

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДИМОСТИ В ПЛАНЕ ЛЕСОВОЗНОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ МЕТОДОМ НАЗЕМНОЙ СТЕРЕОФОТОГРАММЕТРИИ

П.В. Тихомиров<sup>1</sup>, А.А. Скрыпников<sup>2</sup>, Ю.Ю. Володина<sup>2</sup>✉,  
Ю.А. Боровлев<sup>2</sup>, О.Л. Картавец<sup>2</sup>, Д.Д. Мирзоев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», 241037, Россия, г. Брянск, пр-кт Станке Димитрова, д. 3

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), 394036, Россия, г. Воронеж, пр-кт Революции, д. 19

juliya\_volodina@mail.ru

Изложен метод определения видимости на закруглениях лесовозных автомобильных дорог по материалам наземной фотовидеофиксации. Суть данного метода заключается в сравнении пространственных фотограмметрических координат точек зоны видимости. Зона препятствия и зона видимости рассматриваются в одной и той же фотограмметрической системе координат, а центр проектирования этой системы совпадает с левым концом базиса фотовидеофиксации. Приведены исследования по определению величины расстояния видимости на горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог при наличии препятствия применительно к нормальному случаю съемки. Также рассмотрены мероприятия по улучшению условий движения на закруглениях лесовозных автомобильных дорог в случае полного или частичного отсутствия видимости. В ходе проведенных исследований получены зависимости для определения величины расстояния видимости методом наземной стереофотограмметрии, применительно к горизонтальным кривым в плане дороги; выполнена оценка точности определения расстояния видимости по материалам наземной стереофотограмметрии. В случае отсутствия видимости на горизонтальных кривых автомобильных дорог предложены зависимости для определения площади и объема срезки, а также установлены зависимости для оценки точности выполненных измерений.

**Ключевые слова:** лесовозная автомобильная дорога, реконструкция, видимость, закругления, наземная стереофотограмметрическая съемка

**Ссылка для цитирования:** Тихомиров П.В., Скрыпников А.А., Володина Ю.Ю., Боровлев Ю.А., Картавец О.Л., Мирзоев Д.Д. Определение видимости в плане лесовозной автомобильной дороги методом наземной стереофотограмметрии // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 159–171.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-159-171

Обследование лесовозных автомобильных дорог показывает необходимость определения таких технико-эксплуатационных показателей дорог, как видимость, деформация покрытия и др. Проверка наличия видимости в плане дороги является обязательной при разработке проекта реконструкции кривых лесовозных автомобильных дорог [1–3]. Вопрос наличия или отсутствия видимости на закруглениях лесовозных автомобильных дорог актуализируется, если на реконструируемую дорогу нет проектной документации. В таких случаях для определения видимости необходимо выполнять дополнительные измерения в полевых условиях [4–6].

Видимость на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги обеспечивается в том случае, если водитель автомобиля при высоте глаз около 1,2 м над проезжей частью видит поверхность дороги, встречный автомобиль или какое-либо препятствие, имеющееся

на покрытии на расстоянии, позволяющем своевременно остановить автомобиль. По кривой минимальное расстояние видимости  $S_0$  должно быть таким, чтобы водитель, находясь в точке  $A$ , мог увидеть по лучу зрения  $AB$  дорогу или препятствие в точке  $B$ , причем расстояние от  $A$  до  $B$  по дороге должно составлять установленное для данной технической категории дороги расстояние видимости (рис. 1).

Луч зрения  $AB$  является хордой, сдвигающей дугу  $AB$ , длина которой равна расстоянию видимости. Луч зрения  $AB$  одновременно является границей площади, внутри которой (ближе к дороге) поверхность земли должна быть освобождена от препятствий, мешающих видимости [7–11].

Вопросу определения видимости на горизонтальных кривых в плане дороги посвящено достаточно много работ отечественных ученых, однако существующие методы определения видимости предполагают выполнение большого объема полевых работ и в некоторых случаях применения приближенных методов измерения [12].

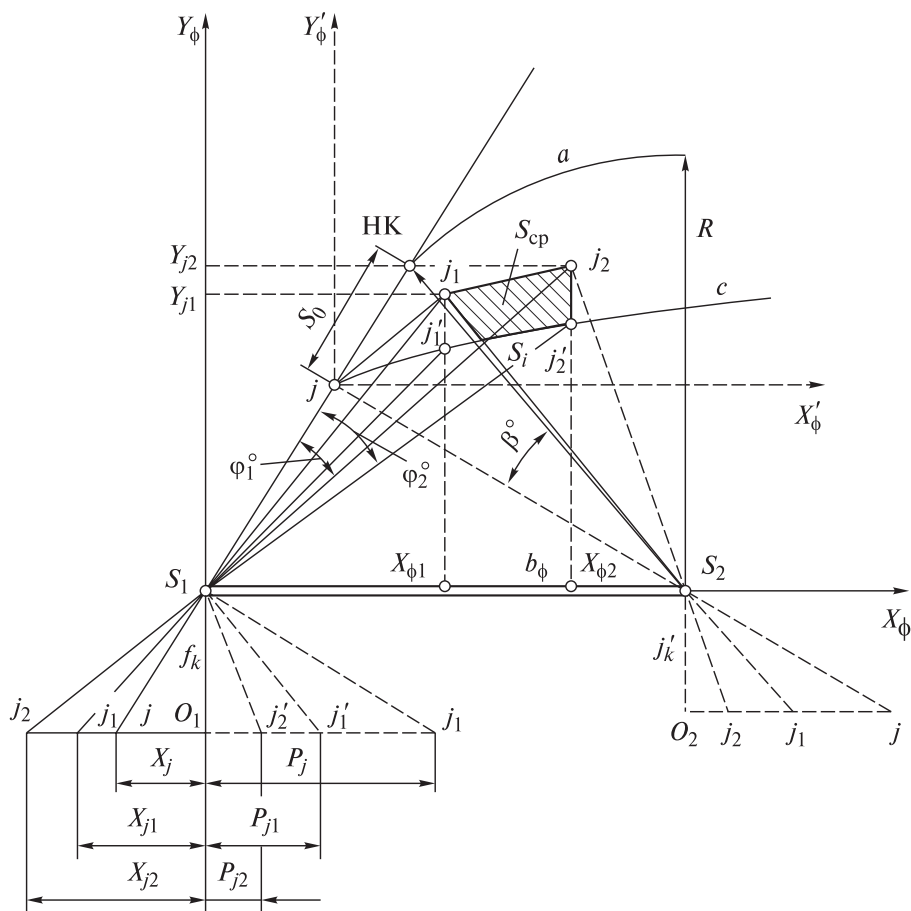


Рис. 1. Определение величины среза ( $S_{cp}$  и  $U_{cp}$ ) методом наземной стереофотограмметрии  
 Fig. 1. Determination of cut-off values ( $S_{cp}$  and  $U_{cp}$ ) by ground-based stereo photogrammetry

**Цель работы**

Цель работы — определение видимости на закруглении дороги с помощью разработку методов, обеспечивающих достаточную для составления проекта реконструкции точность.

**Методика исследования**

Принятые обозначения:

- $B_{\phi}$  — базис фотовидеофиксации, м;
- $D$  — разность между длиной двух тангенсов и кривой, м;
- $D_0$  — предшествующая длина клотоиды до начала текущего интервала, м;
- КПК — точка тормозной кривой;
- НК — точка начала кривой;
- $O$  — центр окружности;
- $A$  — опорная точка препятствия;
- $a$  — ускорение, замедление,  $m/c^2$ ;
- $A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}$  — точки препятствия;
- $C(x)$  — интеграл Френеля;
- $D, Q$  — коэффициенты, определяющие длину искомого разбивочного интервала и часть этого интервала от начала до текущей точки, в которой определена стрела прогиба, мм;
- $i$  — высота луча зрения водителя, м;

- $i_{тр}$  — уклон дороги, м;
- $F$  — боковой скачок центробежной силы в точке сопряжения переходных и круговых кривых;
- $f$  — стрела прогиба кривой, мм;
- $f_k$  — фокусное расстояние камеры, мм;
- $J_1, J_2$  — точки препятствия, измеренные на снимке, мм;
- $K$  — длина кривой от начала до конца, м;
- $K_{мв}$  — коэффициент соотношения положения водителя и конца кривой на снимке, м;
- $L$  — длина переходной кривой, м;
- $L_i$  — разбивочные интервалы, м;
- $l_1$  — длина первого интервала (от начала клотоиды), м;
- $L_{i, i+1}$  — ширина проезжей части дороги между точками  $i, i+1$ , м;
- $M$  — начало луча зрения водителя, мм;
- $M_1M_2$  — участок луча зрения водителя, мм;
- $m$  — погрешность разбивочных работ, м;
- $m_a$  — средняя квадратическая погрешность измерений хорды  $a$ , м;
- $m_c$  — систематическая погрешность, м;
- $m_{Li, i+1}$  — средняя квадратическая погрешность определения длины  $L_i, i+1$  измеряемой линии, м;
- $m_p$  — средняя квадратическая погрешность измерения продольного параллакса, м;

- $m_R$  — средняя квадратическая погрешность определения радиуса кривой, м;
- $m_x$  — средняя квадратическая погрешность измерения координат  $x_1$  на снимке, м;
- $m_{x\phi}$  — средняя квадратическая погрешность определения  $x_\phi$ , м;
- $m_{y\phi}$  — средняя квадратическая погрешность определения  $y_\phi$ , м;
- $m_z$  — погрешность геодезических работ, м;
- $m_\alpha$  — средняя квадратическая погрешность измерений хорды  $\alpha$ , м;
- $N$  — конец луча зрения водителя, мм;
- $n$  — количество элементарных срезов, шт.;
- $P$  — вес автомобиля, т;
- $P_j$  — продольный параллакс начальной  $j$ -й точки суммирования, мм;
- $P_{j_1}$  — продольный параллакс начальной  $j$ -й точки суммирования, мм;
- $P_{j_2}$  — продольный параллакс начальной  $j$ -й точки суммирования, мм;
- $p_M, p_B$  — продольные параллаксы точек  $M$  и  $B$ , мм;
- $P_H$  — показатель надежности осей;
- $Q$  — коэффициент пропорциональности центростремительного ускорения к продолжительности движения;
- $R$  — радиус кривой вставки закругления лесовозной автомобильной дороги, м;
- $r$  — радиус кривизны, м;
- $R_i^H$  — радиус вертикальной выпуклой кривой, м;
- $R^r$  — радиус горизонтальной кривой, м;
- $R_i^r$  — радиус горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог по материалам наземной стереофотограмметрии, м;
- $S$  — расстояние от начала кривой до текущей точки, м;
- $S_0$  — расстояние видимости, м;
- $S_{cp}$  — площадь срезки, м<sup>2</sup>;
- $t$  — время движения по кривой длины  $L$  с конечным радиусом  $R$ , с;
- $V$  — скорость движения, м/с;
- $V_0$  — скорость в начале кривой, м/с;
- $V_{cp}$  — средняя скорость, м/с;
- $V_R$  — скорость по кривой радиуса  $r$  в точке  $i$ , м/с;
- $x_j, x_{j1}, x_{j2}, x_{1m}$  — координаты точек, измеренных по кромке дорожного покрытия, мм;
- $X_\phi, X_{\phi1}, X_{\phi2}, X'_\phi$  — оси фотограмметрической системы координат, мм;
- $x_{1i}$  — абсцисса начальной  $i$ -й точки измерений на фотоснимке, мм;
- $x_{1i+1}$  — абсцисса  $i + 1$ -й точки измерений на фотоснимке, мм;
- $x_{1m}, x_{1B}$  — координаты точек положения водителя ( $m$ ) и кривой ( $B$ ), измеренные на фотоснимке, мм;
- $\Delta X_{i, i+1}$  — приращение координат по оси  $X_\phi$ , мм;
- $\Delta x, \Delta y$  — проекции оптимальных интервалов  $l_i$  на соответствующие оси координат, мм;
- $x_1, y_1$  — координаты текущей точки клотоиды, в которой определяется отклонение хорды от кривой в заданном интервале, мм;
- $x_k, y_k$  — координаты конца кривой, мм;
- $x_0, y_0$  — координаты начала интервала клотоиды, мм;
- $x_2, y_2$  — координаты конца интервала клотоиды, мм;
- $x_\phi, y_\phi$  — координаты базиса фотовидеофиксации, мм;
- $\Delta Y_{i, i+1}$  — приращение координат по оси  $Y_\phi$ , мм;
- $Y_\phi$  — ось фотограмметрической системы координат, мм;
- $Y_\phi, Y'_\phi$  — оси фотограмметрической системы координат, мм;
- $\alpha$  — угол поворота трассы, град.;
- $\alpha_1$  — полярный угол точки  $M$ , град.;
- $\alpha_2$  — полярный угол точки  $N$ , град.;
- $\alpha''$  — угол между хордой заданного интервала клотоиды и осью абсцисс, град.;
- $\alpha^0_{i, i+1}$  — дирекционный угол измеряемой длины линии, град.;
- $\beta$  — угол параболы в дорожных закруглениях, град.;
- $\beta_i$  — угол клотоиды в заданной точке 0, 1 или 2, град.;
- $\beta_j, \beta_{j-1}$  — углы отклонения сторон фототеодолитного хода точек препятствия  $A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}$ , град.;
- $\beta_k$  — угол клотоиды в конце кривой, град.;
- $\phi$  — угол наклона луча зрения водителя к оси  $X_\phi$ , град.;
- $v$  — коэффициент, снижающий влияние центростремительной силы за счет уклона выража  $i_b$ ;
- $v^0_{тр}$  — угол наклона дороги, град.

Рассмотрим определение видимости на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги, а в случае отсутствия видимости на закруглении и необходимой площади срезки и ее объема — по материалам наземной фотовидеофиксации [12, 13]. Суть предлагаемого метода заключается в сравнении пространственных фотограмметрических координат точек зоны препятствия и координат соответствующих точек зоны видимости (кривой видимости или точек траектории движения автомобиля). Зона препятствия и зона видимости рассматриваются в одной и той же фотограмметрической системе координат, а центр проектирования этой системы совпадает с левым концом базиса фотовидеофиксации [14].

Выполним исследования по определению величины расстояния видимости на горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог при наличии препятствия (рис. 2) применительно к нормальному случаю съемки. Препятствиями для видимости водителей могут быть различные

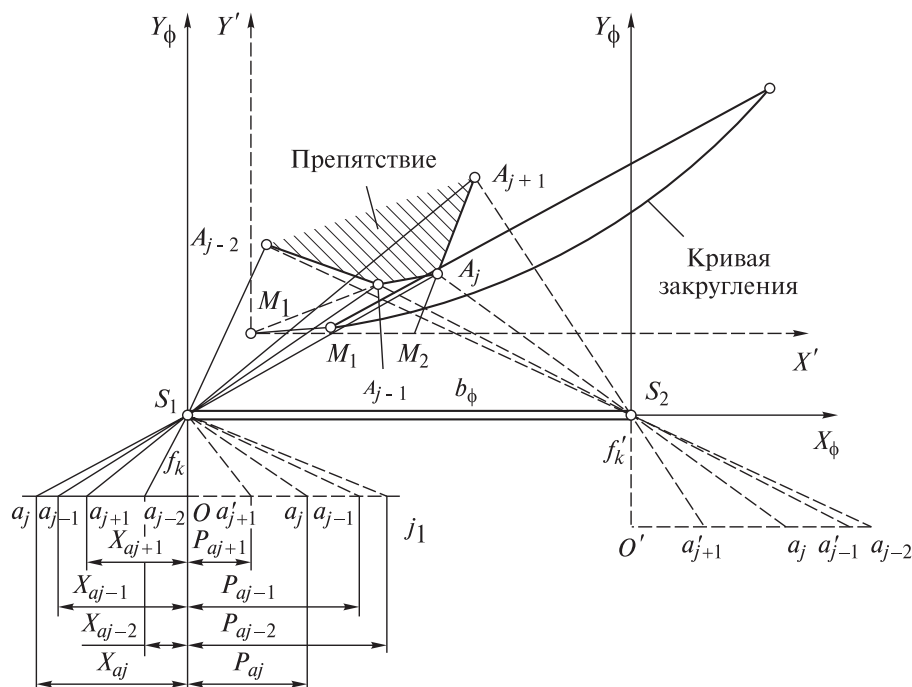


Рис. 2. Определение расстояния видимости  $S_0$  методом наземной стереофотограмметрии  
 Fig. 2.  $S_0$  visibility distance determination by ground-based stereo photogrammetry

рельефные и ситуационные объекты, инженерные сооружения, участки леса и кустарники, откосы выемок и др. [15, 16].

Пусть со стороны внутренней кромки покрытия горизонтальной кривой имеется препятствие, которое ограничивает видимость в зоне кривой, чем вызывает повышенную опасность для движения транспортных средств [17–19]. Для определения величины расстояния видимости  $S_0$  изобразим препятствие в виде некоторого фототеодолитного хода  $A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}$ . При движении автомобиля точка  $M$  будет перемещаться по кривой от точки  $M_1$  до точки  $M_2$ , тогда конец луча зрения водителя — точка  $N$  — будет удаляться по кривой, а луч зрения водителя будет поворачиваться вокруг некоторой точки препятствия  $A_j$ . Эта точка  $A_j$  будет опорной для участка луча зрения водителя  $M_1M_2$  (см. рис. 2).

Обозначим углы отклонения сторон фототеодолитного хода точек препятствия  $A_{j+1}, A_j, A_{j-1}, A_{j-2}$  к оси  $X_\phi$  фотограмметрической системы координат через  $\beta_{j-1}$  и  $\beta_j$ , а угол отклонения луча зрения водителя  $M_1M_2$  от этой же оси — через  $\varphi$ , тогда вершина  $A_j$  будет опорной при

$$\beta_{j-1} \leq \varphi \leq \beta_j. \tag{1}$$

В неравенстве (1) перейдем от углов  $\beta_{j-1}$  и  $\beta_j$  к их тангенсам (см. рис. 2), тогда получим

$$\text{tg}\beta_{j-1} \leq \text{tg}\varphi \leq \text{tg}\beta_j. \tag{2}$$

Для тангенсов углов можно вывести зависимость, которая будет иметь вид

$$\text{tg}\varphi = k = \frac{f_k (P_m - P_j)}{P_m x_{1j} - P_j x_{1m}}, \tag{3}$$

где  $x_{1j}, x_{1m}$  — координаты опорной точки  $A$  препятствия и ее проекции на кривую, измеренные на фотоснимке;

$P_j, P_m$  — продольные параллаксы опорной точки  $A$  препятствия и ее проекция на кривую.

Анализ формулы (3) показывает, что точность определения угла отклонения луча зрения водителя  $\varphi$  от оси  $X_\phi$  фотограмметрической системы координат зависит в основном от точности измерения координат  $x_{1j}, x_{1m}$  и продольных параллаксов  $P_j, P_m$  этих точек на фотоснимках. На основании проведенных исследований точность измерения координат  $x$  по фотоснимку составляет 0,01 мм, а продольных параллаксов — 0,005 мм при аналитической обработке материалов наземной стереофотограмметрической съемки. Поэтому максимальное влияние на точность определения угла  $\varphi$  по формуле (3) будут оказывать измеренные координаты  $x_{1j}, x_{1m}$  по фотоснимкам.

Численное значение угла  $\varphi$  на основании выражения (3) можно получить по формуле

$$\varphi = \arctg \left[ \frac{f_k (P_m - P_j)}{P_m x_{1j} - P_j x_{1m}} \right]. \tag{4}$$

Рассмотрим возможные случаи расположения концов луча зрения водителя на кривой (точки  $M$  и  $N$ ) при определении величины расстояния

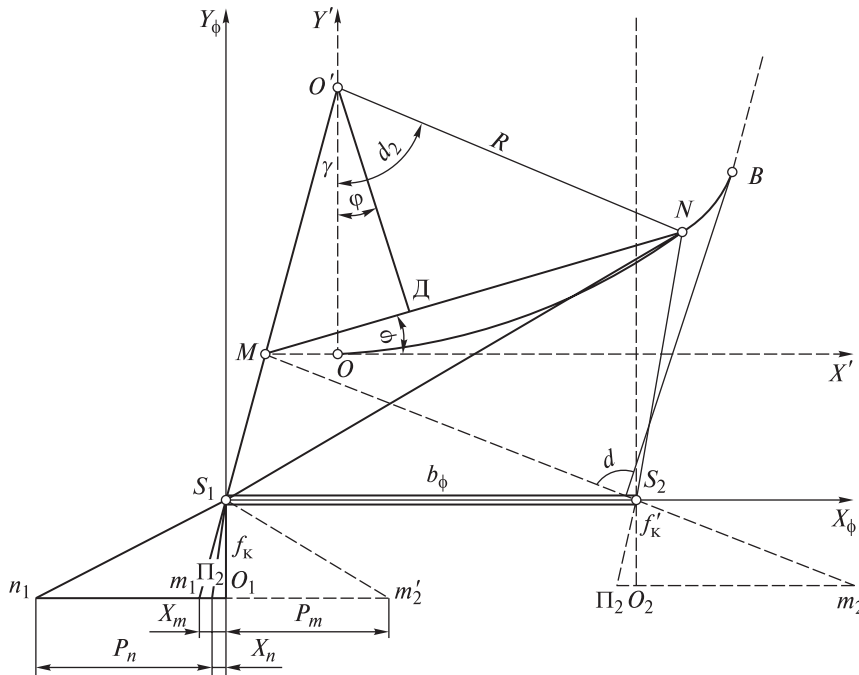


Рис. 3. Определение расстояния видимости при  $K < K_{mb}$   
 Fig. 3. Visibility distance determination at  $K < K_{mb}$

видимости  $S_0$  для нормального случая наземной стереофотограмметрической съемки [20–23]:

а) один конец луча зрения водителя — точка  $M$  — лежит на прямой у входа в закругление, а другой — точка  $N$  — лежит на кривой этого закругления;

б) один конец луча зрения водителя — точка  $M$  — лежит на прямой у входа в закругление, а другой — точка  $N$  — лежит на прямой, но у выхода из закругления;

в) один конец луча зрения водителя — точка  $M$  — лежит на кривой закругления, а другой — точка  $N$  — тоже на кривой этого закругления;

г) один конец зрения водителя — точка  $M$  — лежит на кривой закругления, а другой — точка  $N$  — лежит на прямой у выхода из этого закругления.

В случае а) величина расстояния видимости  $S_0$  (рис. 3) при  $K < K_{mb}$  составляет

$$K_{mb} = \frac{f_k (p_m - p_b)}{p_m x_{1b} - p_b x_{1m}}, \quad (5)$$

где  $x_{1m}, x_{1b}$  — координаты точек положения водителя ( $M$ ) и конца кривой ( $B$ ) на кривой, измеренные на фотоснимке;

$p_m, p_b$  — продольные параллаксы точек  $M$  и  $B$ . Тогда расстояние видимости будет равно

$$S_0 = M_0 + UON = \frac{B_\phi x_{1m}}{p_m} + R_i^r \cdot \alpha_2, \quad (6)$$

где  $S_0$  — расстояние видимости;

$R_i^r$  — горизонтальный радиус закругления;

$\alpha_2$  — полярный угол точки.

Величину угла  $\alpha_2$  можно определить по формуле (см. рис. 3)

$$\alpha_2 = \varphi + \arccos \left[ \frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\cos \gamma} \right], \quad (7)$$

где  $\gamma$  — полярный угол точки  $M$ .

Полярный угол точки  $M$  из треугольника  $AOM$  (см. рис. 3) составляет

$$\gamma = \arctg \left( \frac{B_\phi x_{1m}}{R_i^r p_m} \right). \quad (8)$$

После подстановок в формулу (6) выражений из формул (7) и (8) в окончательном виде величина расстояния видимости  $S_0$  при  $K < K_{mb}$  будет равна

$$S_0 = \frac{B_\phi x_{1m}}{p_m} + R_i^r \left[ \varphi + \arccos \frac{\cos(\gamma + \varphi)}{\cos \gamma} \right]. \quad (9)$$

В случае б) расстояние видимости  $S_0$  можно получить по следующей формуле (рис. 4)

$$S_0 = MO + \cup OB + BN. \quad (10)$$

На основании рис. 4 можно получить зависимости для всех отрезков расстояния видимости  $S_0$ , которые будут соответственно равны

$$MO = \frac{B_\phi x_{1m}}{p_m}; \quad (11)$$

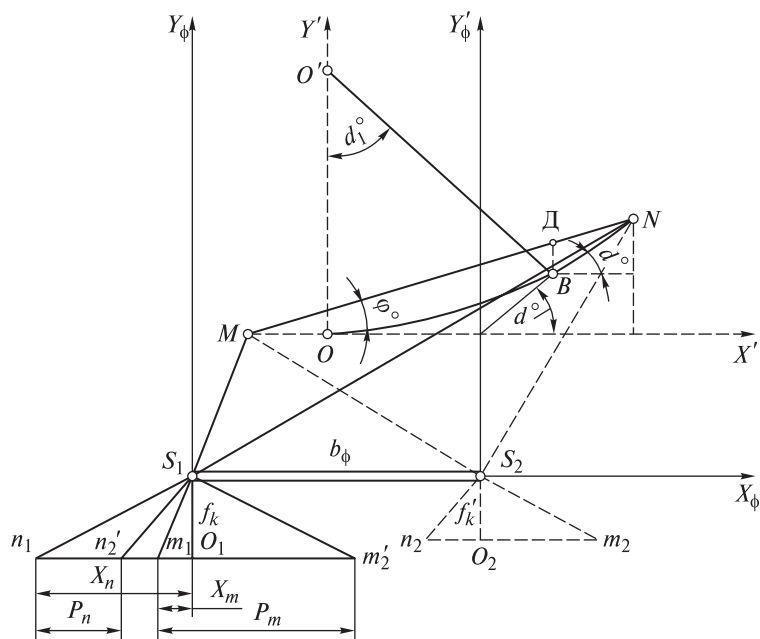


Рис. 4. Определение расстояния видимости при  $K < K_{mv}$   
 Fig. 4. Visibility distance determination at  $K < K_{mv}$

$$\sphericalangle OB = R_i' \alpha, \tag{12}$$

$$\alpha_2 = 2\varphi - \alpha_1. \tag{17}$$

где  $\alpha$  — угол поворота кривой.

Тогда отрезок расстояния видимости  $BN$  будет равен

$$BN = \frac{B_\phi \left[ K(p_n^2 x_{1b} - x_{1n}) - p_b f_n \right]}{p_b p_n \cos \alpha (tg \alpha - K)}. \tag{13}$$

Величину полярного угла  $\alpha_1$  можно определить из треугольника  $AOM$  (4)

$$\sin \alpha_1 = \left( \frac{B_\phi x_{1m}}{p_m} \right). \tag{18}$$

Подставляя в формулу (10) вместо  $MO$ ,  $\sphericalangle OB$ ,  $BN$  выражения из (11), (12), (13) получим зависимость для определения величины расстояния видимости  $S_0$  при  $K > K_{mv}$ , которая будет иметь вид

$$S_0 = \frac{B_\phi x_{1m}}{p_m} + R_i' \cdot \varphi + \frac{B_\phi \left[ K(p_n^2 x_{1b} - x_{1n}) - p_b f_n \right]}{p_b p_n \cos \alpha (tg \alpha - K)}. \tag{14}$$

В случае в) величина расстояния видимости  $S_0$  при  $K < K_{mv}$  составит (см. рис. 1)

$$S_0 = \sphericalangle MN = R_i' (\alpha_2 - \alpha_1), \tag{15}$$

где  $\alpha_2$  — полярный угол точки  $N$ ;

$\alpha_1$  — полярный угол точки  $M$ ;

Угол наклона луча зрения водителя к оси  $X_\phi$  фотограмметрической системы координат  $\varphi$  (рис. 5) можно получить таким образом

$$\varphi = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}. \tag{16}$$

Тогда из формулы (9) полярный угол  $\alpha_2$  будет равен

Численное значение полярного угла  $\alpha_1$  на основании выражения (18) получим из формулы

$$\alpha_1 = \arcsin \left( \frac{B_\phi x_{1m}}{p_m} \right). \tag{19}$$

Величина расстояния видимости  $S_0$  для случая при  $K < K_{mv}$  в окончательном виде равна

$$S_0 = 2R_i' (\varphi - \alpha_1). \tag{20}$$

Угол наклона луча зрения водителя  $\varphi$  к оси  $X_\phi$  фотограмметрической системы координат можно получить по формуле (4).

В случае г)  $K > K_{mv}$  величина расстояния видимости будет (см. рис. 5) составлять

$$S_0 = \sphericalangle MB + BN = R_i' (\alpha - \alpha_1) + BN. \tag{21}$$

Отрезки расстояния видимости в формуле (14)  $\sphericalangle MB$  и  $BN$  соответственно можно получить из формул:

$$\sphericalangle MB = R_i' (\alpha - \alpha_1) \tag{22}$$

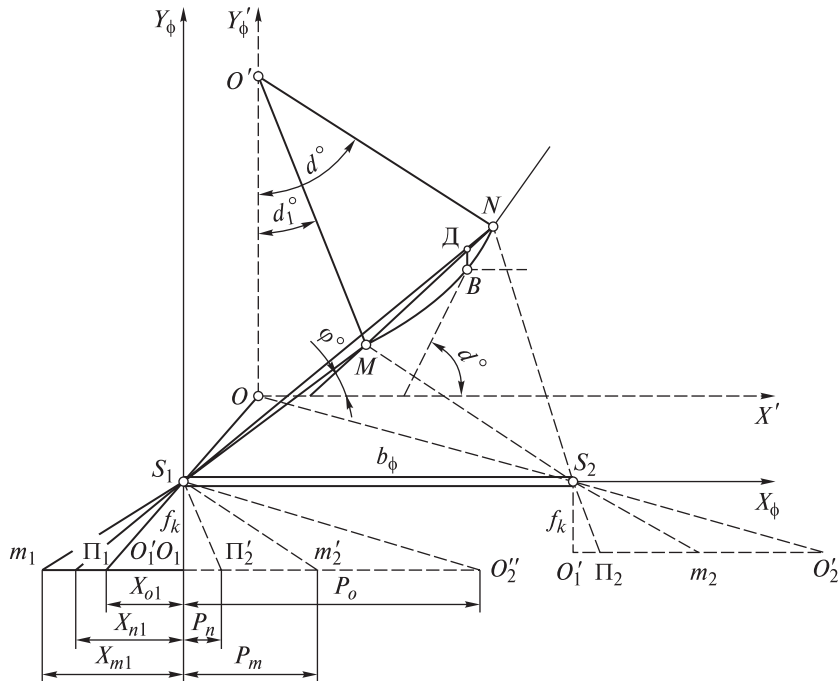


Рис. 5. Определение расстояния видимости при  $K > K_{mb}$   
 Fig. 5. Determining the visibility distance at  $K > K_{mb}$

и

$$BN = \frac{b_\phi [K - f_k (p_m - p_b)]}{p_m p_b \cos \alpha (tg \alpha - K)}. \quad (23)$$

При выведении формулы (23) для определения отрезка  $BN$  (см. рис. 5) было принято во внимание, что  $K_{mb}$  в свою очередь вычисляется из выражения (5), а  $K$  — из уравнения (3). Подставляя в формулу (21) вместо  $\cup MB$  и  $BN$  выражения (22) и (23), получим зависимость для определения величины расстояния видимости  $S_0$  при  $K > K_{mb}$ , которая будет иметь вид

$$S_0 = R_i^r (\alpha - \alpha_1) + \frac{b_\phi [K - f_k (p_m - p_b)]}{p_m p_b \cos \alpha (tg \alpha - K)}. \quad (24)$$

В формуле (24) полярный угол  $\alpha_1$  определяется из уравнения (19), а  $\alpha$  — угол поворота кривой.

Оценку точности определения величины расстояния видимости методом наземной стереофотограмметрии применительно к рассмотренным случаям можно выполнить по формуле

$$m_{S_0} = \frac{Y_{\max}}{f_k} \sqrt{\frac{Y_{\max}^2 x_1^2}{f_k^2 b_\phi^2} m_p^2 + m_x^2 + \frac{x_1^2 m_b^2}{b_\phi^2}}. \quad (25)$$

В случае полного или частичного отсутствия видимости на закруглении возникает необходимость в разработке мероприятий по улучшению условий движения, в число которых входит устранение помех, т. е. производство срезки.

Определение размеров срезки, ее площади  $S_{ср}$  и объема  $V_{ср}$  является необходимым для решения инженерных задач, а также при выборе и сравнении вариантов по улучшению условий движения на закруглениях лесовозных автомобильных дорог. Вопросу определения размеров среза (площади, объема) при отсутствии видимости на кривой посвящены работы [24, 25]. Существующие способы определения величины срезки являются приближенными и не обеспечивают достаточной точности ее измерения, причем все основные виды работ по установлению величины срезки выполняются в полевых условиях. В силу этих недостатков существующих способов определения величины срезки на закруглении в период его реконструкции возникла необходимость в разработке новых методов измерения срезки при отсутствии видимости на кривой.

Рассмотрим определение площади и объема срезки аналитическим способом при отсутствии видимости на закруглении с использованием материалов наземной стереофотограмметрической съемки, основанном на математическом описании кривой видимости и препятствия, являющегося помехой для обеспечения нормальной видимости водителям на этом закруглении. Сущность предлагаемого способа заключается в сравнении фотограмметрических координат  $Y_{\phi}$ ,  $Y_\phi$  кривой видимости  $S_0$  и фототеодолитного хода  $j, j_1, j_2$ , проложенного по контуру препятствия.

Площадь срезки  $S_{cp}$  находится как разность двух площадей (см. рис. 1), а именно площади трапеции  $X_{\phi_1} j j_2 X_{\phi_2}$ , ограниченной фототеодолитным ходом, координатами  $Y_{j_1,2}$  соответствующих точек этого хода и осью  $X_{\phi}$  (см. рис. 1) фотограмметрической системы координат минус площадь криволинейной трапеции, представляющей собой контур  $X_{\phi_1} j_1' j_2' X_{\phi_2}$  (см. рис. 1), ограниченный участком кривой видимости, ординатами  $Y_{j_1,2}$  соответствующих точек кривой видимости и осью  $X_{\phi}$ . Площадь срезки в таком случае будет

$$S_{cp}^n = S_{тр} - S_{кр}, \quad (26)$$

где  $S_{cp}^n$  — площадь срезки;  
 $S_{тр}$  — площадь трапеции  $X_{\phi_1} j j_2 X_{\phi_2}$  (см. рис. 1);  
 $S_{кр}$  — площадь криволинейной трапеции  $X_{\phi_1} j_1' j_2' X_{\phi_2}$  (см. рис. 1).

Площадь трапеции  $X_{\phi_1} j j_2 X_{\phi_2}$  (см. рис. 1) для нормального случая съемки будет равна

$$S_{тр} = \frac{Y_{\phi_1} + Y_{\phi_2}}{2} (X_{\phi_1} - X_{\phi_2}). \quad (27)$$

Подставляя координаты точек препятствия, измеренные на фотоснимке и их продольные параллаксы в формулу (27) вместо  $X_{\phi_1}, Y_{\phi_1}, X_{\phi_2}, Y_{\phi_2}$ , получим

$$S_{тр} = \frac{b_{\phi}^2 f_k (p_{j_2} + p_{j_1}) (x_{1j_2} p_{j_1} - x_{1j_1} p_{j_2})}{2 p_{j_1}^2 p_{j_2}^2}, \quad (28)$$

где  $x_{1j_1}, x_{1j_2}$  — координаты точек  $j_1$  и  $j_2$  препятствия, измеренные на фотоснимке;  
 $p_{j_1}, p_{j_2}$  — продольные параллаксы точек  $j_1$  и  $j_2$ .

Площадь криволинейной трапеции  $X_{\phi_1} j_1' j_2' X_{\phi_2}$  (см. рис. 1) можно определить по формуле

$$S_{кр} = \int_{\phi_1}^{\phi_2} Y(\varphi) X'(\varphi) d(\varphi), \quad (29)$$

где  $Y(\varphi)$  — уравнение кривой видимости;  
 $\phi_1, \phi_2$  — углы, соответствующие дугам  $j, j_1$  и  $j_1', j_2'$ ;

$S$  — площадь криволинейной трапеции;  
 $X'(\varphi)$  — производная по параметру  $\varphi$ .

Уравнение кривой видимости  $Y(\varphi)$  можно представить в виде

$$Y(\varphi) = \frac{C3D2 - D3C2}{C1D2 - D1C2}, \quad (30)$$

где

$$C3 = R_i^r [\sin \varphi + (\beta - \varphi) \cos \varphi] \quad (31)$$

$$D2 = \cos \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right); \quad (32)$$

$$D3 = R_i^r (\varphi - \beta) \cos \left( \frac{\varphi}{2} \right); \quad (33)$$

$$C2 = - \left[ 2 \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right) \sin \left( 2 - \frac{\varphi}{2} \right) + (\beta - \varphi) \sin \alpha \right]; \quad (34)$$

$$D1 = \sin \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right); \quad (35)$$

$$C1 = 2 \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right) \cos \left( \alpha - \frac{\varphi}{2} \right) + (\beta - \varphi) \cdot \cos \alpha. \quad (36)$$

В формулах (31) — (36) введены обозначения:  
 $\alpha$  — угол поворота кривой;  
 $\varphi$  — угол, опирающийся на дугу  $j_1', j_2'$ , равную  $S$ ;  
 $\beta$  — угол, опирающийся на дугу  $jHK$ , равный  $S_0$ .

Угол  $\varphi$  — переменный, так как опирается на дугу  $S$ , которая может изменяться и быть меньше величины расстояния видимости, т. е.  $S < S_0$ , а угол  $\varphi$  может изменяться в пределах  $0^\circ \leq \varphi \leq \beta$ .

Значение угла  $\beta$ , соответствующего дуге  $S_0$ , можно получить по формуле

$$\beta = \arctg \left( \frac{S_0}{R_i^r} \right). \quad (37)$$

Величину угла  $\varphi$  можно определить из выражения

$$\varphi = \arctg \left( \frac{S}{R_i^r} \right). \quad (38)$$

Подставляя в формуле (38) вместо  $S$  его значение, имеем

$$\varphi = \arctg \left[ \frac{B_{\phi} \sqrt{(x_{1j_2} p_{j_1} - x_{1j_1} p_{j_2})^2 + f_k^2 (p_{j_1} - p_{j_2})}}{R_i^r p_{j_1} p_{j_2}} \right]. \quad (39)$$

Величину  $X'(\varphi)$  можно найти по следующей формуле

$$X'(\varphi) = \frac{[C1'D3 + C1D3' - D1'C3 - D1C3'] DE}{DE^2} - \frac{(C1D3 - D1C3) DE'}{DE^2}, \quad (40)$$

$$\text{где } C1' = \cos (\varphi - \alpha) - \cos \alpha; \quad (41)$$

$$D3' = R_i^r \left[ \cos \left( \frac{\varphi}{2} \right) - \frac{1}{2} (\beta - \varphi) \sin \left( \frac{\varphi}{2} \right) \right]; \quad (42)$$



$$D1' = -\frac{1}{2} \cos\left(2 - \frac{\varphi}{2}\right); \quad (43)$$

$$C3' = -R_i' (\beta - \varphi) \sin \varphi; \quad (44)$$

$$DE' = C1'D2 + C1D2' - D1'C2 - D1C2'; \quad (45)$$

$$D2' = -\frac{1}{2} \sin\left(\alpha - \frac{\varphi}{2}\right), C2' = 2 \sin \alpha. \quad (46)$$

На основании приведенных зависимостей (28) — (40) можно представить формулу (26) в общем виде для вычисления полной площади срезки  $S_{cp}$ , которая будет иметь вид

$$S_{cp} = \sum_{i=1}^n S_{cp}^n, \quad (47)$$

где  $n$  — количество элементарного участка срезки можно найти по формуле

$$V_{cp}^n = S_{cp}^n (z_{\phi}^n - i), \quad (48)$$

где  $V_{cp}^n$  — объем срезки;  $z_{\phi}^n$  — среднее значение фотограмметрической координаты  $z_{\phi}$  для участка срезки;

$i$  — высота луча зрения водителя (1,2 м).

Среднее значение величины  $z_{\phi}$  для участка срезки равно

$$z_{\phi}^n = \frac{z_1 + z_2 + \dots + z_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n z_m}{n}, \quad (49)$$

где  $z_m$  — координаты точек  $n$ , измеренные на фотоснимке;  $n$  — номер точки измеряемой величины  $z_n$ .

Формула (49) после подстановки в нее значения фотограмметрической координаты для участка срезки примет вид

$$z_{\phi}^n = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{B_{\phi} z_1}{P}}{n}. \quad (50)$$

Величина элементарного объема срезки  $V_{cp}^n$  в окончательном виде после подстановки  $S_{cp}^n$  вместо  $z_{\phi}^n$  из выражения (26) в формулу (31) составляет

$$V_{cp}^n = \frac{S_{cp}^n \left( \sum_{i=1}^n \frac{B_{\phi} z_1}{P} - 1, 2 \right)}{n}. \quad (51)$$

Полный объем всей срезки можно получить из зависимости

$$V_{cp} = \sum_{i=1}^n V_{cp}^n, \quad (52)$$

где  $n$  — количество элементарных срезок.

Оценку точности по определению величин площади и объема срезки методом наземной стереофотограмметрии можно выполнить по следующим формулам:

$$m_{S_{cp}} = 2m_y \sqrt{\frac{y_j^2 x_{1j}^2}{f_k^2} + \Delta x_j^2} \quad (53)$$

и

$$m_{V_{cp}} = m_y \sqrt{S_{cp}^2 m_z^2 z_{\phi}^n m_{cp}^2}. \quad (54)$$

Таким образом, материалы наземной стереофотограмметрической съемки позволяют получить объективную и качественную информацию о лесовозной автомобильной дороге и перенести трудоемкие измерительные операции в камеральный процесс.

## Выводы

В результате проведенных исследований по определению видимости на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги получены зависимости для определения величины расстояния видимости методом наземной стереофотограмметрии, применительно к горизонтальным кривым в плане дороги; выполнена оценка точности определения расстояния видимости по материалам наземной стереофотограмметрии. В случае отсутствия видимости на горизонтальных кривых автомобильных дорог предложены зависимости для определения площади и объема срезки, а также установлены зависимости для оценки точности выполненных измерений.

## Список литературы

- [1] Логойда В.С., Тихомиров П.В., Никитин В.В., Букреев В.Ю., Саблин С.Ю. Анализ точности индивидуального прогнозирования // Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, Воронеж, 12–13 ноября 2019 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2019. С. 330–335.
- [2] Белокуров В.П., Дорохин С.В. Транспортная психология. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, 2016. 329 с.
- [3] Жалко М.Е., Бургутдинов А.М., Бурмистрова О.Н., Ченушкина С.В., Данилов В.В. Разработка методов повышения транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог, работающих в сложных природно-климатических условиях // Деревообрабатывающая промышленность, 2022. № 1. С. 10–17.
- [4] Миронюк В.П., Фиалкин В.В. Анализ основных направлений развития САПР автомобильных дорог для реализации концепции жизненного цикла автомобильных дорог // САПР и ГИС автомобильных дорог, 2014. № 1 (2). С. 31–35.

- [5] Кравченко В.Е., Самцов В.В., Тихомиров П.В., Никитин В.В., Болгнев Д.Е., Мацнев М.В. Анализ влияния погодных-климатических факторов на системы комплекса водитель — автомобиль — дорога — среда // Молодежный вектор развития аграрной науки. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2019. С. 125–132
- [6] Кривко Е.В. Технико-экономическая оценка проектируемых геометрических элементов автомобильной дороги // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета, 2020. № 2 (43). С. 155–166.
- [7] Бурмистров Д.В., Высоцкая И.А., Денисенко В.В., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В. Характеристики вероятностных зависимостей и законы развития параметров модели организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения. Материалы Международ. науч.-практ. конф., Воронеж, 24–25 ноября 2020 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2020. С. 281–285.
- [8] Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Абасов М.А., Никитин В.В., Самцов В.В. Влияние погодных-климатических факторов на системы комплекса «водитель — автомобиль — дорога — среда» // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология, 2019. № 1. С. 30–36.
- [9] Бойков В.Н., Петренко Д.А., Люст С.Р., Скворцов А.В. Система автоматизированного проектирования автомобильных дорог INDORCAD/ROAD // Вестник Томского государственного университета, 2003. № 280. С. 350–353.
- [10] Ращупкин С.В., Исаченков В.С. Технико-экономический анализ транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог // Тр. Белорус. государственного технологического университета. Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2003. № 11. С. 150–153.
- [11] Рахимова И.А., Филиппов М.Д. Совершенствование требований к геометрическим элементам автомобильных дорог на участках с автоматическими пунктами весогабаритного контроля // Дороги и мосты. 2021. № 2 (46). С. 31–52.
- [12] Мануковский А.Ю., Кожанова Е.А., Востриков Д.А. Воздействие лесовозных автомобильных дорог на экологию // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. Т. 6. № 7 (43). С. 305–309.
- [13] Гоптарев С.М., Морковин В.А., Попов Н.С. Инновационные методы строительства временных лесовозных автомобильных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2020. Т. 8. № 3 (50). С. 28–35.
- [14] Karelina M.Yu., Pospelov P.I., Trofimenko Yu.V., Terentyev A.V., Tatashev A.G., Yashina M.V. Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions // T-Comm, 2021, t. 15, no. 11, pp. 61–68.
- [15] Тихомиров П.В., Швецова В.В., Саранов И.А., Сапелкин Р.С., Брюховецкий А.Н., Щербаков Е.Д. Определение геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог по средствам современных IT-технологий // Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы Нац. науч.-практ. конф., Воронеж, 10 марта – 23 апреля 2020 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2022. С. 134–157.
- [16] Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высш. шк., 1991. 366 с.
- [17] Prokopets V.S., Skrypnikov A.V., Volodina Yu.Yu., Boykov P.A., Bondarev A.B., Borovlev Yu.A. Influence of the strength of the road structure on the resistance to movement // Теория и практика инновационных технологий в АПК. Материалы Нац. науч.-практ. конф., Воронеж, 19–21 апреля 2022 г. Воронеж: Изд-во Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, 2022. С. 168–186
- [18] Кузнецов Ю.В., Исмайл У.Г. Современные средства оперативного контроля состояния автомобильных дорог — необходимый элемент интеллектуальных транспортных систем // Наука и техника в дорожной отрасли, 2021. № 2 (96). С. 16–18.
- [19] Морозов П.И. Проектирование и планирование обустройства лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал, 2011. № 2. С. 36–41
- [20] Бездельникова О.А., Шепелева Л.В. Расчет объемов дорожной одежды при ремонте автомобильных дорог в INDORCAD/ROAD // Вестник МГСУ, 2022. Т. 17. № 5. С. 655–662.
- [21] Мануковский А.Ю., Ржевская Е.А., Востриков Д.А. Особенности дренажных конструкций при проектировании лесовозных автомобильных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2018. Т. 6. № 7 (43). С. 237–240.
- [22] Рыбников П.С. Обеспечение видимости на примыканиях лесовозных автомобильных дорог // Лесотехнический журнал, 2012. № 3 (7). С. 70–80.
- [23] Бабков В.Ф. Ландшафтное проектирование автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1980. 189 с.
- [24] Tao C., Qi J., Wang H., Li H., Li Y. Spatial information inference net: road extraction using road-specific contextual information // ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. Т. 158. С. 155–166.
- [25] Гарус И.А., Огар П.М., Рунова Е.М. Теоретическое обоснование оценки транспортно- эксплуатационных качеств лесовозной автомобильной дороги по показателю маршрутной скорости движения // Системы. Методы. Технологии, 2020. № 3 (47). С. 88–94.

## Сведения об авторах

**Тихомиров Петр Викторович** — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой транспортно-технологических машин и сервиса, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет» (БГИТУ), vtichomirov@mail.ru

**Скряпников Алексей Алексеевич** — студент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), aleksei-skrypnikov@inbox.ru

**Володина Юлия Юрьевна** — преподаватель, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), juliya\_volodina@mail.ru

**Боровлев Юрий Алексеевич** — канд. техн. наук, докторант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), borovlev-yua@yandex.ru

**Картавцев Олег Леонидович** — экстерн кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), oll\_kart@mail.ru

**Мирзоев Джавид Джаван-оглы** — экстерн кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), mirzoev-d@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.12.2022.

Одобрено после рецензирования 12.03.2023.

Принята к публикации 14.06.2023.

## DETERMINATION OF FOREST LOGGING ROAD VISIBILITY BY GROUND-BASED STEREOPHOTOGRAMMETRY

P.V. Tikhomirov<sup>1</sup>, A.A. Skrypnikov<sup>2</sup>, Yu.Yu. Volodina<sup>2</sup>,  
Yu.A. Borovlev<sup>2</sup>, O.L. Kartavtsev<sup>2</sup>, D.D. Mirzoev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bryansk State Engineering Technological University, 3, Stanke Dimitrov Avenue, 241037, Bryansk, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution av., 394036, Voronezh, Russia

juliya\_volodina@mail.ru

The article describes a method for determining the visibility on the roundings of logging roads based on the materials of ground-based photo and video recording. The essence of this method is to compare the spatial photogrammetric coordinates of the points of the visibility zone. The obstacle zone and the visibility zone are considered in the same photogrammetric coordinate system, and the design center of this system coincides with the left end of the photovideo recording basis. Studies are given to determine the magnitude of the visibility distance on the horizontal curves of logging roads in the presence of an obstacle in relation to the normal case of shooting. Measures to improve traffic conditions on the roundings of logging roads in the event of a complete or partial lack of visibility are also considered. In the course of the research, dependences were obtained to determine the value of the visibility distance by the method of ground-based stereophotogrammetry, in relation to horizontal curves in the road plan; the assessment of the accuracy of determining the distance of visibility based on the materials of ground-based stereophotogrammetry was carried out. In the case of lack of visibility on the horizontal curves of roads, dependencies are proposed to determine the area and volume of the cut, and dependencies are established to assess the accuracy of the measurements performed.

**Keywords:** logging road, reconstruction, visibility, curves, ground stereophotogrammetric survey

**Suggested citation:** Tikhomirov P.V., Skrypnikov A.A., Volodina Yu.Yu., Borovlev Yu.A., Kartavtsev O.L., Mirzoev D.D. *Opredeleeniye vidimosti v plane lesovoznoy avtomobil'noy dorogi metodom nazemnoy stereofotogrammetrii* [Determination of forest logging road visibility by ground-based stereophotogrammetry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 159–171. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-159-171

## References

- [1] Logoyda V.S., Tikhomirov P.V., Nikitin V.V., Bukreev V.Yu., Sablin S.Yu. *Analiz tochnosti individual'nogo prognozirovaniya* [Analysis of the accuracy of individual forecasting]. *Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov* [Innovative technologies and technical means for the agro-industrial complex: materials of the international scientific and practical conference of young scientists and specialists], Voronezh, November 12–13, 2019, pp. 330–335.
- [2] Belokurov V.P., Dorokhin S.V. *Transportnaya psikhologiya* [Transport psychology]. Voronezh: VGLTU, 2016, 329 p.
- [3] Zhalko M.E., Burgonutdinov A.M., Burmistrova O.N., Chenushkina S.V., Danilov V.V. *Razrabotka metodov povysheniya transportno-eksploatatsionnykh pokazateley lesovoznykh avtomobil'nykh dorog, rabotayushchikh v slozhnykh prirodno-klimaticheskikh usloviyakh* [Development of methods for improving the transport and operational performance of logging roads operating in difficult natural and climatic conditions]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking Industry], 2022, no. 1, pp. 10–17.

- [4] Mironyuk V.P., Fialkin V.V. *Analiz osnovnykh napravleniy razvitiya SAPR avtomobil'nykh dorog dlya realizatsii kontseptsii zhiznennogo tsikla avtomobil'nykh dorog* [Analysis of the main directions of development of CAD for roads for the implementation of the concept of the life cycle of roads]. CAD and GIS of roads, 2014, no. 1 (2), pp. 31–35.
- [5] Kravchenko V.E., Samtsov V.V., Tikhomirov P.V., Nikitin V.V., Boltnev D.E., Matsnev M.V. *Analiz vliyaniya pogodno-klimaticheskikh faktorov na sistemy kompleksa voditel' — avtomobil' — doroga-sreda* [Analysis of the influence of weather and climate factors on the systems of the complex driver — car — road-environment]. Molodezhnyy vektor razvitiya agrarnoy nauki [Youth vector of development of agrarian science]. Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2019, pp. 125–132.
- [6] Krivko E.V. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka proektiruemykh geometricheskikh elementov avtomobil'noy dorogi* [Technical and economic assessment of the designed geometric elements of the highway]. Vestnik Inzhenernoy shkoly Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta [Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University], 2020, no. 2 (43), pp. 155–166.
- [7] Burmistrov D.V., Vysotskaya I.A., Denisenko V.V., Bryukhovetskiy A.N., Nikitin V.V. *Kharakteristiki veroyatnostnykh zavisimostey i zakony razvitiya parametrov modeli organizatsii i planirovaniya ritmichnogo stroitel'stva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Characteristics of probabilistic dependencies and laws of development of the parameters of the model for organizing and planning the rhythmic construction of logging roads]. Nauka i obrazovanie na sovremennom etape razvitiya: opyt, problemy i puti ikh resheniya. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Science and education at the present stage of development: experience, problems and ways to solve them. Proceedings of the international scientific and practical conference], Voronezh, November 24–25, 2020, 2020, pp. 281–285.
- [8] Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Abasov M.A., Nikitin V.V., Samtsov V.V. *Vliyanie pogodno-klimaticheskikh faktorov na sistemy kompleksa «voditel' — avtomobil' — doroga — sreda»* [Influence of weather and climatic factors on the systems of the complex «driver — car — road — environment»]. Transport. Transportnye sooruzheniya. Ekologiya [Transport. Transport facilities. Ecology], 2019, no. 1, pp. 30–36.
- [9] Boykov V.N., Petrenko D.A., Lyust S.R., Skvortsov A.V. *Sistema avtomatizirovannogo proektirovaniya avtomobil'nykh dorog INDORCAD/ROAD* [Computer-aided design of highways INDORCAD/ROAD]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Tomsk State University], 2003, no. 280, pp. 350–353.
- [10] Rashchupkin S.V., Isachenkov V.S. *Tekhniko-ekonomicheskyy analiz transportno-ekspluatatsionnykh pokazateley lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Technical and economic analysis of transport and operational indicators of logging roads]. Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 2. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost' [Proceedings of the Belarusian State Technological University. Series 2. Forestry and woodworking industry], 2003, no. 11, pp. 150–153.
- [11] Rakhimova I.A., Filippov M.D. *Sovershenstvovanie trebovaniy k geometricheskim elementam avtomobil'nykh dorog na uchastkakh s avtomaticheskimi punktami vesogabaritnogo kontrolya* [Improving the requirements for the geometric elements of highways in areas with automatic points of weight and size control]. Dorogi i mosty [Roads and bridges], 2021, no. 2 (46), pp. 31–52.
- [12] Manukovskiy A.Yu., Kozhanova E.A., Vostrikov D.A. *Vozdeystvie lesovoznykh avtomobil'nykh dorog na ekologiyu* [The impact of logging roads on the environment]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, v. 6, no. 7 (43), pp. 305–309.
- [13] Goptarev S.M., Morkovin V.A., Popov N.S. *Innovatsionnye metody stroitel'stva vremennykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Innovative methods for the construction of temporary logging roads]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2020, v. 8, no. 3 (50), pp. 28–35.
- [14] Karelina M.Yu., Pospelov P.I., Trofimenko Yu.V., Terentyev A.V., Tatashv A.G., Yashina M.V. *Mathematical models for traffic flows on highways with intersections and junctions*. T-Comm, 2021, t. 15, no. 11, pp. 61–68.
- [15] Tikhomirov P.V., Shvetsova V.V., Saranov I.A., Sapelkin R.S., Bryukhovetskiy A.N., Shcherbakov E.D. *Opreделение geometricheskikh elementov lesovoznykh avtomobil'nykh dorog po sredstvam sovremennykh IT-tekhnologiy* [Determination of the geometric elements of logging roads using modern IT-technologies]. Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK. Materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference], Voronezh, March 10–April 23, 2020 Voronezh: Voronezh State Agrarian University. Emperor Peter I, 2022, pp. 134–157.
- [16] Isachenko A.G. *Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rayonirovanie* [Landscape science and physical-geographical zoning]. Moscow: Higher School, 1991, 366 p.
- [17] Prokopets V.S., Skrypnikov A.V., Volodina Yu.Yu., Boykov P.A., Bondarev A.B., Borovlev Yu.A. *Influence of the strength of the road structure on the resistance to movement. Teoriya i praktika innovatsionnykh tekhnologiy v APK. Materialy natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Theory and practice of innovative technologies in the agro-industrial complex. Proceedings of the National Scientific and Practical Conference], Voronezh, April 19–21, 2022. Voronezh: Voronezh State Agrarian University Emperor Peter I, 2022, pp. 168–186.
- [18] Kuznetsov Yu.V., Ismayl U.G. *Sovremennyye sredstva operativnogo kontrolya sostoyaniya avtomobil'nykh dorog — neobkhodimyy element intellektual'nykh transportnykh sistem* [Modern means of operational control of the state of roads — a necessary element of intelligent transport systems]. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli [Science and technology in the road industry], 2021, no. 2 (96), pp. 16–18.
- [19] Morozov P.I. *Proektirovanie i planirovanie obustroystva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Design and planning of the arrangement of logging roads]. Lesotekhnicheskyy zhurnal [Lesotechnical journal], 2011, no. 2, pp. 36–41.
- [20] Bezd'el'nikova O.A., Shepeleva L.V. *Raschet ob'emov dorozhnoy odezhdyy pri remonte avtomobil'nykh dorog v INDORCAD/ROAD* [Calculation of the volume of pavement during the repair of roads in INDORCAD / ROAD]. Vestnik MGSU, 2022, v. 17, no. 5, pp. 655–662.
- [21] Manukovskiy A.Yu., Rzhhevskaya E.A., Vostrikov D.A. *Osobennosti drenazhnykh konstruksiy pri proektirovanii lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Features of drainage structures in the design of logging roads]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2018, v. 6, no. 7 (43), pp. 237–240.
- [22] Rybnikov P.S. *Obespechenie vidimosti na primykaniyakh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Ensuring visibility at the junctions of logging roads]. Lesotekhnicheskyy zhurnal [Forestry Engineering Journal], 2012, no. 3 (7), pp. 70–80.

- [23] Babkov V.F. *Landshaftnoe proektirovanie avtomobil'nykh dorog* [Landscape design of highways]. Moscow: Transport, 1980, 189 p.
- [24] Tao C., Qi J., Wang H., Li H., Li Y. Spatial information inference net: road extraction using road-specific contextual information. *ISPRS J. of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019, v. 158, pp. 155–166.
- [25] Garus I.A., Ogar P.M., Runova E.M. *Teoreticheskoe obosnovanie otsenki transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesovoznoy avtomobil'noy dorogi po pokazatelyu marshrutnoy skorosti dvizheniya* [Theoretical justification for assessing the transport and operational qualities of a logging road in terms of route speed]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 2020, no. 3 (47), pp. 88–94.

## Authors' information

**Tikhomirov Petr Viktorovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Transport and Technological Machines and Service of the Bryansk State Engineering Technological University, vtichomirov@mail.ru

**Skrypnikov Aleksey Alekseevich** — student, Voronezh State University of Engineering Technologies, aleksei-skrypnikov@inbox.ru

**Volodina Yuliya Yur'evna** ✉ — Lecturer, Voronezh State University of Engineering Technologies, juliya\_volodina@mail.ru

**Borovlev Yuriy Alekseevich** — Cand. Sci. (Tech.), doctoral student, Voronezh State University of Engineering Technologies, borovlev-yua@yandex.ru

**Kartavtsev Oleg Leonidovich** — external student of the Department of Information Security, State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Engineering Technologies», oll\_kart@mail.ru

**Mirzoev Dzhavid Dzhavan-ogly** — external student of the Department of Information Security, Voronezh State University of Engineering Technologies, mirzoev-d@yandex.ru

Received 14.12.2022.

Approved after review 12.03.2023.

Accepted for publication 14.06.2023.

---

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article  
The authors declare that there is no conflict of interest