

УДК 528.422 (094.7)

*Е.Л. Соболева, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников*

СГГА, Новосибирск

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕФРАКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫМИ НИВЕЛИРАМИ

В статье приведены результаты исследования влияния вертикальной рефракции на нивелирование с помощью цифровых нивелиров. Результаты исследований показывают, что при выполнении высокоточного нивелирования с применением цифровых нивелиров наблюдается гораздо меньшее влияние вертикальной рефракции на отсчеты по рейкам, чем при выполнении нивелирования нивелиром с оптическим микрометром даже при высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 см.

*E.L. Soboleva, N.M. Ryabova, V.G. Salnikov*

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

## INVESTIGATION OF REFRACTION EFFECT ON DIGITAL LEVELING RESULTS

The paper presents the results as concerns investigation of vertical refraction effect on digital leveling. According to the research the effect of vertical refraction on the rod reading is less in case of high-precision digital leveling as compared with that of optical micrometer, even with the collimating ray height over the surface being 50 cm.

Одним из основных источников ошибок при выполнении высокоточного нивелирования является влияние вертикальной рефракции. Исследованию этого влияния посвящен целый ряд работ зарубежных и отечественных авторов, в том числе и сотрудников ЦНИИГАиК [2,3]. Степень и характер влияния вертикальной рефракции на одиночный визирный луч при геометрическом нивелировании с применением нивелира с оптическим микрометром достаточно хорошо изучены. Для уменьшения этого влияния на результаты высокоточного нивелирования в нормативном документе [1] оговорены требования для выполнения нивелирования. Так при нивелировании I класса высота визирного луча над подстилающей поверхностью должна быть не менее 0,8 м, а при длине визирного луча до 25 м она может быть уменьшена до 0,5 м. При нивелировании II класса высота должна быть не менее 0,5 м, а при длине визирного луча до 30 м она может быть уменьшена до 0,3 м. При этом необходимо отметить, что регламентируемая высота визирного луча над подстилающей поверхностью установлена из расчёта того, что нивелирование

выполняется, в основном, в солнечную погоду, когда влияние рефракции проявляется в большей степени.

Кроме высокоточного государственного нивелирования I и II классов, выполняемого в чисто полевых условиях, оно также выполняется в городах и на промышленных площадках, где общие условия его производства часто существенно отличаются между собой. Например, высокоточное нивелирование в городах производится в условиях влияния вибрации на нивелир от движущегося транспорта, а визирный луч может проходить над разной подстилающей поверхностью даже на одной нивелирной станции: твёрдый грунт, травяной покров, асфальт, бетонное покрытие. На промышленных площадках визирный луч также проходит над разной подстилающей поверхностью, включая различные трубопроводы и элементы строительных конструкций.

Указанные условия выполнения измерений имеют место и при выполнении нивелирования цифровыми нивелирами. Кроме того, с учётом принципа работы этих нивелиров влияние вертикальной рефракции на получаемые результаты следует ожидать несколько иным, чем при выполнении измерений оптическими нивелирами. В цифровом нивелире понятие визирного луча несколько иное, чем в оптическом нивелире.

При выполнении нивелирования оптическими нивелирами отсчитывание по рейке P (рис. 1,а) производится горизонтальной визирной осью Ob.

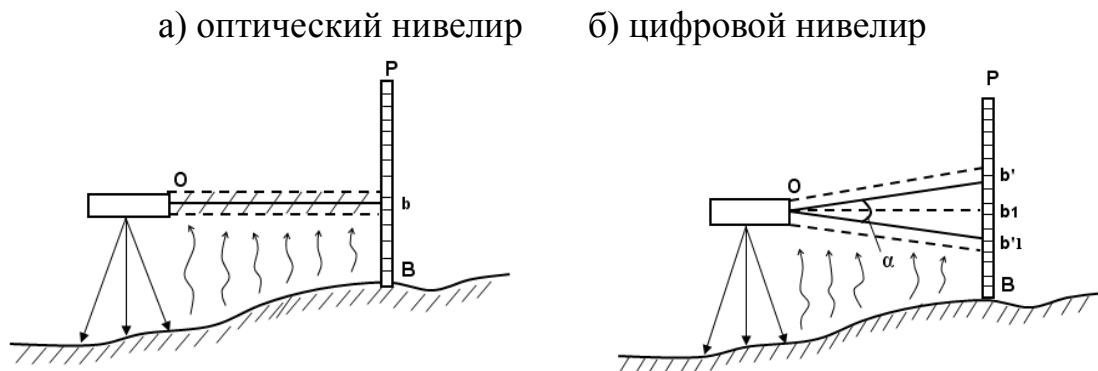


Рис. 1. Принцип взятия отсчета по рейке

В этом случае влияние вертикальной рефракции на отсчет «b» по рейке будет происходить слоем воздуха, расположенным по направлению визирной оси и ниже нее. Если нивелирование выполняется цифровыми нивелирами, то отсчитывание (считывание штрих-кода) производится угловым  $d$  полем зрения (рис. 1,б). В этом случае если предположить, что высота Bb визирного луча оптического нивелира и Bb<sub>1</sub> цифрового будут одинаковы, то тем не менее во втором случае лучи Ob' и Ob'<sub>1</sub>, образующие угол  $\alpha$ , будут находиться на разных высотах относительно подстилающей поверхности. Следовательно, при одинаковом горизонте инструмента и равных условиях влияние рефракции на луч Ob и на пучок лучей в угловом секторе  $\alpha$  будет разным.

В связи с этим считаем необходимым привести результаты наших исследований по влиянию вертикальной рефракции на результаты

нивелирования, выполняемого цифровыми нивелирами, которые, на наш взгляд, будут способствовать внесению дополнений в существующий нормативный документ [1].

Для определения степени этого влияния нами были выполнены исследования для следующих характеристик подстилающей поверхности: травяной покров высотой 5-10см и твёрдое покрытие в виде смеси песка и щебня. Исследования выполнялись в июне-сентябре 2008-2010гг. при следующих метеорологических условиях: *в солнечную погоду, при переменной облачности, в пасмурную погоду иногда при небольших кратковременных дождях*. Температура воздуха находилась (изменялась) в пределах  $+6^{\circ}\text{C} \div +28^{\circ}\text{C}$ ; резкие порывы ветра отсутствовали. Для выполнения измерений применялись нивелиры Dini 12.

Перед началом исследований были предприняты меры по ослаблению основных ошибок нивелирования, таких как влияния перемещения наблюдателя на положение системы «цифровой нивелир-штрих-кодовая рейка», ослабления влияния наклона штрих-кодовых реек, исключения попадания засветок от лучей Солнца в объектив нивелира и др.

Профиль подстилающей поверхности был равнинный, а также имеющий уклон (подъём в сторону рейки). Исследования включали в себя две программы.

*Первая программа.* При реализации первой программы определялось влияние рефракции на изменения отсчёта по штрих-кодовой рейке в течение всего дня при расстоянии до неё 15, 30 и 50м и высоте визирного луча над подстилающей поверхностью для каждого из этих расстояний 50 и 70 см. Ежедневно, перед началом измерений и по их окончании определялось значение угла  $i$ .

*Исследования при солнечной погоде и переменной облачности.*

Измерения при солнечной погоде и переменной облачности выполнялись в июне и июле и начинались спустя 10-15 мин после восхода Солнца и заканчивались также за 10-15 мин до его захода. Температура в утренние часы была равна  $10 \div 16^{\circ}\text{C}$ , а в вечерние  $20 \div 27^{\circ}\text{C}$ . Осадки в данный период были кратковременными и незначительными. Общий период выполнения измерений 18 дней (10 дней травяной покров и 8 дней твёрдое покрытие). Высота визирного луча над подстилающей поверхностью устанавливалась подбором формы рельефа и изменением горизонта нивелира. Отсчёт по рейке состоял из трёх последовательных отсчётов с последующим их осреднением, интервал между получением осреднённых отсчётов был равен 6-7мин. Первый осреднённый отсчёт принимался как исходный. Результаты исследований следующие.

1. *Расстояние 15 м.* На равнинном участке (превышения между нивелиром и рейкой были в пределах 0,2-0,3 м) для обоих типов подстилающей поверхности при высоте визирного луча 50 см после восхода Солнца в течение 1,0-1,5 часа наблюдается увеличение отсчётов по рейке на 0,04-0,15 мм. Затем увеличение отсчётов прекращается и в течение дня наблюдаются изменение отсчётов практически симметрично относительно среднего положения. Перед заходом Солнца наблюдается уменьшение отсчётов практически на такую же

величину. При высоте визирного луча 70 см для обоих типов подстилающей поверхности увеличения отсчётов по рейке не превышало 0,12 мм. Затем также в течение дня наблюдаются изменения отсчётов практически симметрично относительно среднего положения. Перед заходом Солнца также наблюдается уменьшение отсчётов практически на такую же величину.

На наклонном участке (превышения между нивелиром и рейкой были в пределах 1,2-1,4 м) изменения отсчётов по рейке были практически такими же.

2. *Расстояние 30 м.* При данном расстоянии для травяного покрова на равнинном участке увеличение (в дальнейшем и уменьшение) отсчётов по рейке в периоды восхода и захода Солнца было в пределах 0,18-0,26 мм, а для твёрдого покрытия 0,24-0,32 мм. Для наклонного участка в утренние и вечерние часы наблюдалось изменение отсчётов примерно на 20-30% больше, чем на равнинном участке. В течение дня также наблюдалось практически симметричное изменение отсчётов по рейке относительно среднего положения. Увеличение высоты визирования до 70 см практически не приводит к изменению характера и величины изменения отсчётов.

3. *Расстояние 50 м.* При данном расстоянии для травяного покрова и для твёрдого покрытия на равнинном участке увеличение (уменьшение) отсчётов по рейке в периоды восхода и захода Солнца было в пределах 0,46-0,68 мм, а на наклонном участке 0,52-0,76 мм. Также в течение дня наблюдалось практически симметричное изменение отсчётов по рейке относительно среднего положения. Увеличение высоты визирования до 70 см также практически не приводит к изменению характера и величины изменения отсчётов. Осреднённый график изменения отсчётов для интервалов в 1 час при солнечной погоде и переменной облачности для всех дней наблюдений приведен на рис. 2.

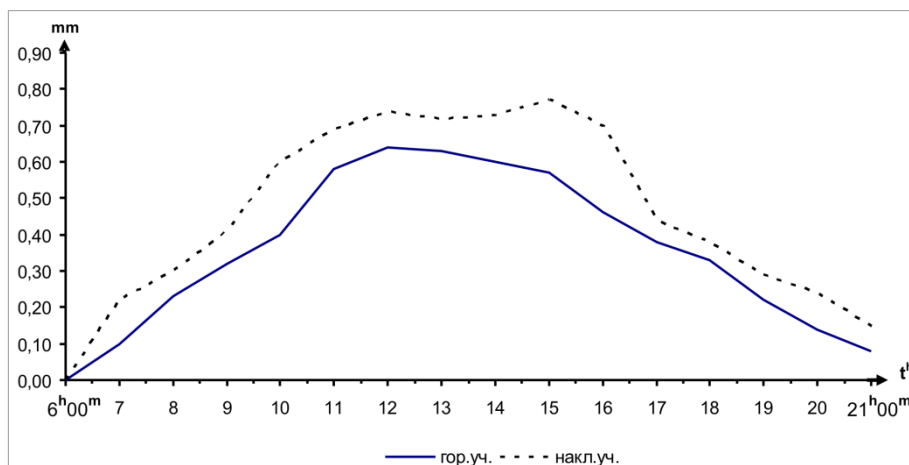


Рис. 2. Влияние вертикальной рефракции на цифровое нивелирование

#### *Исследования при пасмурной погоде.*

Измерения при пасмурной погоде выполнялись в июле-сентябре, они начинались сразу после восхода Солнца и заканчивались практически с его заходом. Общий период выполнения измерений 12 дней (7 дней травяной покров и 5 дней твёрдое покрытие.). Температура в утренние часы была равна

$8 \div 16^{\circ}C$ , а в вечерние  $18 \div 24^{\circ}C$ . Осадки в данный период иногда были в виде мелкого дождя и периодическими.

Результаты исследований следующие.

На расстояниях 15, 30 и 50 м в течение дня изменение отсчётов по рейке относительно среднего положения было небольшим (примерно на 20% меньше, чем при солнечной погоде) и симметричным.

*Вторая программа.* Во второй программе исследований определялась величина изменения превышения на станции также при расстояниях до рек 15, 30 и 50 м и высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 и 70 см. Реализация второй программы выполнялась параллельно с первой программой для тех же условий производства измерений: внешних условиях, длине и высоте визирного луча, травяном покрове и твёрдом покрытии.

Исследования выполнялись следующим образом. Спустя 15-20 мин после восхода Солнца 15 раз измерялось превышение, среднее из которых для данного дня принималось за исходное. Затем в течение всего дня с интервалом 8-10 мин превышение измерялось три раза и из них находилось среднее. Исследования заканчивались перед заходом Солнца или сразу после его захода. Величина влияния вертикальной рефракции оценивалась по разности превышений, измеренных в течение всего дня и исходным превышением.

*Результаты исследования при солнечной погоде и переменной облачности.*

1. *Расстояние 15 м.* На равнинном и наклонном участках, а также при двух высотах визирования изменение превышений в течение всего дня является незначительным и оно находится в пределах 0,03-0,08 мм.

2. *Расстояние 30 м.* В течение всего дня изменение величины превышения относительно исходного составляет 0,07-0,10 мм.

3. *Расстояние 50 м.* В течение всего дня изменение величины превышения относительно исходного составляет 0,08-0,18 мм (с учётом ошибок собственно измерения превышения). Это изменение для всех расстояний носит случайный характер.

*Исследования при пасмурной погоде.*

*Для расстояний 15, 30 и 50 м.* На равнинном и наклонном участках, а также при двух высотах визирования изменение превышений в утренние и вечерние периоды наблюдений является незначительным, носит случайный характер и находится в пределах 0,05-0,14 мм (с учётом ошибок собственно измерения превышения). Кратковременные осадки не влияют на величину измеряемого превышения.

На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Влияние вертикальной рефракции на изменение отсчётов по штрих-кодовой рейке цифровым нивелиром меньше чем при отсчитывании оптическим нивелиром по штриховой рейке даже при высоте визирного луча над подстилающей поверхностью 50 см.

2. В связи с этим считаем необходимым при выполнении нивелирования I и II классов максимальной длиной луча уменьшить высоту визирного луча над

пяткой рейки, соответственно, до 0,5 и 0,4 м. Это будет способствовать увеличению продвига выполнения нивелирования без потери точности измерений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по нивелированию I,II,III и IV классов. - М.: ЦНИИГАиК, 2004.-226 с.
2. Соболева, Е.Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования I и II классов с применением цифровых нивелиров: дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук.- Новосибирск, 2008.- 186 с.
3. Труды ЦНИИГАиК.- М., 1937.-Вып. 23. - 92 с.
4. Труды ЦНИИГАиК.- М., 1956.-Вып. 111. - 339 с.

© *Е.Л. Соболева, Н.М. Рябова, В.Г. Сальников, 2011*