

П. В. ПАВЛИВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ОШИБОК ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ, ЗАВИСИМЫХ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПРЕВЫШЕНИЙ

В советской и иностранной геодезической литературе [1, 6], а также в решениях Международной геодезической ассоциации [1] неоднократно подчеркивается необходимость дальнейших исследований ошибок геометрического нивелирования, зависящих от особенностей действия различных факторов.

Если ошибки, зависящие от длины ходов, в некоторой степени исследованы (установлена функциональная зависимость таких ошибок от длины ходов, имеется ряд формул многих авторов для определения средних квадратических случайных и систематических ошибок [2], по которым определялись их значения для всей нивелирной сети Советского Союза и других стран), то ошибки, зависящие от величины превышений, остаются до сих пор мало изученными.

Сложность механизма накопления ошибок, зависящих от величины превышений, объясняется непрерывностью изменения условий нивелирования. Такое непрерывное изменение условий нивелирования часто приводит к значительной компенсации указанных ошибок вследствие чего появились противоречивые выводы разных исследователей относительно характера действия и механизма накопления основных источников ошибок, зависящих от величины превышений. Среди таких трех основных источников ошибок, как 1) наклон реек, 2) разность температур во время компарирования реек и нивелирования, 3) нивелирная рефракция, особого внимания заслуживает последний.

Если относительно характера накопления ошибок, зависящих от первых двух источников, получены функциональные зависимости, выражающие характер действия этих источников, подтверждающиеся экспериментальными исследованиями, то относительно третьего источника этого сказать нельзя. В советской и зарубежной геодезической литературе имеется очень много сложных формул для определения величины, характеризующей влияние нивелирной рефракции. Однако экспериментальные исследования показывают, что ошибки величины определенных по указанным формулам, намного превышают абсолютные их значения [6]. Следовательно, функциональной зависимости, на основании которой с необходимой точностью можно было бы определять величины ошибок, зависящих от величины превышений, пока не установлено.

Учитывая то обстоятельство, что в настоящее время уже имеется большой практический материал, полученный на производстве, для определения средних значений величин, характеризующих влияние того или другого фактора, можно использовать методы математической статистики.

Целесообразность привлечения математической статистики для решения указанной задачи подтверждается еще и тем, что даже по таким широко применяемым формулам, как формулы для определения средних квадратических случайных и систематических ошибок нивелирования, зависящих от длины ходов [5], невозможно установить точность результатов нивелирования и даже хода накоплений систематических ошибок. Значения, получаемые по этим формулам, имеют ценность в том смысле, что позволяют сравнивать различные нивелировки в отношении тщательности их выполнения и степени устранения влияния систематических ошибок [6].

Известно, что сравнивать различные нивелировки в отношении тщательности их выполнения и степени устранения влияния систематических ошибок можно и по результатам, получаемым после обработки данных методами математической статистики. Кроме того, методы математической статистики дают такие характеристики, которые невозможно получить по ранее применяемым формулам. Особенности действия тех или других факторов на механизм накопления ошибок можно установить, используя методы математической статистики, сгруппировав результаты измерений по отдельным признакам.

Нивелирование I, II и III класса обычно выполняют в прямом и обратном направлениях. Разности превышений прямых и обратных ходов характеризуют особенности совместного действия и механизма накопления всех источников ошибок, действовавших при этом нивелировании.

Для исследования ошибок, зависящих от величины превышений, и выявления из общей разности превышений прямых и обратных ходов d той части, которая зависит от превышений, группирование d можно произвести по величине сумм превышений h и таким образом установить силу корреляционной связи между d и h по коэффициенту корреляции r и среднее значение накопления ошибок, зависящих от величины превышений ϑ_h , характеризующее особенности влияния h на величину d .

Так, при исследовании результатов нивелирования второго класса, продолженного вдоль рек [3], общей протяженностью 2804 км, выявлена прямолинейная корреляционная связь между средней квадратической ошибкой ε (получаемой на основании d) и средним значением h на 1 км хода, выражаемая зависимостью

$$\varepsilon = a + bh,$$

где b — коэффициент, характеризующий степень возрастания $\vartheta_h = bh$, а следовательно, и ε с увеличением h ; a — среднее значение той части ε , которая зависит от других факторов.

В результате получено, что при $\varepsilon = 1,56$ мм, $a = +1,47$ мм, $b = +0,13$, $m_b = \pm 0,01$, $r_h = +0,63$ и $m_r = \pm 0,04$.

Таким образом, установлено, что при $h = 1$ м среднее значение накопления ошибок, зависящих от величины превышений, на 1 км хода в данном случае составляет

$$\vartheta_h = b \cdot h = +0,13 \pm 0,01 \text{ мм.}$$

Учитывая то обстоятельство, что при высокоточном нивелировании действие ряда источников ошибок, по сравнению с нивелированием других классов, сведено к минимуму, а действие такого источника как превышение для определенных условий остается практически не-

измененным, дальнейшее исследование ошибок, зависимых от величины превышений, произведено по результатам нивелирования первого класса.

Материалами для исследования послужили результаты высокоточного нивелирования, проложенного вдоль железных дорог тремя исполнителями и тремя различными комплектами инструментов. Результаты этого нивелирования соответствуют точности нивелирования первого класса и помещены в «Сборнике научно-технических отчетов...» [4].

В результате исследований, произведенных в соответствии с ранее примененной методикой [3] по материалам нивелирования трех исполнителей, получено $b = 0,13 \pm 0,96$.

Анализ материалов высокоточного нивелирования, приведенных в «Сборнике научно-технических отчетов...» [4], не дал возможности установить причину такого значительного возрастания параметра b по сравнению с нивелированием второго класса, проложенным вдоль рек. В связи с тем, что нивелирование первого класса прокладывают главным образом вдоль железных дорог, для установления причины такого значительного возрастания ошибок, зависимых от величины превышений при производстве нивелирования первого класса, летом 1966 г. на участке железной дороги между станциями Вилкоп—Берегово в Закарпатской области были произведены экспериментальные исследования.

С этой целью по юго-западной обочине указанного участка железнодорожного полотна в августе был проложен нивелирный ход в прямом и обратном направлениях с соблюдением требований нивелирования I класса. Нивелирование производилось по двум рядам костылей, предварительно забитых и вкопанных ниже уровня земли. Один ряд костылей был забит вблизи балласта железнодорожного полотна, а второй — ближе к откосу на покрытой травой части бровки в среднем на расстоянии 0,8 м от первого. Балласт железнодорожного полотна состоял из крупной щебенки и за время дня в солнечную погоду настолько нагревался, что излучение тепла в значительной степени продолжалось даже после захода солнца. Средняя разность температур воздуха для визирных лучей по двум рядам костылей в солнечную погоду составляла в среднем $0^\circ,2$.

В результате обработки материалов экспериментальных исследований согласно ранее примененной методике [3] получено: по ходу, проложенному вблизи балласта железнодорожного полотна, $r_k = +0,93$, $m_r = \pm 0,02$, $b = +0,80$ и $m_b = \pm 0,05$, то есть при $h = 1$ м

$$\vartheta_h = b \cdot h = +0,80 \pm 0,05 \text{ мм},$$

а по ходу, проложенному по костылям, забитым ближе к откосу, $r_k = +0,46$, $m_r = \pm 0,12$, $b = +0,32$ и $m_r = \pm 0,07$, то есть при $h = 1$ м

$$\vartheta_h = b \cdot h = +0,32 \pm 0,07 \text{ мм}.$$

Полученные результаты дают основание утверждать, что решающим фактором, действующим в таком случае на особенности накопления ошибок, зависимых от величины превышений, является подстилающая поверхность. Следовательно, причина более активного накопления ϑ_h при высокоточном нивелировании вдоль железных дорог по сравнению с накоплением ϑ_h при нивелировании второго класса, проложенном вдоль рек, заключается в более сильном нагревании и излучении тепла не покрытой травой подстилающей поверхности, за счет чего происходит неодинаковое нагревание воздуха на

различном расстоянии от нее визирного луча, что и способствует повышению действию нивелирной рефракции.

Произведенный анализ накоплений ошибок, зависящих от величины превышений, в трех отдельных случаях раскрывает особенности характера и механизма накоплений исследуемых ошибок в нивелирных ходах значительной протяженности, то есть ходах, прокладываемых в производственных условиях.

Учитывая результаты исследований, можно в каждом конкретном случае более правильно выбирать трассу и время производства работ и таким образом повышать точность и совершенствовать методику геометрического нивелирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иордан В., Эггерт О., Кнейсель М. Прецизионное и тригонометрическое нивелирование. Госгеолтехиздат, М., 1963.
2. Павлив П. В. Об оценке точности нивелирования вдоль рек по разностям превышений прямых и обратных ходов. Сборник «Инженерная геодезия», вып. 3. «Будівельник», К., 1966.
3. Павлив П. В. Исследование ошибок, зависящих от превышений при нивелировании вдоль рек. Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 5. Межведомственный республиканский научно-технический сборник. Изд-во Львовского ун-та, Львов, 1966.
4. Сборник научно-технических отчетов по работам бывшего Главного геодезического управления за 1927 г. Главная редакция геологоразведочной и геодезической литературы, М., 1936.
5. Чеботарев А. С. Оценка точности результатов нивелирования. Труды ЦНИИГАиК, вып. 85. Геодезиздат, М., 1951.
6. Энтин И. И. Высоточное нивелирование. Труды ЦНИИГАиК, вып. 111. Геодезиздат, М., 1956.

Работа поступила
11 декабря 1967 г.