

УДК 528.48(075.8)

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА НЕОБХОДИМОЙ ТОЧНОСТИ
ПОСТРОЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ В ДОРОЖНОМ КОМПЛЕКСЕ

С. И. Сушков¹, Л. В. Болотских², А. А. Арзуманов¹, Т. В. Каратаева²

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова»

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный
технический университет»

Email: s.i.sushkov@mail.ru

В ведомственных нормативных документах на изыскания и строительство автомобильных дорог обнаруживаются значительные разногласия к требованиям точности построения высотного обоснования. При этом вне поля зрения остаются требования точности, которые необходимо обеспечивать при последующих разбивочных работах, хотя ясно, что оба вида работ (изыскания и строительство) должны рассматриваться неразрывно друг от друга. Поэтому разработка методики расчета необходимой точности построения высотной сети, для трассы автодороги любой протяженности и определения оптимального расстояния между реперами высотной основы, является актуальной задачей. Рассматривая проблемы точности высотного обоснования строительства дорог, будем исходить из следующих положений:

1 Высотное обоснование создается методом геометрического нивелирования;

2 Допустимое отклонение по высоте от проекта продольного профиля примем не более ± 50 мм [2];

3 Расстояния между реперами, на которые опирается нивелирный ход при построении высотного обоснования, принимаются равными: 25 км – максимальное, 10 км – среднее.

Определим предварительную точность нивелирования, мм:

$$\Delta h = \pm 20\sqrt{L}, \quad (1)$$

где L – протяжённость нивелирного хода, км.

В «расширенном» виде она представлена формулами (2) и (3), в которых добавлен дополнительный член – источник систематической ошибки нивелирования, мм:

$$\Delta h = \pm 20\sqrt{n}, \quad (2)$$

$$\Delta h = \pm 20\sqrt{L} + 2L. \quad (3)$$

Наличие такой ошибки нивелирования отрицать нельзя, она должна учитываться. В формулах (2) и (3) эта ошибка учитывается по разному. Правильному решению задачи, согласно теории ошибок измерений, отвечает формула (3), которой мы будем отдавать предпочтение перед формулой (2).

Формула (4) применяется при построении высотного обоснования в условной системе высот, когда трасса нивелируется в прямом и обратном направлениях или при ее нивелировании двумя бригадами, идущими одна за другой примет вид, мм:

$$\Delta h = \pm 30\sqrt{L}, \quad (4)$$

Во втором случае первая бригада нивелирует все точки по трассе и определяет их отметки, по которым составляется профиль трассы, а результаты нивелирования второй бригады используются в качестве контроля. Таким образом, результаты нивелирования в первом случае контролируются и уравниваются, во втором – контролируются, но не уравниваются, т. е. положение проектного профиля будет получено с меньшей точностью. Это обстоятельство будет учитываться при последующих расчетах.

Пользуясь приведенными формулами, проанализируем надежность положения проектного профиля трассы, полученного в результате изысканий и проектирования. При этом будем иметь в виду, что отметки фиксированных точек профиля получают при проложении нивелирных ходов, которые сопровождаются ошибками измерений. В разомкнутых ходах, опирающихся на пункты с известными высотами, и в ходах, нивелируемых в прямом и обратном направлениях от одного известного репера, эти ошибки проявляются в виде невязки хода Δh и устраняются путем уравнивания. Поскольку систематические ошибки в нивелирном ходе нарастают в среднем пропорционально длине хода, то, распределяя невязку хода, мы одновременно, исключаем из результатов нивелирования и влияние систематических ошибок.

Таким образом, в результате уравнивания остаточная максимальная величина ошибок измерений окажется для разомкнутого хода – в его середине, а для хода опирающегося на один репер при прямом и обратном нивелировании – в его конце и будет выражаться величиной равной половине невязки хода, т. е.:

$$\delta h = \frac{\Delta h}{2} . \quad (5)$$

Если трасса нивелируется двумя бригадами, идущими одна за другой, а отметки вычисляются по результатам первой бригады, то в этом случае ошибки измерений не уравниваются, их максимальная величина будет определяться в конце хода и окажется равной разности сумм превышений, полученных первой и второй бригадами, т. е.:

$$\Delta h = \sum h_1 - \sum h_2 . \quad (6)$$

Результаты расчета надежности положения линии профиля на стадии проектирования, полученные аналитически, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Максимальная ошибка в положении профиля и ее место на трассе

№	Рабочая формула	Условия применения	Длина хода	Δh , мм	Максимальная ошибка	
					Величина, мм	Место
1	$20\sqrt{L}$	Разомкнутый ход	10	63	32	С.х.
			25	100	50	С.х.
2	$30\sqrt{L}$	Ход в прямом и обратном направлении	10	67	67	К.х.
			25	106	106	К.х.
3	$30\sqrt{L}$	Нивелирование двумя бригадами	10	95	95	К.х.
			25	100	100	К.х.
4	$40\sqrt{L}$	Разомкнутый ход	10	126	63	С.х.
			25	200	100	С.х.
5	$\sqrt{400L} + 4L^2$	Разомкнутый ход	10	66	33	С.х.
			25	112	56	С.х.
6	$50\sqrt{L}$	Разомкнутый ход	10	158	79	С.х.
			25	250	125	С.х.
7	$100\sqrt{L}$	Разомкнутый ход	10	158	79	С.х.
			25	250	125	С.х.

Высотная сеть создается методом геометрического нивелирования технической точности с допустимой невязкой, определяемой по формуле [3]:

$$\Delta h = \pm 50\sqrt{L} . \quad (7)$$

Если принять нивелирный ход (трассу) протяженностью $L = 10$ км, то $f_{\text{доп}} = 158$ мм (где $f_{\text{доп}}$ – дополнительная невязка нивелирного хода. После уравнивания хода, его середина – наиболее слабое место и будет содержать ошибку, равную половине указанной $\Delta h = 79$ мм.

Если повторное нивелирование трассы выполнять с той же точностью, с ко-

торой она создавалась, в ее самом слабом месте будет получена такая же ошибка, что и при первоначальном нивелировании, тогда суммарная величина ошибки репера в этом месте относительно первоначальной нивелировки составит:

$$\Delta h = \delta h \sqrt{2} . \quad (8)$$

Если же руководствоваться данными [3], согласно которой допустимые расхождения между проектными отметками точек и отметками, полученными при двойном нивелировании трассы, не должны превышать величины Δh , то суммарная ошибка Δ в слабом месте трассы будет определяться формулой:

$$\Delta = \sqrt{\Delta h_1^2 + \Delta h_2^2} , \quad (9)$$

в которой индексы 1 и 2 относятся к допускам при начальном и повторном нивелировании (допустимую невязку рекомендуется определять по формуле (7)). Значения суммарной ошибки, в миллиметрах, вычисленные по формулам (6) и (7) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Таблица суммарных ошибок

Длина хода <i>L</i> , км	Номера вариантов						
	1	2	3	4	5	6	7
10	45	95	134	89	47	112	224
25	71	150	212	141	74	177	354

Полученные результаты анализа показывают, что при существующих нормах точности на построение высотного обоснования лесных дорог, определяемых формулами (1-8) (табл. 1) восстановление проектного профиля трассы может сопровождаться ошибками в несколько раз превышающими допуск на отклонение от проекта земляного полотна и дорожной одежды, который не должен превышать 100 мм.

Этот разрыв к требованиям точности высотного обоснования для строительства лесовозных дорог представляет собой проблему, требующую своего практического разрешения. Выполним разработку методики расчета допустимой невязки хода на нивелирование трасс автодорог в зависимости от их протяженности и заданной конечной точности [4].

Задачу решаем, взяв за основу приведенные выше формулы, обобщенное

выражение которых можно представить в виде:

$$\Delta h = k\sqrt{L}, \quad (10)$$

где k – коэффициент, характеризующий точность нивелирования.

По условию коэффициент k должен быть таким, чтобы проложенный по трассе ход обеспечивал заданную точность нивелирования Δ в наиболее его слабом месте. Для свободного хода величина Δ равна невязке Δh , а для разомкнутого $\Delta = 1/2 \Delta h$. Разбивка земляного полотна и дорожной одежды и последующий контроль исполнения проекта будет осуществляться нивелированием от рабочего репера, установленного в этом месте трассы. Следовательно, общая ошибка Δ выноса проекта будет слагаться из ошибки нивелирования Δ_1 рабочего репера и ошибки Δ_2 нивелирования земляного полотна и дорожной одежды, т. е.:

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}, \quad (11)$$

Для передачи отметки от репера на полотно дороги потребуется проложить короткий нивелирный ход из 2-х-3-х станций, ошибку которого можно определить по формуле:

$$\Delta_2 = 3\text{мм}\sqrt{n}, \quad (12)$$

где n – число станций хода.

Если принять $n = 3$, то $\Delta h = 3\sqrt{3} = 5$ мм. Ошибка Δ_2 по сравнению с допустимым отклонением $\Delta = 50$ мм величина малая, поэтому пренебрегая этой величиной будем отождествлять точность определения отметки репера Δ_1 с допустимым отклонением Δ , т. е. $\Delta_1 = \Delta = 50$ мм. С момента начала изысканий до начала строительства лесной дороги рабочий репер нивелируется дважды. В результате первого нивелирования, когда проектируется профиль дороги, он получает отметку с ошибкой δh_1 при повторном нивелировании рабочий репер, а в случае утраты его дубликат, получит отметку с ошибкой δh_2 . Следовательно, после двух нивелировок вынос в натуру проектного профиля будет выполняться с ошибкой:

$$\Delta = \sqrt{\delta h_1^2 + \delta h_2^2}. \quad (13)$$

При равнозначности обеих нивелировок, когда $\delta h_1 = \delta h_2$, получим:

$$\Delta h = \delta h\sqrt{2} \quad (14)$$

Таким образом, ошибка определения отметки рабочего репера должна быть не более величины определяемой по формуле (15), мм:

$$\delta h = \frac{\Delta}{\sqrt{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}} = 35, \quad (15)$$

а невязка разомкнутого хода, согласно формуле (15), будет в два раза больше, т. е.

$$\Delta h = 2\delta h = 2 \cdot 35 = 70. \quad (16)$$

При проложении хода двумя бригадами, когда отметки точек профиля вычисляются по результатам первой бригады, невязка хода (разность превышений, полученных первой и второй бригадами) должна быть в два раза меньше, т. е. $\Delta h = \delta h = 35$ мм, следовательно точность проложения нивелирного хода должна быть в два раза выше. Задаваясь допуском Δh на невязку хода, можно по формуле (10) определить точность, с которой необходимо прокладывать нивелирный ход, протяженностью L км:

$$k = \frac{\Delta h}{\sqrt{L}}. \quad (17)$$

В соответствии с этим выбираются необходимые приборы и уточняется методика нивелирования. На рисунке 2 приведены графики зависимости точности проложения нивелирного хода от его длины, рассчитанные по формуле (17).

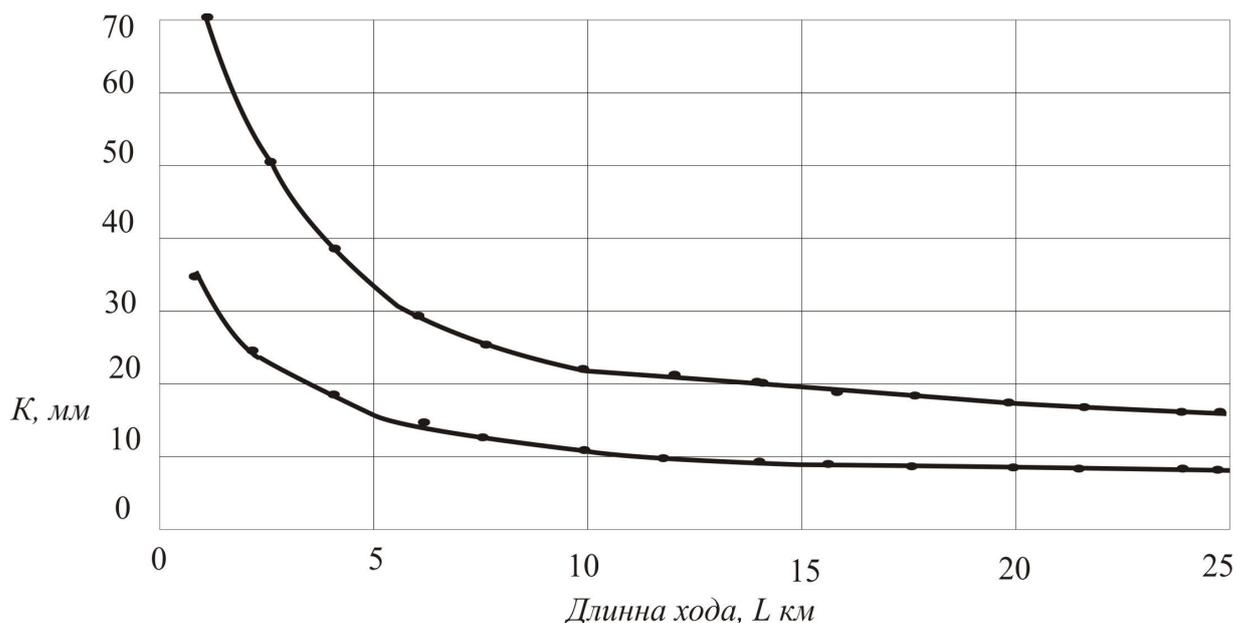


Рисунок 1 – График изменения параметра k

Вывод: разработанная методика расчета точности построения высотного обоснования позволяет определять предельно допустимую длину трассы при заданной точности геодезических работ и, наоборот, зная протяженность трассы рассчитать такую точность нивелирования, которая обеспечивала заданную точность на построение, как высотного обоснования, так и на производство детальных разбивочных работ.

Библиографический список

- 1 [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://lesprominform.ru/jarchive/articles/itemprint/2128>. – Загл. с экрана.
- 2 Курошев, Г. Д. Геодезия и топография [Текст] : учеб. / Г. Д. Курошев, Л. Е. Смирнов. – М., 2006. – 176 с.
- 3 Кемниц, Ю. В. Теория ошибок измерений [Текст] / Ю. В. Кемниц. – М., Недра, 1967. – 350 с.
- 4 Курьянов, В. К. Автомобильные дороги [Текст] : учеб. пособие / В. К. Курьянов, Д. Н. Афоничев; Федеральное агентство по образованию, ГОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2007. – 284 с.