

Производственно-экспериментальные исследования по определению геометрических элементов существующих лесовозных автомобильных дорог

П.В. Тихомиров^{1a}, И.А. Саранов^{2b}, О.Н. Тверитнев^{3c}, А.В. Скрыпников^{3d},
А.Б. Бондарев^{4e}, А.Ю. Жук^{5f}

¹ Брянский государственный инженерно-технологический университет, б. 50 лет Октября, 7, Брянск, Россия

² Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр. Революции, 19, Воронеж, Россия

³ Военно-воздушная академия им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, ул. Старых Большевиков, 54а, Воронеж, Россия

⁴ Липецкий государственный технический университет, ул. Московская, 30, Липецк, Россия

⁵ Братский государственный университет, ул. Макаренко, 40, Братск, Россия

^a vtichomirov@mail.ru, ^b mr.saranov@mail.ru, ^c olegtveritnev@mail.com,

^d skrypnikovvsafe@mail.ru, ^e abbondarev@mail.ru, ^f lpf@brstu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-9510-5168>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-8183-0393>,

^d <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-7721-3651>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

Статья поступила 14.10.2022, принята 01.11.2022

Авторами получены зависимости для определения параметров наземной стереофотограмметрической съемки применительно к реконструируемым участкам лесовозных автомобильных дорог. С целью установления возможности ее применения при определении транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных дорог были выполнены многочисленные экспериментальные работы на лесовозных автодорогах, определены радиусы горизонтальных кривых геодезическим методом и методом наземной стереофотограмметрии. Были определены продольный и поперечный уклоны проезжей части по материалам наземной стереофотограмметрии. Получены математические зависимости, по которым можно рассчитать величины S_0 для различных случаев расположения автомобиля на закруглении, при различных значениях радиусов и углов поворота кривых. Материалы наземной стереофотограмметрии позволяют производить измерения S_0 достаточно точно, в камеральных условиях. Это является отличительной особенностью и преимуществом данного метода.

Ключевые слова: наземная стереофотограмметрия; лесовозные автомобильные дороги; участки дорог Республики Коми; базис фото-, видеофиксации; фототеодолитный снимок; угол Ψ^0 ; радиусы горизонтальных кривых; геодезический метод; метод наземной стереофотограмметрии; продольный и поперечный уклоны проезжей части.

Production and experimental studies to determine the geometric elements of existing logging roads

P.V. Tikhomirov^{1a}, I.A. Saranov^{2b}, O.N. Tveritnev^{3c}, A.V. Skrypnikov^{3d},
A.B. Bondarev^{4e}, A.Yu. Zhuk^{5f}

¹ Bryansk State Engineering and Technology University; 7, 50 years of October Blvd., Bryansk, Russia

² Voronezh State University of Engineering Technologies; 19, Revolution Ave., Voronezh, Russia

³ Air Force Academy named after N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin; 54a, Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russia

⁴ Lipetsk State Technical University; 30, Moskovskaya St., Lipetsk, Russia

⁵ Bratsk State University; 40, Makarenko St., Bratsk, Russia

^a vtichomirov@mail.ru, ^b mr.saranov@mail.ru, ^c olegtveritnev@mail.com,

^d skrypnikovvsafe@mail.ru, ^e abbondarev@mail.ru, ^f lpf@brstu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0003-4708-0645>, ^b <https://orcid.org/0000-0002-9510-5168>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-8183-0393>,

^d <https://orcid.org/0000-0003-1073-9151>, ^e <https://orcid.org/0000-0001-7721-3651>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-1808-245X>

In the article, the dependences for determining the parameters of ground-based stereophotogrammetric survey in relation to the reconstructed sections of logging roads are obtained. In order to establish the possibility of its application in determining the transport and operational indicators of logging roads, numerous experimental works have been carried out on logging roads, the radii of horizontal curves have been determined by geodetic and ground-based stereophotogrammetry. The longitudinal and transverse slopes of the roadway are determined based on ground stereophotogrammetry. The mathematical dependences are given, according to which it is possible to calculate the values of S_0 for various cases of the location of the car on a rounding, for various values of the radii and angles of rotation of the curves. Materials of ground-based stereophotogrammetry make it possible to measure S_0 quite accurately, in laboratory conditions. This is a distinctive feature and advantage of this method.

Keywords: ground-based stereophotogrammetry; logging roads; road sections of the Republic of Komi; basis of photo-video fixation; phototheodolite image; angle Ψ^0 ; radii of horizontal curves; geodetic method; ground stereophotogrammetry method; longitudinal and transverse slopes of the carriageway.

В теоретической части на основании проведенных исследований и принятых некоторых допущений получены зависимости для определения параметров наземной стереофотограмметрической съемки применительно к реконструируемым участкам лесовозных автомобильных дорог, обусловленные различной точностью получения численной информации о них, а также различными геоморфологическими условиями расположения участков дорог на местности [3].

Теоретический анализ не всегда возможен без определения некоторых параметров путем натуральных, экспериментальных исследований. Поэтому возникает необходимость в выполнении экспериментальных исследований, позволяющих проверить достоверность и вносить в них соответствующие коррективы.

Принятый метод исследований включает, наряду с теоретическими разработками, проведение массовых натуральных, экспериментальных исследований, способствующих всестороннему изучению закономерностей использования материалов наземной стереофотограмметрии при реконструкции участков лесовозных автомобильных дорог.

Частными задачами натуральных, экспериментальных исследований по обследованию лесовозных автомобильных дорог методом наземной стереофотограмметрической съемки для целей реконструкции явились:

- исследования по определению геометрических элементов лесовозных автомобильных дорог методом наземной стереофотограмметрии;
- исследования по определению технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог по материалам наземной стереофотограмметрической съемки;
- исследования по использованию стереоскопической модели местности для составления профилей существующих лесовозных автомобильных дорог по материалам наземной стереофотограмметрии;
- исследования по определению деформации покрытия лесовозных автомобильных дорог методом наземной стереофотограмметрии;
- исследования по уточнению основных параметров наземной стереофотограмметрической съемки при обследованиях лесовозных автомобильных дорог;
- исследования по выбору направления базиса фотографирования для аналитической обработки материалов наземной стереофотограмметрической съемки.

Экспериментальные исследования проводились по единой методике, особенностями которой было следующее:

- с целью установления взаимосвязи между параметрами съемки и определяемыми элементами и показателями дорог были использованы одни и те же материалы съемки для решаемых задач;

- натурные, экспериментальные исследования проводились на различных в геоморфологическом отношении участках лесовозных автомобильных дорог;
- при выборе участков лесовозных автомобильных дорог для определения геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик исходили из условия отсутствия других дорожных и природных факторов, способных в той или иной мере оказать влияние на фактическую точность получаемых результатов измерений [7].

Экспериментальные исследования по определению геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог были проведены с использованием материалов наземной стереофотограмметрической съемки на участках дорог Республики Коми [14].

Участки лесовозных автомобильных дорог, где проводились экспериментальные исследования, выбирались от 100 до 1 000 м и должны были удовлетворять следующим условиям:

- участки лесовозных автомобильных дорог с максимальными уклонами и минимальными радиусами кривых;
- выполнение работ при минимальном количестве транспортных средств на проезжей части лесовозной автомобильной дороги;
- участки дорог, не имеющие значительных помех для выполнения съемочных работ;
- съемочные работы выполнялись при хорошем естественном освещении по всему участку дороги;
- покрытие проезжей части дороги — асфальтобетон, черный щебень, в зимнее время года — зимник;
- состояние кромок покрытия и обочин дороги — удовлетворительное;
- погода — ясная, пасмурная.

Натурные, экспериментальные исследования проводились для сравнения одновременно с существующей методикой и предлагаемой, с использованием материалов наземной стереофотограмметрической съемки. При выполнении экспериментальных исследований с целью определения геометрических элементов и технико-эксплуатационных характеристик лесовозных автомобильных дорог была использована методика, изложенная в гл. 2 данной работы.

Особое внимание при проведении экспериментальных исследований было уделено вопросу направления базиса фото-, видеофиксации с последующей аналитической обработки материалов съемки, а также определению рационального положения его по отношению к направлению дороги, подлежащей обследованию. При аналитическом способе материалов съемки положение базиса фотографирования определяется углом Ψ^0 , который может изменяться в пределах $0^0 \leq \Psi \leq 90^0$. Так как от направления v_ϕ (величина угла Ψ^0) зависит точность

последующих результатов измерений, что очень важно при обследовании лесовозных автомобильных дорог с целью их реконструкции, то в результате экспериментальных исследований необходимо установить предельные значения угла Ψ^0 и определить его рациональное положение базиса фото-, видеофиксации. При аналитической обработке материалов наземной стереофотограмметрии был выполнен путем сравнения точности получаемых результатов измерений и продвижения полевых работ применительно к каждой конкретно решаемой задаче.

Применение материалов наземной стереофотограмметрии при производстве изыскательских работ на существующих участках лесовозных автомобильных дорог, подлежащих реконструкции, позволит повысить информационную емкость о полосе лесовозной автомобильной дороги, а фототеодолитный снимок, являясь одновременно фотодокументом, позволит получить достоверные результаты экспериментальных исследований.

При реконструкции лесовозных автомобильных дорог повышаются технические нормативы проектирования дорожного полотна в соответствии с новой, более высокой технической категорией будущей лесовозной автомобильной дороги [17]. Это, в свою очередь, предъявляет повышенные требования к геометрическим элементам и технико-эксплуатационным показателям лесовозных автомобильных дорог. Материалы изысканий лесовозных автомобильных дорог зачастую являются единственным источником информации о

существующей лесовозной автомобильной дороге, поэтому качество проектных решений будет находиться в прямой зависимости от точности результатов измерений. Применение материалов наземной стереофотограмметрии в комплексе с современными компьютерными технологиями позволит повысить качественную сторону изыскательских работ, что в условиях реконструкции лесовозных автомобильных дорог является очень важным.

С целью установления возможности применения наземной стереофотограмметрии при определении транспортно-эксплуатационных показателей лесовозных автомобильных дорог авторами были выполнены многочисленные экспериментальные работы на лесовозных автомобильных дорогах. Так, в частности, на автомобильной дороге Щельяюр — Усть-Цильма 21-37 км были определены радиусы горизонтальных кривых 1000–600 м геодезическим и методом наземной стереофотограмметрии. Величины радиусов были взяты из данных проектной документации на этот участок лесовозной автомобильной дороги, а измерительные и вычислительные операции были выполнены геодезическим методом и методом наземной стереофотограмметрии. Результаты сравнительных исследований по определению радиусов горизонтальных кривых геодезическим методом и методом наземной стереофотограмметрии приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Определение радиусов горизонтальных кривых геодезическим методом

№ измерений, n	Радиус измеренный	Уклонение, V_R	V_R^2
1	2	3	4
Радиус горизонтальной кривой $R = 100$ м			
1	100,00	–1,08	1,16
2	100,72	–0,46	0,21
3	102,91	1,73	2,99
4	102,02	0,84	0,70
5	101,47	0,29	0,08
6	101,72	0,54	0,29
7	100,88	–0,30	0,09
8	100,30	–0,88	0,77
9	100,98	–0,20	0,04
10	100,70	–0,48	0,23
Среднее арифметическое значение $R_0 = 101,18$		+3,40 –3,40 0,00	6,26
Радиус горизонтальной кривой $R = 200$ м			
1	198,60	–2,25	5,06
2	198,58	–2,27	5,15
3	202,89	2,04	4,16
4	198,63	–2,22	4,93
5	202,50	1,65	2,72
6	201,79	0,94	0,88
7	202,75	1,90	3,61
8	201,05	0,20	0,04

№ измерений, n	Радиус измеренный	Уклонение, V_R	V_R^2
9	202,59	1,74	3,03
10	199,12	-1,73	2,99
R_0	200,85	+8,47 -8,47	$\sum V_R^2 = 32,56$
m_R^{100}	$\pm 1,34_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 400 м			
1	400,42	-4,76	22,66
2	407,90	2,72	7,40
3	408,31	3,13	9,79
4	406,03	0,95	0,72
5	401,25	-3,93	15,44
6	402,92	-2,26	5,11
7	406,32	1,14	1,30
8	404,35	-0,83	0,64
9	408,52	3,34	11,15
10	405,78	0,60	0,36
R_0	405,18	+11,78 -11,78	$\sum V_R^2 = 74,56$
m_R	$\pm 2,03_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 600 м			
1	601,48	1,16	1,34
2	601,27	0,95	0,90
3	602,81	2,49	6,20
4	610,18	9,86	97,22
5	590,48	9,84	96,82
6	604,85	4,53	20,52
7	595,86	-4,46	19,89
8	594,85	-5,47	29,92
9	599,96	-0,36	0,13
10	601,46	1,14	1,30
R_0	600,32	+20,13 -20,13	$\sum V_R^2 = 247,24$
m_R^{600}	$\pm 3,90_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 1 000 м			
1	985,84	-32,88	1 081,09
2	986,66	-32,06	1 027,84
3	1 022,03	3,31	10,96
4	1 033,78	15,06	226,80
5	1 039,46	20,74	430,15
6	1 034,80	16,08	258,56
7	1 013,04	-5,68	32,26
8	1 025,00	6,28	39,44
9	1 017,31	-1,41	1,99
10	1 029,28	10,56	111,51
R_0	1 018,72	+72,03 -72,03	$\sum V_R^2 = 3217,62$
m_R^{1000}	$\pm 13,37$	0,00	

Средняя квадратическая погрешность измерения радиуса (m_R^{100}) 100 м составила: $m_R^{100} = \pm 0,59$ м.

Таблица 2. Определение радиусов горизонтальных кривых методом наземной стереофотограмметрии (по модели местности)

№ измерений, n	Радиус измеренный	Уклонение, V_R	V_R^2
1	2	3	4
Радиус горизонтальной кривой R = 100 м			
1	99,97	-0,14	0,02
2	99,97	-0,14	0,02
3	100,37	0,26	0,07
4	100,97	0,86	0,74
5	100,35	0,24	0,06
6	100,12	0,01	0,00
7	99,42	-0,69	0,47
8	99,50	-0,61	0,37

№ измерений, n	Радиус измеренный	Уклонение, V_R	V_R^2
9	100,41	0,30	0,09
10	100,02	-0,09	0,01
R_0	100,11	+1,67 -1,67	0,01 $\sum V_R^2 = 1,85$
m_R^{100}	$\pm 0,32_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 200 м			
1	199,25	-0,13	0,02
2	199,31	-0,07	0,00
3	199,23	-0,15	0,02
4	198,32	-1,06	1,12
5	199,50	0,12	0,01
6	200,94	1,56	2,43
7	199,19	-0,19	0,04
8	199,27	-0,11	0,01
9	198,59	-0,79	0,62
10	200,28	0,90	0,81
R_0	199,38	+2,50 -2,50 0,00	$\sum V_R^2 = 5,08$
m_R^{100}	$\pm 0,32_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 400 м			
1	402,32	-0,50	0,25
2	401,08	-1,74	3,03
3	404,13	1,31	1,72
4	404,07	1,25	1,56
5	403,75	0,93	0,86
6	404,32	1,50	2,25
7	402,79	-0,03	0,00
8	400,65	-2,17	4,71
9	400,94	-1,88	3,53
10	404,14	1,32	1,74
R_0	402,82	+6,32 -6,32	$\sum V_R^2 = 19,64$
m_R^{400}	$\pm 1,09_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 600 м			
1	603,01	1,89	3,57
2	603,74	2,62	6,86
3	603,96	2,84	7,44
4	601,73	0,61	0,37
5	602,15	1,03	1,06
6	597,15	-3,97	15,76
7	598,13	-2,99	8,94
8	599,06	-2,06	4,24
9	600,11	-1,01	1,02
10	602,16	1,04	1,08
R_0	601,12	+10,03 -10,03	$\sum V_R^2 = 50,34$
m_R^{400}	$\pm 2,79_m$	0,00	
Радиус горизонтальной кривой R = 1 000 м			
1	1 020,60	0,80	0,64
2	1 010,00	-9,80	96,04
3	1 016,21	-3,59	12,89
4	1 018,98	-0,82	0,67
5	1 025,31	5,51	30,36
6	1 030,44	10,64	113,21
7	1 028,53	8,73	76,21
8	1 006,48	-13,32	117,42
9	1 015,44	-4,36	19,01
10	1 026,01	6,21	38,56
R_0	1 019,80	+31,89 -31,89	$\sum V_R^2 = 505,01$

№ измерений, n	Радиус измеренный	Уклонение, V_R	V_R^2
m_R^{1000}	$\pm 5,29 м$	0,00	

Анализ данных табл. 1 и 2 показывает, что предельная погрешность измерения одного и того же радиуса горизонтальной кривой ΔR геодезическим и методом наземной стереофотограмметрии составила:

– для геодезического метода

при $R = 100 м$ $\Delta R = 1,98 м$, что составляет:

2,2 % от R при $R = 200 м$ $\Delta R = 4,31 м$, что составляет:

2,2 % от R при $R = 400 м$ $\Delta R = 8,10 м$, что составляет:

2,0 % от R при $R = 600 м$, $\Delta R = 14,27 м$, что составляет:

2,4 % от R при $R = 1 000 м$, $\Delta R = 53,62 м$, что составляет:

5,4 % от R ;

– для метода наземной стереофотограмметрии

при $R = 100 м$:

$\Delta R = 1,55 м$, что составляет 1,6 % от R при $R = 200 м$,

$\Delta R = 2,35 м$, что составляет 1,2 % от R при $R = 400 м$,

$\Delta R = 3,67 м$, что составляет 0,9 % от R при $R = 600 м$,

$\Delta R = 6,81 м$, что составляет 1,1 % от R при $R = 1 000 м$,

$\Delta R = 23,96 м$, что составляет 2,4 % от R .

Итак, предельная погрешность измерения ΔR для геодезического метода составила 2,8 %, а для метода

наземной стереофотограмметрии — 1,4 %, что позволяет утверждать о возможности использования стереоскопической модели в качестве объекта при измерении радиусов горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог.

Величина m_R в табл. 1 и 2 была получена на основании известной зависимости из [13] как средняя квадратическая погрешность измерения радиусов кривой, вычисленная по уклонениям результатов измерений для ряда равнооточных измерений. Формула среднеквадратической погрешности одного измерения радиуса кривой будет иметь вид:

$$m_R = \pm \sqrt{\frac{|V_R^2|}{n-1}}, \quad (1)$$

где V_R — уклонение измерения радиуса от его среднего арифметического значения, m ; n — количество измерений.

Численные значения m_R для геодезического и метода наземной стереофотограмметрии, полученные в результате обработки экспериментальных данных, сведем в табл. 3 (рис. 1):

Таблица 3. Средние квадратические погрешности измерения R^r геодезическим и методом наземной стереофотограмметрии

Радиус горизонтальной кривой, $м$	Средняя квадратическая погрешность, $m_R, м$	
	Геодезический	Метод НСС
100	0,59	0,32
200	1,34	0,53
400	2,03	1,09
600	3,90	2,79
1 000	13,37	5,29

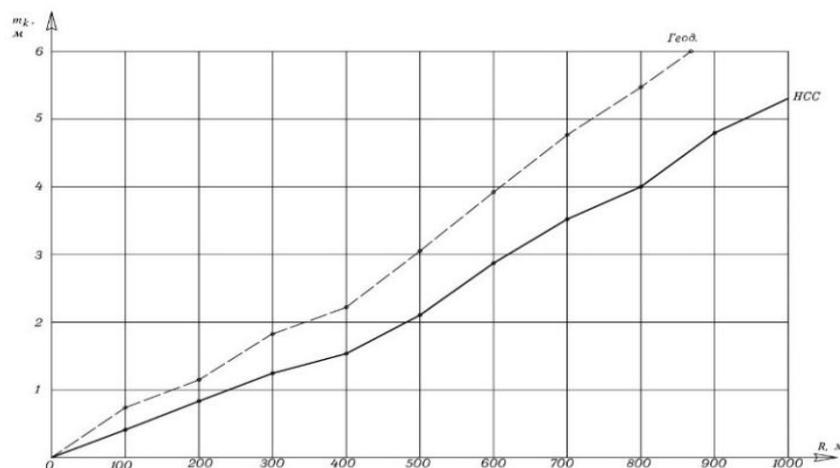


Рис. 1. График зависимости m_R от R

На основании данных, приведенных в табл. 3, установим доверительные интервалы для средних квадратических погрешностей определения радиусов горизонтальных кривых, полученных геодезическим и

методом наземной стереофотограмметрии. Пользуясь доверительной вероятностью $P = 0,95$, определим доверительные интервалы для средних квадратических погрешностей определения радиусов горизонтальных кривых заменой теоретического стандарта выборочной оценкой δ , используя для этой цели распределение Стьюдента для m_R при $P = 0,95$ и $K = 9$. Распределение Стьюдента будет равно:

- для радиуса 100 м: $0,174 \leq \delta \leq 0,322$;
- для радиуса 1 000 м: $2,886 \leq \delta \leq 7,294$.

Анализ обработки результатов экспериментальных исследований показывает, что величины m_R примерно равны между собой, и подтверждает предположение авторов о возможности применения материалов наземной стереофотограмметрии для определения радиусов закруглений лесовозных автомобильных дорог.

Одной из важнейших работ при производстве изысканий на существующих лесовозных автомобильных дорогах является характеристика состояния и промеры ширины части и земляного полотна лесовозной автомобильной дороги. Известно,

что от ширины (продольного и поперечного уклона) покрытия зависит скорость движения, а, следовательно, и пропускная способность лесовозных автомобильных дорог. Выполненные исследования показывают, что эти параметры оказывают большое влияние и на безопасность движения. Поэтому с увеличением интенсивности движения по лесовозным автомобильным дорогам значение таких параметров дорог, как ширина и уклоны покрытия, значительно возрастает. Ширина проезжей части зависит от категории дороги и расчетной скорости движения и строго устанавливается нормативными документами. В соответствии с нормативно-правовыми документами допускаются отклонения фактической ширины усовершенствованных покрытий от проектных значений на 10 см ($\Delta = \pm 10$ см), цементобетонных покрытий — 5 см ($\Delta = \pm 5$ см).

Вычисление ширины проезжей части лесовозной автомобильной дороги выполняли по формуле (8).

Согласно [16] был выполнен контроль измерений полосы движения. Все измерения сведены в табл. 4.

Таблица 4. Измерения ширины проезжей части лесовозной автомобильной дороги по материалам наземной стереофотограмметрии при $v_{\phi} = 2,56$ м, $V = 50$ м

Ширина проезжей части, м			Предельная погрешность, Δ
$L_{i,i+1}$	Контроль измерения		
2	3	4	5
13,996	13,996	13,996	0,004
13,985	13,985	13,985	0,015
13,992	13,992	13,992	0,008
13,980	13,980	13,980	0,020
13,981	13,981	13,981	0,019
13,998	13,998	13,998	0,002
13,988	13,988	13,988	0,012
13,995	13,995	13,995	0,005
13,984	13,984	13,984	0,016
13,999	13,999	13,999	0,001
13,985	13,985	13,985	0,015
$\Delta = 0,010$			

Анализ табл. 4 показывает, что предельная погрешность Δ измерения ширины проезжей части лесовозной автомобильной дороги Щельюр — Усть-Цильма составила 10 мм, а относительная погрешность стереоизмерений равняется 1:1400 (рис. 2). Такая точность измерений не выходит за пределы инструктивных документов, применяемых при производстве топографо-геодезических работ на существующих лесовозных автомобильных дорогах.

На дороге Щельюр — Усть-Цильма были также определены продольный и поперечный уклоны проезжей части по материалам наземной стереофотограмметрии. Для определения уклонов была

использована зависимость (8). В результате выполненных измерений уклонов установлены их фактические значения, а также величины допусков (рис. 3). Все измерения сведены в табл. 5.

Анализ табл. 5 показывает, что величина фактического поперечного уклона составила 14,2 % (ПК1-43,5), продольного — 29,0 % (ПК1-43,5 – ПК2-43,5). Предельная погрешность при определении уклонов дороги по материалам наземной стереофотограмметрии равнялась: для i прод. = 4,5 %, или 0,004, и i попер. 5,0 %, или 0,005, что соответствует действующему строительному допуску (9).

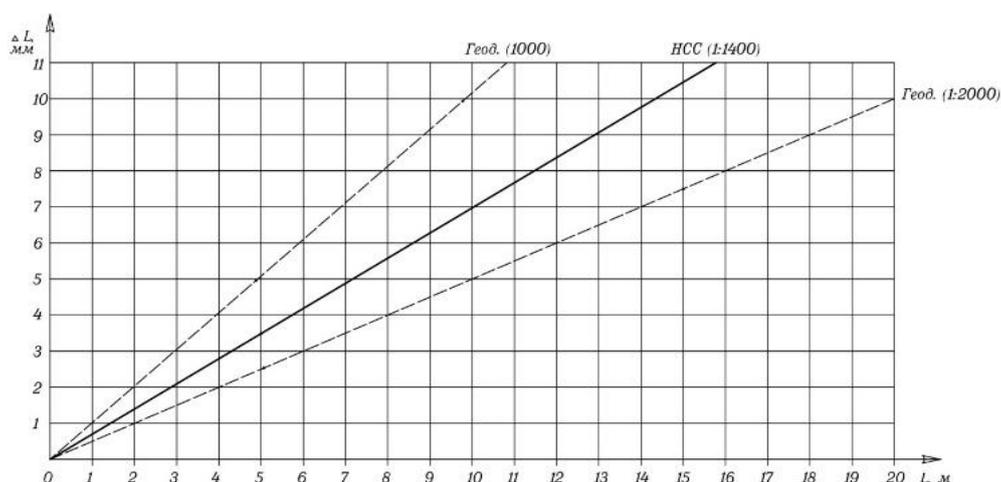
Рис. 2. График зависимости ΔL от L

Таблица 5. Определение поперечных и продольных уклонов проезжей части лесовозной автомобильной дороги по материалам наземной стереофотограмметрии при $\varphi_p = 2,56$ м, $V = 50$ м, попер. — 12 %, прод. — 27 %

Поперечный уклон ПК1–43,5		Продольный уклон ПК1–43,5 ПК2–43,5		Предельная погрешность измерения	
тыс.	%	тыс.	%	попереч., %	прод., %
2	3	4	5	6	7
0,0121	12,1	0,0265	26,5	0,01	0,5
0,0142	14,2	0,0291	29,1	2,2	2,1
0,0156	15,6	0,0250	25,0	3,6	2,0
0,0122	12,2	0,0274	27,4	0,2	0,4
0,0141	14,1	0,0268	26,8	2,1	0,2
0,0170	17,0	0,0270	27,0	5,0	0,0
0,0155	15,5	0,0285	28,5	3,5	1,5
0,0160	16,0	0,0301	30,1	4,0	3,1
0,0129	12,9	0,0310	31,0	0,9	4,0
0,0120	12,0	0,0315	31,5	0,0	4,5

В результате выполненных теоретических исследований по определению величины расстояния видимости на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги при наличии препятствий на них получены математические зависимости, по которым можно рассчитать величины S_0 для различных случаев расположения автомобиля на закруглении, при различных значениях радиусов и углов поворота кривых. С целью получения более достоверных данных для определения величины расстояния видимости на горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог, в отличие от существующих способов, предлагается рассчитывать S_0 аналитическим способом — по материалам

наземной стереофотограмметрической съемки с использованием стереоскопической модели местности, без промежуточного составления плана закругления.

При определении величины расстояния видимости при наличии препятствия на закруглении первостепенное значение имеют требования к точности m_{S_0} . В случае недостаточно точного определения расстояния видимости S_0 можно обосновать неверное проектное решение закругления, подлежащего реконструкции, что, в свою очередь, влечет за собой упрощение или усложнение его, а также увеличение объемов и стоимости земляных работ на закруглении [15].

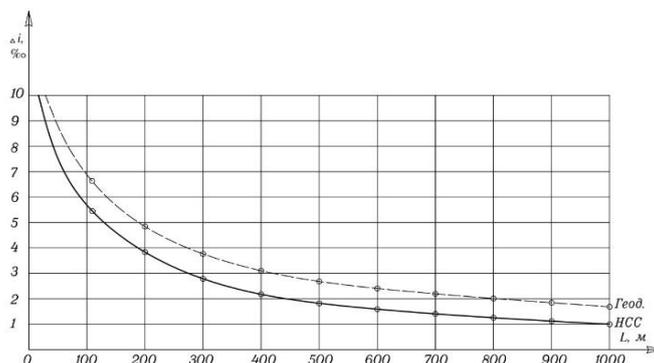


Рис. 3. График зависимости Δi от L

Материалы наземной стереофотограмметрии позволяют получить достоверные и точные данные при расчете расстояния видимости на закруглении; принимая во внимание это обстоятельство, установим величину достаточной точности, необходимой для определения S_0 при реконструкции горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог по формуле:

$$K_{m\phi} = \frac{f_k \cdot (p_m - p_\phi)}{p_m \cdot x_{1\phi} - p_\phi \cdot x_{1m}}, \quad (2)$$

где $x_{1m}, x_{1\phi}$ — координаты точек положения водителя (м) и конца кривой (ϕ) на кривой, измеренные на левом снимке; p_m, p_ϕ — продольные параллаксы точек м и в.

$$S_0 = M_0 + UON = \frac{\phi \cdot x_{1m}}{p_m} + R_i^r \cdot \alpha_2, \quad (3)$$

где S_0 — расстояние видимости; R_i^r — горизонтальный радиус закругления; α_2 — полярный угол точки при $K < K_{mb}$. Анализ формулы (3) показывает, что точность определения расстояния видимости S_0 зависит в основном от точности измерения координат x_1 по снимку, а также продольных параллакс р. Для получения зависимости по оценке точности определения расстояния видимости S_0 про дифференцируем (3) по переменным параметрам ϕ, x_1, p .

В формуле (3) сделаем следующие обозначения: правую часть выражения представим как функцию от ϕ, x_1, p и, принимая дугу ON как прямолинейный участок, будем иметь:

$$S_0 = \frac{\phi \cdot x_{1m}}{p_m}. \quad (4)$$

После дифференцирования (3.2) по b, x, p и учитывая точность линейных измерений по стереоскопической модели местности, получим:

$$dS_0 = \frac{x_1 \cdot db}{p} + \frac{\phi \cdot dx}{p} + \frac{\phi \cdot x \cdot dp}{p^2} \quad (5)$$

Подставляя в формулу (3.3) вместо p его значение и выполнив некоторые преобразования, получим:

$$dS_0 = \left(\frac{Y_{max}^2 \cdot x_1}{f_k^2 \cdot \phi} \right) dp + \left(\frac{Y_{max} \cdot x_1}{f_k \cdot \phi} \right) db + \left(\frac{Y_{max}}{f_k} \right) dx. \quad (6)$$

В формуле (3.4), перейдя к квадратам средних квадратических погрешностей, будем иметь:

$$m_{S_0}^2 = \left(\frac{Y_{max}^2 \cdot x_1}{f_k^2 \cdot \phi} \right)^2 \cdot m_p^2 + \left(\frac{Y_{max} \cdot x_1}{f_k \cdot \phi} \right)^2 \cdot m_b^2 + \left(\frac{Y_{max}}{f_k} \right)^2 \cdot m_x^2 \quad (7)$$

Средняя квадратическая погрешность определения расстояния видимости S_0 на горизонтальных кривых по материалам наземной стереофотограмметрической съемки из формулы (3.5), будет:

$$m_{S_0} = \sqrt{\left(\frac{Y_{max}^2 \cdot x_1}{f_k^2 \cdot \phi} \right)^2 \cdot m_p^2 + \left(\frac{Y_{max} \cdot x_1}{f_k \cdot \phi} \right)^2 \cdot m_b^2 + \left(\frac{Y_{max}}{f_k} \right)^2 \cdot m_x^2} \quad (8)$$

Подставляя в формулу (3.6) вместо $m_x = 0,01$ мм, $m_p = 0,01$ м, $\frac{m_b}{b} = 1/3000$, $x_1 = 80$ мм $Y_{max} = 100$ м, $\phi = 5$ м, получим численное значение средней квадратической погрешности определения расстояния видимости, которое будет равно 6,08 см, а предельное (допустимое) значение Δm_{S_0} равно 18,24 см. Анализ полученной зависимости (3.6) для определения расстояния видимости S_0 на горизонтальных кривых в плане лесовозной автомобильной дороги (рис. 4) показывает, что на точность его в основном влияет величина отстояния Y_{max} и точность измерения координат и параллакс по снимкам. Так как на основании проведенных исследований установлена точность измерения x_1 и p по снимкам (0,01 мм), то доминирующее влияние, следовательно, будут оказывать величины Y_{max} .

Среднеквадратическая погрешность определения S_0 , полученная при $Y_{max} = 100$ м и равная 6 см, является вполне достаточной точностью измерений и не превышает требований строительного допуска при производстве линейных измерений на лесовозных автомобильных дорогах.

Выполнение исследования по определению величины достаточной точности при измерении расстояния видимости на горизонтальных кривых лесовозных автомобильных дорог показывают, что точность m_{S_0} не зависит от длины его, а материалы наземной стереофотограмметрии позволяют производить измерения S_0 с достаточной степенью точности и непосредственно в камеральных условиях, что является преимуществом и отличительной особенностью этого метода в сравнении с существующими.

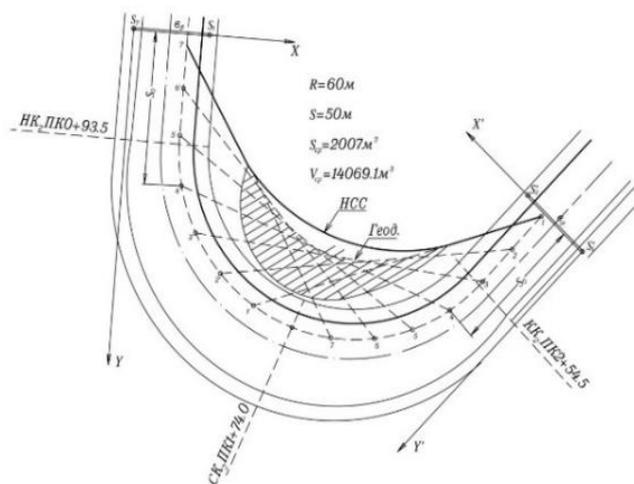


Рис. 4. Схема определения видимости

Литература

1. Саблин С.Ю., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В., Сапелкин Р.С., Тихомиров П.В. Зависимости скорости транспортного потока // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы нац. науч.-практической конф. (29-30 апр. 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 292-299.
2. Логойда В.С., Букреев В.Ю., Дрыга И.А., Тихомиров П.В., Никитин В.В. Исследование работоспособности метода индивидуального прогнозирования // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов (12-13 нояб. 2019 г.). Воронеж, 2019. С. 317-322.
3. Чирков Е.В., Прокопец В.С., Тихомиров П.В., Никитин В.В. Теоретические основы метода оптимизации трассы в перекрестной и горной местности // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов (12-13 нояб. 2020 г.). Воронеж, 2020. С. 232-238.
4. Козлов В.Г. Автоматизированные уровни управления лесовозной автомобильно-дорожной системой // Автоматизация. Современные технологии. 2019. Т. 73. № 1. С. 27-31.
5. Козлов В.Г. Анализ влияния погодных-климатических факторов на системы комплекса водитель-автомобиль-дорога-среда // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов (14-16 нояб. 2018 г.). Воронеж, 2018. С. 324-331.
6. Козлов В.Г., Скрыпников А.В. Взаимодействие систем лесовозного автомобильного транспорта и его информационного обеспечения // Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе: материалы междунар. науч.-практической конф. (15-16 нояб. 2017 г.). Воронеж, 2017. С. 191-197.
7. Козлов В.Г., Скрыпников А.В., Никитин В.В., Тихомиров П.В., Самцов В.В., Методы, модели и алгоритмы проектирования лесовозных автомобильных дорог с учетом влияния климата и погоды на условия движения: моногр. Воронеж, 2019. 336 с.
8. Козлов В.Г., Коноплин А.Н., Скрыпников А.В. Применение графического метода решения при управлении транспортным потоком // Наука вчера, сегодня, завтра: материалы науч.-практической конф. (5-9 сент. 2016 г.). Воронеж, 2016. С. 186-192.
9. Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Саблин С.Ю., Никитин В.В., Самцов В.В., Слюсарев А.В. Количественная оценка влияния характеристик компонентов ландшафта на сложность строительства лесовозных автомобильных дорог // Актуальные направления науч. исследований для эффективного развития АПК: материалы междунар. науч.-практической конф. (27 марта 2020 г.). Воронеж, 2020. С. 244-251.
10. Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В., Кондрашова Е.В. Автоматизированная обработка результатов полевых измерений при оценке геометрических параметров лесовозных автомобильных дорог / Деп. в ВИНТИ № 182 - В2005 08.02.2005. 38 с.
11. Курьянов В.К. Автоматизированный расчет расстояния видимости в плане и профиле // Деп. в ВИНТИ № 1670-В2004 25.10.2004. 18 с.
12. Курьянов В.К., Бурмистрова О.Н., Скрыпников А.В. Анализ расчетных и экспериментальных данных по допустимым скоростям движения // Математическое моделирование, компьютерная оптимизация технологий, параметров оборудования и систем управления лесного комплекса: межвуз. сб. науч. тр. Воронеж: Воронежская гос. лесотехническая акад., 2000. С. 70-75.
13. Курьянов В.К. Повышение удобства и безопасности движения лесовозных автопоездов на кривых малого радиуса // Вестн. Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе Рос. академии естественных наук Воронежской гос. лесотехнической академии. 2002. Т. 4. № 1. С. 178-187.
14. Курьянов В.К., Рябова О.В., Скрыпников А.В., Бурмистрова О.Н. Система повышения транспортно-эксплуатационного уровня автомобильных дорог республики Коми. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. 53 с.
15. Боровлев А.О., Денисенко В.В., Тверитнев О.Н., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В., Тихомиров П.В. Математическая модель центральных проекций трассы лесовозной автомобильной дороги // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы междунар. науч.-практической конф. (8-9 июня 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 235-248.
16. Боровлев А.О., Козлов В.Г., Тихомиров П.В., Логойда В.С. Методология проектирования лесовозных автомобильных дорог // Проблемы ресурсообеспеченности и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы нац. науч.-практической конф. (1 окт. 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 168-175.
17. Саблин С.Ю., Сапелкин Р.С., Тихомиров П.В., Брюховецкий А.Н., Никитин В.В. Определение

- геометрических элементов автомобильных дорог ведомственного назначения // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 72-й нац. науч.-практической конф. студентов и магистрантов (1 апр. - 31 мая 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 282-287.
18. Никитин В.В., Борисов В.А., Акинин Д.В., Сорокин М.А. Проектирование лесовозных и лесохозяйственных дорог. Красноярск, 2018. 118 с.
 19. Скворцова Т.В. Обоснование ресурсных показателей при строительстве лесовозных автомобильных дорог // В мире науч. открытий. 2011. № 9-6 (21). С. 1841-1848.
 20. Скрыпников А.В. Совершенствование теории, методов и моделей повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесовозных автомобильных дорог: дис. ... д-ра техн. наук. Воронеж, 2006. 420 с.
 21. Саблин С.Ю., Никитин В.В., Брюховецкий А.Н., Сапелькин Р.С., Тихомиров П.В. Этапное развитие лесовозных автомобильных дорог // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы нац. науч.-практической конф. (29-30 апр. 2021 г.). Воронеж, 2021. С. 265-277.
 22. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с изменением № 1). М.: Минрегион России, 2013. 67 с.

References

1. Sablin S.YU., Bryuhoveckij A.N., Nikitin V.V., Sapelkin R.S., Tihomirov P.V. Dependences of traffic flow speed // Teoriya i praktika innovacionnyh tekhnologij v APK: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. (29-30 apr. 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 292-299.
2. Logojda V.S., Bukreev V.YU., Dryga I.A., Tihomirov P.V., Nikitin V.V. Study of the performance of the method of individual forecasting // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i specialistov (12-13 noyab. 2019 g.). Voronezh, 2019. P. 317-322.
3. SHirkov E.V., Prokopec V.S., Tihomirov P.V., Nikitin V.V. Theoretical foundations of the route optimization method in cross and mountainous terrain // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i specialistov (12-13 noyab. 2020 g.). Voronezh, 2020. P. 232-238.
4. Kozlov V.G. Automated levels of management of the timber road system // Automation. Modern technologies. 2019. V. 73. № 1. P. 27-31.
5. Kozlov V.G. Analysis of the influence of weather and climate factors on the systems of the complex driver-car-road-environment // Innovacionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i specialistov (14-16 noyab. 2018 g.). Voronezh, 2018. P. 324-331.
6. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V. Interaction of systems of logging road transport and its information support // Problemy razvitiya tekhnologij sozdaniya, servisnogo obsluzhivaniya i ispol'zovaniya tekhnicheskikh sredstv v agropromyshlennom komplekse: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (15-16 noyab. 2017 g.). Voronezh, 2017. P. 191-197.
7. Kozlov V.G., Skrypnikov A.V., Nikitin V.V., Tihomirov P.V., Samcov V.V. Methods, models and algorithms for designing logging roads taking into account the influence of climate and weather on traffic conditions: monogr. Voronezh, 2019. 336 p.
8. Kozlov V.G., Konoplin A.N., Skrypnikov A.V. Application of the graphical solution method in traffic flow control // Nauka vchera, segodnya, zavtra: materialy nauch.-prakticheskoy konf. (5-9 sent. 2016 g.). Voronezh, 2016. P. 186-192.
9. Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Sablin S.YU., Nikitin V.V., Samcov V.V., Slyusarev A.V. Quantitative assessment of the impact of the characteristics of landscape components on the complexity of the construction of logging roads // Aktual'nye napravleniya nauch. issledovaniy dlya effektivnogo razvitiya APK: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (27 marta 2020 g.). Voronezh, 2020. P. 244-251.
10. Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V., Skvorcova T.V., Kondrashova E.V. Automated processing of the results of field measurements in assessing the geometric parameters of logging roads / Dep. v VINITI № 182 - V2005 08.02.2005. 38 p.
11. Kur'yanov V.K. Automated calculation of visibility distance in plan and profile // Dep. v VINITI № 1670-V2004 25.10.2004. 18 p.
12. Kur'yanov V.K., Burmistrova O.N., Skrypnikov A.V. Analysis of calculated and experimental data on allowable speeds of movement // Matematicheskoe modelirovanie, kompyuternaya optimizaciya tekhnologij, parametrov oborudovaniya i sistem upravleniya lesnogo kompleksa: mezhvuz. sb. nauch. tr. Voronezh: Voronezhskaya gos. lesotekhnicheskaya akad., 2000. P. 70-75.
13. Kur'yanov V.K. Improving the convenience and safety of traffic of timber road trains on curves of a small radius // Vestn. Central'no-CHernozemnogo regional'nogo otdeleniya nauk o lese Ros. akademii estestvennyh nauk Voronezhskoj gos. lesotekhnicheskoy akademii. 2002. V. 4. № 1. P. 178-187.
14. Kur'yanov V.K., Ryabova O.V., Skrypnikov A.V., Burmistrova O.N. System for increasing the transport and operational level of highways in the Republic of Komi. Voronezh: Izd-vo VGU, 2005. 53 p.
15. Borovlev A.O., Denisenko V.V., Tveritnev O.N., Bryuhoveckij A.N., Nikitin V.V., Tihomirov P.V. Mathematical model of the central projections of the route of a logging road // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremenom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (8-9 iyunya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 235-248.
16. Borovlev A.O., Kozlov D.G., Tihomirov P.V., Logojda V.S. Methodology for designing logging roads // Problemy resursoobespechennosti i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. (1 okt. 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 168-175.
17. Sablin S.YU., Sapelkin R.S., Tihomirov P.V., Bryuhoveckij A.N., Nikitin V.V. Determination of the geometric elements of departmental roads // Molodezhnyj vektor razvitiya agrarnoy nauki: materialy 72-j nac. nauch.-prakticheskoy konf. studentov i magistrantov (1 apr. - 31 maya 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 282-287.
18. Nikitin V.V., Borisov V.A., Akinin D.V., Sorokin M.A. Design of logging and forestry roads. Krasnoyarsk, 2018. 118 p.
19. Skvorcova T.V. Substantiation of resource indicators in the construction of logging roads // In the world of scientific discoveries. 2011. № 9-6 (21). P. 1841-1848.
20. Skrypnikov A.V. Improvement of the theory, methods and models for improving the transport and operational qualities of logging roads: dis. ... d-ra tekhn. nauk. Voronezh, 2006. 420 p.
21. Sablin S.YU., Nikitin V.V., Bryuhoveckij A.N., Sapelkin R.S., Tihomirov P.V. Staged development of logging roads // Teoriya i praktika innovacionnyh tekhnologij v APK: materialy nac. nauch.-prakticheskoy konf. (29-30 apr. 2021 g.). Voronezh, 2021. P. 265-277.
22. СП 78.13330.2012. Car roads. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 3.06.03-85 (s izmeneniyem № 1). М.: Минрегион России, 2013. 67 p.