению высокотехнологичных средств измерений.

Метод — расчетно-экспериментальный, аппроксимативный, на основе дифференциальной геометрии.

**Методика расчетов.** У траектории закругления, отличной от круговой кривой, где  $R = const$ , кривизна изменяется от точки к точке. В этом случае под радиусом закругления понимается мгновенный радиус кривизны  $\rho$  в каждой точке траектории. Точки траектории, где  $\rho = 0$ , являются точками спрямления траектории, откуда закругление переходит в прямую линию [10; 11].

Координаты пространственной траектории закругления трассы дороги рассматриваются как след движущейся по ней точки и представляются системой трех параметрических уравнений пространственной линии:

$$\begin{cases} x = f(L), \\ y = \varphi(L), \\ z = \psi(L), \end{cases} \quad (1)$$

которые выражают ее текущие координаты через параметр  $L$ , т. е. через длину дуги закругления. При этом все аппроксимирующие функции (1) должны быть непрерывными и, как минимум, дважды дифференцируемыми.

Исходя из этих предпосылок, кривизна пространственной траектории закругления дороги  $K(L)$  определяется по формуле:

$$K(L) = \sqrt{\left(\frac{d^2x}{dL^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2y}{dL^2}\right)^2 + \left(\frac{d^2z}{dL^2}\right)^2}, \quad (2)$$

обратный ей радиус кривизны  $\rho(L)$  по формуле:

$$\rho(L) = \frac{1}{K(L)}, \quad (3)$$

а переменные координаты мгновенного центра кривизны  $C$  — из уравнений:

$$z_c = z + \rho^2(L) \frac{\partial^2 z}{\partial L^2}, \quad (4)$$

$$y_c = y + \rho^2(L) \frac{\partial^2 y}{\partial L^2}, \quad (5)$$

$$z_c = z + \rho^2(L) \frac{\partial^2 z}{\partial L^2}, \quad (6)$$

где  $\frac{\partial^2 x}{\partial L^2}, \frac{\partial^2 y}{\partial L^2}, \frac{\partial^2 z}{\partial L^2}$  — вторые производные соответствующих функций (1) по параметру  $L$ .

При таком подходе геометрическим местом мгновенных центров кривизны траектории  $L$  будет являться не конкретная точка  $C$ , а линия, называемая эволютой, которая также обладает переменной кривизной.

Аппроксимацию функций (1) следует производить осциллирующими полиномами 4-й...6-й степени или трансцендентными функциями. Оценку статистического качества аппроксимаций рекомендуется выполнять методами статистической динамики, подробно изложенными в работе [8]. В этом случае координаты точек рассматриваются как последовательные динамические ряды эмпирических данных, аддитивно составленные из детерминированного тренда и стохастического остаточного ряда. Точность аппроксимации оценивается отношением остаточной дисперсии к общей дисперсии исходного ряда  $\sigma_{\epsilon}^2/\sigma^2$ , а степень случайности и стационарности остаточных рядов относительно белого шума определяется по величине первого коэффициента автокорреляции  $\rho_1$  и  $DW$ -критерия Дарбина – Уотсона также по методике [8].

**Апробация.** Производственная апробация предлагаемого способа производилась в период с 14 по 29 февраля 2024 г. на дорогах лесопромышленного холдинга ГК «Титан» в Приморском и Верхнетоемском районах Архангельской области, по которым велась интенсивная вывозка древесины современными автопоездами-сортиментовозами на базе буксирных и седельных тягачей марок Mercedes. Температура воздуха варьировалась в весьма широком диапазоне от  $-28$  до  $+3$  °С. Следует отметить, что низкие температуры воздуха способствовали ускоренному разряду штатных источников питания и сокращали время работы высокотехнологичной аппаратуры, но в целом не препятствовали проведению полевых измерений.

**Табель измерительного оборудования и специализированных программных продуктов:**

1. Оборудование спутниковой системы GPS/GNSS на базе приемников SOKKIA-TOPCON GR-5 (2 шт.) в комплекте с трегером K370, адаптером и оптическим центриром.

2. Полевой контроллер FC-250 с программным обеспечением TopSURV8.

3. Штатив, трипод, телескопические вехи 5520-11 (2 шт.);

4. Беспилотный летательный аппарат DJI Mini SE в комплекте с пультом дистанционного управления, подвесом и оптической камерой с разрешением фотосъемки  $4000 \times 3000$  ppi и видеосъемки 2,7К.

5. Рулетка Fisko PR100/5 с миллиметровыми делениями, рулетка VEGA LI50 и рулетка Fisko UM3M.

6. Портативная радиостанция

7. Средства обеспечения безопасности дорожных работ: сигнальные конусы, знак объезда, костюмы и накидки дорожные со светоотражающими элементами.

8. Специализированные программные средства для съемки и камеральной обработки полевых материалов, полученных с применением оборудования спутниковой системы GNSS

Для определения фактических геометрических параметров были выбраны 6 участков закруглений трасс одно- и двухполосных лесовозных дорог протяженностью дуги закругления 90...250 м.

До начала разметки осевой линии осуществлялись проезды в кабинах лесовозных тягачей с последующим просмотром записей с установленных в кабинах видеокамер, направленных на водителя и приборную панель. Наблюдения показали, что даже при движении по участкам круговых кривых, где радиус кривизны  $R$  должен быть постоянным, водители неоднократно поворотами руля вынуждены производить корректировку траектории движения автопоездов, что косвенно свидетельствует о переменной кривизне закругления ( $R \neq const$ ).

Створы тангенсов закруглений и их продолжений на прямых участках выносились с помощью телескопических вех (рис. 1). Длину закруглений измеряли 100-метровой рулеткой с градацией делений 1 мм. При этом точки оси закругления на снежно-ледяном покрытии размечались через 2 м по центру между полосами наката и фиксировались с применением баллончиков с двумя видами краски: красным — крестики для ориентира БПЛА, черным — точки для установки вехи с контроллером при последующей съемке координат (рис. 2).

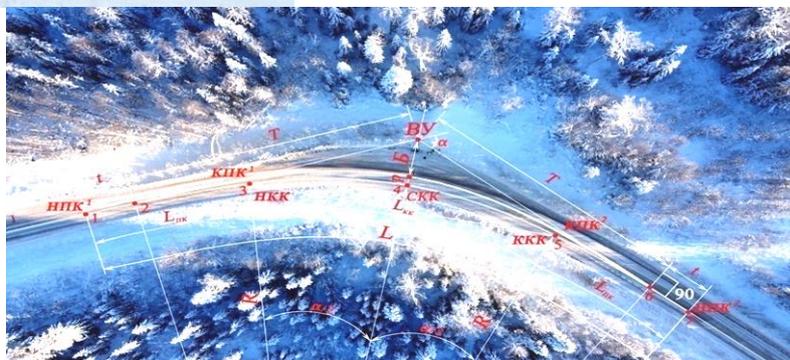


Рис. 3. Определение геометрических параметров закругления трассы лесовозной дороги с применением БПЛА + GNSS

Планово-высотные координаты точек трассы  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  определяли ровером GNSS за два прохода в прямом и обратном направлении, что позволило повысить

Рис. 1. Разметка точек оси закругления лесовозной дороги



Рис. 2. Планово-высотная съемка координат точек оси закругления аппаратурой GNSS

При определении положения основных геометрических параметров закруглений трассы использовался беспилотный летательный аппарат квадрокоптерного типа, оснащенный системами позиционирования GPS и трех-осевой стабилизации положения над точкой, а также оптической камерой для покадровой съемки. При определении начала закругления БПЛА перемещался над дорогой на высоте 2–3 м, ориентируясь по створу обозначенной вехами оси дороги. В момент перехода с прямого на криволинейный участок траектории трассы и при выходе из закругления оператор БПЛА нажатием джойстика был вынужден корректировать траекторию движения аппарата. При этом БПЛА «зависал» над точками начала и конца закругления, что позволяло наметить и затем определить их местоположение с достаточно высокой точностью. Далее, поднимая БПЛА на высоту 100...300 м над закруглением дороги, ориентировочно определяли направление биссектрисы центрального угла и устанавливали на ней базовую станцию GNSS (рис. 3).

точность, а при камеральной обработке данных съемки восстановить координаты случайно пропущенных или некорректно «снятых» точек.

Съемки координат производились с использованием GNSS-аппаратуры Sokkia-TOPCON на базе мультисистемных двухчастотных (L1, L2) приемников GR5. Передача поправок от базы роверу осуществлялась работой встроенного УКВ-модема с выделенным диапазоном радиочастот. Поскольку длина базовой линии во всех случаях не превышала 500 м, соответствующий вид среднеквадратичной погрешности измерений (СКП) не учитывался.

Съемка траекторий производилась в реальном времени RTK, режим «stop & go», формат RTK-поправок RTCM 3.x, принцип принятия решения — только фиксированные данные при уровне сигнала поправок 100 %, с предварительным просмотром координат точки перед их сохранением. Захват сигналов осуществляли от 15 до 18 спутников, при устойчивом трекинге аппаратура обеспечивала точность измерений в субсантиметровом диапазоне (рис. 4). Проекция выбиралась SK1942-Zone7:36E to 42E, модель геоида EGM2008, ИГД WGS-84, система координат — пространственная 3D CS, единицы измерений горизонтального проложения точек и нормальных высот — метры, разрядность данных измерений  $10^{-3}$ .



Рис. 4. Контроль погрешностей аппаратуры (45 мм по горизонтали и 7 мм по вертикали) при определении координат точек закругления

Таким способом были определены пространственные координаты осей шести закруглений трасс, 4 на однополосных и 2 — на двухполосных дорогах.

**Результаты.** Первичная обработка данных измерений осуществлялась в программном комплексе TopSURV8 (коммерческая лицензия для САФУ, 2013 г.). При этом глобальные геоцентрические координаты  $X, Y$  автоматически пересчитывались в референц-координаты Гаусса – Крюгера  $x, y$ , а эллипсоидальные высоты  $Z$  — в местные нормальные

высоты  $z$ . Полная погрешность проведенных измерений складывалась из погрешностей нанесения разметки и погрешности аппаратуры GNSS по вертикали и горизонтали и составила 16,1 мм.

Обработка экспортированных данных производилась в прямоугольных координатах от главной касательной, при этом поворот координатных осей производился таким образом, что линия тангенса совпадала с осью абсцисс с начальным значением в точке НПК (рис. 5).

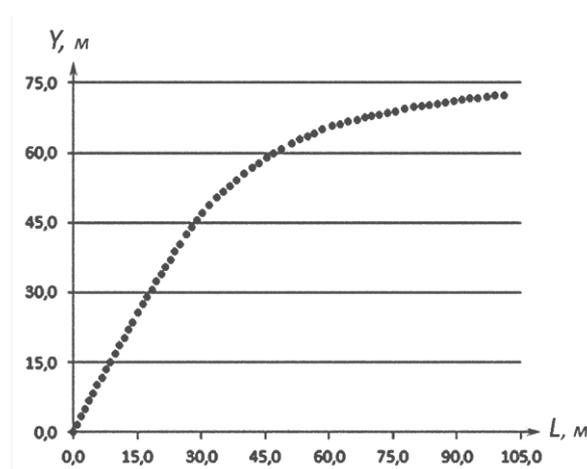


Рис. 5. Точки закругления трассы в декартовой системе координат

Ряды последовательных значений координат  $x, y, z$  в параметрических уравнениях (1) аппроксимировались осциллирующими полиномами 4-й, 5-й и 6-й степени. Далее производилась оценка соответствия остаточных рядов критериям белого шума, для каждого полинома вычислялись значения первой и второй производных, и далее по формулам (2), (3) определялись мгновенные значения показателя кривизны и радиуса закругления в каждой точке траектории.

В качестве примера на рис. 6 представлены графики кривизны закругления трассы длиной 112 м, определенной поиском экстремумов аппроксимирующих полиномов 4-й, 5-й, 6-й степени. Заметим, что наибольшая точность в определении точек начала переходной кривой (НПК), начала и окончания круговой кривой (НKK, КKK) и точки 4 на биссектрисе, соответствующей вершине дирекционного угла (ВУ), во всех случаях была получена применением полинома 6-й степени, хотя статистическая надежность аппроксимирующего уравнения при этом была наименьшей. Однако последнее обстоятельство воспринималось нами как малозначащее, поскольку для достижения поставленной цели требовалась именно наивысшая точность аппроксимации координатных рядов.

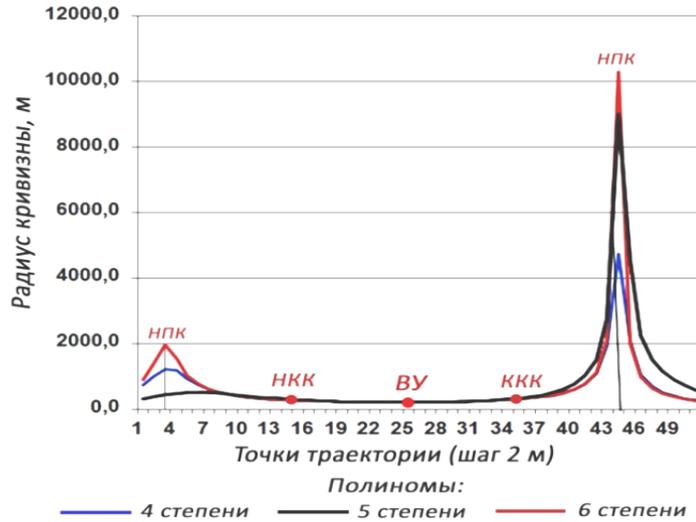


Рис. 6. Определение основных параметров закругления трассы дороги

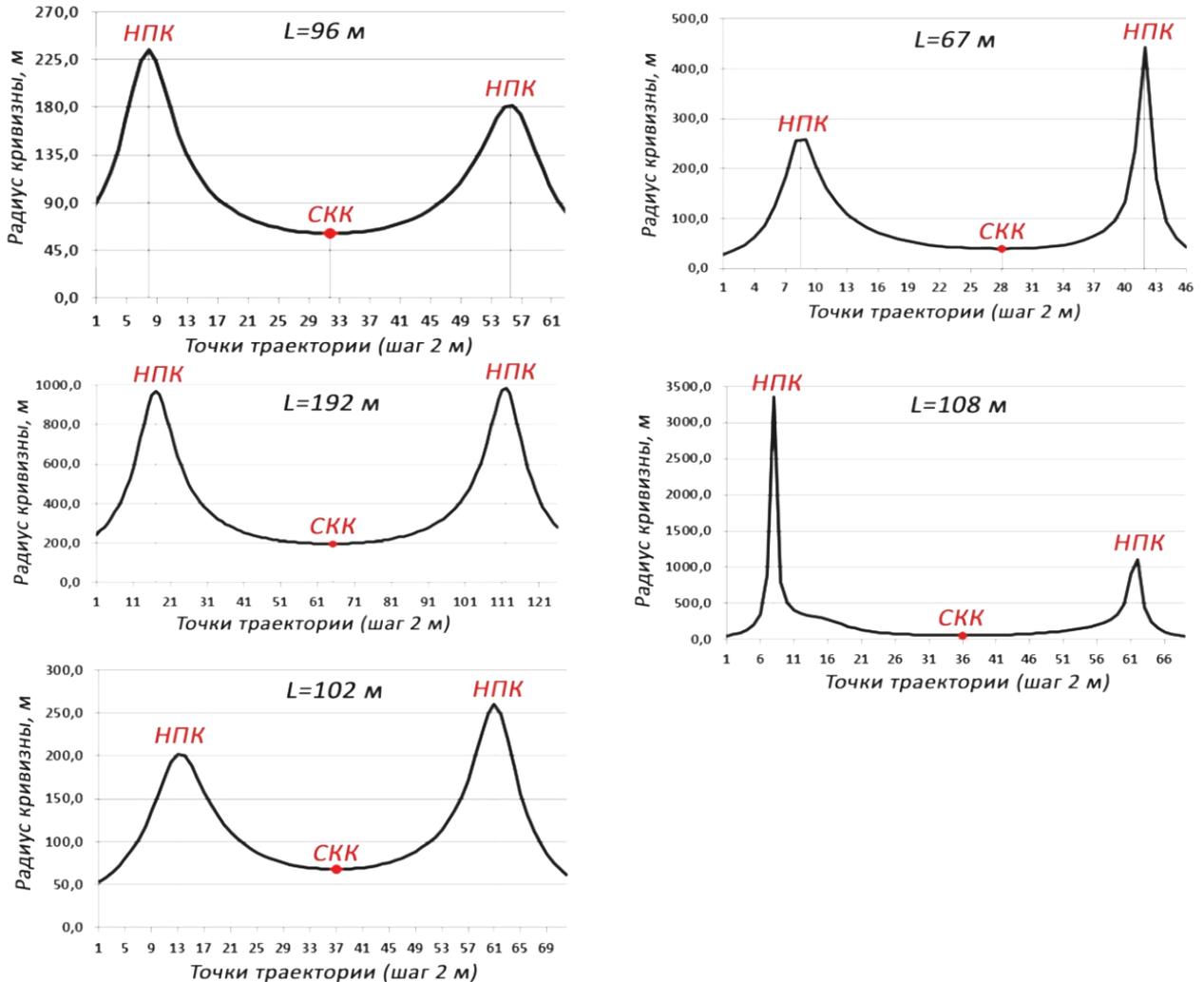


Рис. 7. Типичные закругления переменной кривизны на лесовозных дорогах: НПК — начало переходной кривой; СКК — середина круговой кривой

На графике рис. 6 показаны определенные строго математически основные точки траектории закругления, вернее — математические ожидания положения их от начала GNSS-съемки координат

траектории. Видно, что переход радиуса кривизны от бесконечности на прямой к переменному радиусу в начале закругления (точка НПК) происходит на расстоянии 4,8 м от точки начала GNSS-съемки

координат траектории. Круговая кривая постоянного радиуса 203,7 м, обозначенная горизонтальным участком графика между НКК и ККК, вписывается в дугу закругления на отрезке 28,6...68,8 м. Выход из закругления на прямой участок трассы осуществляется в точке НКК на расстоянии 84,4 м.

Кроме того, по длинам переходных кривых и координате точки перегиба (точки СКК) можно сделать вывод о том, что данное закругление дороги не является симметричным. Координаты центра закругления не сосредоточены в какой-то одной точке, они размещаются на кривой — эволюте. При этом радиус закругления во всех точках траектории также имеет различные значения, поэтому корректно можно говорить только о его минимуме в точке СКК.

Определяемые в трехмерной системе координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$  значения длины закругления трассы и координат

точек ее пространственной траектории максимально приближены к фактическому положению трассы на местности, которое значительно отличается от проектного положения при плоском проектировании. Достаточно сказать, что на одном исследуемом закруглении длиной около 100 м перепад высотных отметок составил более 9 м.

Анализ результатов математической обработки данных измерений на пяти других закруглениях дорог (рис. 7) подтверждает адекватность данного способа и возможность его практического применения для точного определения значений основных геометрических параметров закруглений эксплуатируемых лесовозных дорог при их паспортизации или предпроектных изысканиях для реконструкции дороги.

### Литература

- Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений ВСН 5-81 / Минавтодор РСФСР. М.: ОАО «ЦИТП им. Г.К. Орджоникидзе», 2014. 104 с.
- ОДМ 218.2.101-2019. Методические рекомендации по проектированию элементов плана, продольного и поперечного профиля автомобильных дорог / Отраслевой методический документ. М.: Росавтодор, 2019. 119 с.
- Гришкевич А.И. Автомобили: Теория. Минск: Вышэйшая шк., 1986. 208 с.
- Катькало Ю.А., Подстрелова Е.Н., Терещенко А.С., Тулуевский Н.В. Определение действительных радиусов на закруглениях автомобильных дорог электронным тахеометром // Вестн. Белорус. - Рос. ун-та. 2012. № 3. С. 89-95.
- Никитин А.В. Оперативное определение радиусов кривых на автомобильных дорогах // Геодезия и картография. 2010. № 11. С. 8-9.
- Никитин А.В. Оптимальные методы построения инфраструктуры геопространственных данных для транспортных коридоров: моногр. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2015. 159 с.
- Гундерсен И.С., Меньшиков А.М. Новейшие методы оценки транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети // Ломоносовские науч. чтения студентов, аспирантов и молодых ученых - 2020: сб. науч. тр. (13-17 апр. 2020 г.). Архангельск: Изд-во САФУ, 2020. С. 109-114.
- Меньшиков А.М. Технологический анализ и моделирование процессов лесозаготовок методами статистической динамики: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2007. 180 с.
- Меньшиков А.М. Дороги и подвижной состав лесозаготовительных предприятий. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. 300 с.
- Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1973. 832 с.
- Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. М.: АСТ, 2006. 991 с.
- Селюков Д.Д. Психологическая безопасность автомобильных дорог. Минск: ВУЗ ЮНИТИ, 1997. 224 с.
- Селюков Д.Д. Новый подход к нормированию расчётной скорости движения // Дорожная держава. 2012. № 41. С. 57-61.
- Каплин А.Ю., Степанов М.Г. Способ определения координат наземных объектов при фотосъёмке с беспилотного летательного аппарата: пат. RU 2 726 902 C1; заявл. 21.01.2020; опубл. 16.07.2020.
- Ruseruka C., Mwakalonge J., Comert G., Siuhi S., Perkins J. Road Condition Monitoring Using Vehicle Built-in Cameras and GPS Sensors. A Deep Learning Approach. Vehicles. Orangeburg, SC 29117, USA. 2023. V. 5. P. 931-948.
- Konstantinos K., Martins G.S., Rutherford M.J., Valavanis K.P. A survey of unmanned aerial vehicles (UAVs) for traffic monitoring // International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) 28-31 May 2013.
- Pirti A. Evaluating the Usage of RTK GPS Technique in the Control of Highway Geometry. Istanbul, Turkey: Geod. List. 2008. V. 4. P. 237-248.
- Bowring B.R. Transformation from spatial to geographic coordinates. Survey Review. 1976. № XXIII, 181. P. 323-327.
- Ngo V.H. The Vietnam State System of Coordinate and attentions required to be paid when applying it to design and construction // Journal of Construction Science and Technology. 2005. V. 3. P. 33-36.
- Nerem R.S., Larson K.M. Global Positioning System, Theory and Practice, 5th Edition. University of Colorado Boulder, USA. 2001. V. 82, iss. 33. P. 361-365.

### References

- Instructions for marking work during the construction, reconstruction and major repairs of highways and artificial structures VSN 5-81 / Minavtodor RSFSR. M.: ОАО «ЦИТП им. Г.К. Орджоникидзе», 2014. 104 p.
- ODM 218.2.101-2019. Guidelines for the Design of Plan Elements, Longitudinal and Transverse Profiles of Highways / Otrasleyvoj metodicheskij dokument. M.: Rosavtodor, 2019. 119 p.
- Grishkevich A.I. Cars: theory. Minsk: Vyshejschaya shk., 1986. 208 p.
- Kat'kalo Yu.A., Podstrelova E.N., Tereshchenko A.S., Tuluevskij N.V. Determination of actual radii on curved roads with an electronic total station // Belarusian-Russian University. 2012. № 3. P. 89-95.
- Nikitin A.V. Operational determination of radii of curves on highways // Geodesy and Cartography. 2010. № 11. P. 8-9.
- Nikitin A.V. Optimal methods for constructing geospatial data infrastructure for transport corridors: monogr. Habarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2015. 159 p.
- Gundersen I.S., Men'shikov A.M. The latest methods for assessing the transport and operational state of the road network // Lomonosovskie науч. chteniya studentov, aspirantov i molodyh uchenykh - 2020: sb. науч. tr. (13-17 apr. 2020 g.). Arhangel'sk: Izd-vo SAFU, 2020. P. 109-114.
- Men'shikov A.M. Technological analysis and modeling of logging processes using statistical dynamics methods: dis. ... kand. tekhn. nauk. Arhangel'sk, 2007. 180 p.
- Men'shikov A.M. Roads and rolling stock of logging enterprises. Vologda: Infra-Inzheneriya, 2023. 300 p.
- Korn G., Korn T. Handbook of mathematics for scientists and engineers. M.: Nauka, 1973. 832 p.
- Vygodskij M.Ya. Handbook of higher mathematics. M.: ACT, 2006. 991 p.
- Selyukov D.D. Psychological safety of highways. Minsk: VUZ YuNITI, 1997. 224 p.
- Selyukov D.D. A new approach to normalizing the design speed of movement // Dorozhnaya derzhava. 2012. № 41. P. 57-61.
- Kaplin A.Yu., Stepanov M.G. Method for determining the coordinates of ground objects when taking photographs from an unmanned aerial vehicle: pat. RU 2 726 902 C1; zayavl. 21.01.2020; opubl. 16.07.2020.
- Ruseruka C., Mwakalonge J., Comert G., Siuhi S., Perkins J. Road Condition Monitoring Using Vehicle Built-in Cameras and GPS Sen-

- sors. A Deep Learning Approach. Vehicles. Orangeburg, SC 29117, USA. 2023. V. 5. P. 931-948.
16. Konstantinos K., Martins G.S., Rutherford M.J., Valavanis K.P. A survey of unmanned aerial vehicles (UAVs) for traffic monitoring // International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) 28-31 May 2013.
  17. Pirti A. Evaluating the Usage of RTK GPS Technique in the Control of Highway Geometry. Istanbul, Turkey: Geod. List. 2008. V. 4. P. 237-248.
  18. Bowring B.R. Transformation from spatial to geographic coordinates. Survey Review. 1976. № XXIII, 181. P. 323-327.
  19. Ngo V.H. The Vietnam State System of Coordinate and attentions required to be paid when applying it to design and construction // Journal of Construction Science and Technology. 2005. V. 3. P. 33-36.
  20. Nerem R.S., Larson K.M. Global Positioning System, Theory and Practice, 5th Edition. University of Colorado Boulder, USA. 2001. V. 82, iss. 33. P. 361-365.