

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ВЫСОКОТОЧНОГО
ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ****A METHOD FOR HIGHLY ACCURATE GEOMETRICAL LEVELING****Сальников П.А. / Salnikov P.A.**

Инженер-геодезист по специальности «Прикладная геодезия» / Surveyor engineer

e-mail: jornal@geo-science.ru

Аннотация. Рассмотрен процесс разработки эффективной методики высокоточного геометрического нивелирования для бригады из двух человек.

Ключевые слова: Нивелирование, цифровой нивелир, методика измерений.

Abstract. In the thesis process of working out of an effective technique of high-precision geometrical leveling for a brigade from two persons, and as definition of optimum fast.

Keywords: Leveling, digital level, measurement methodic.

Цифровой нивелир сокращает время работы на станции за счёт автоматического взятия отсчётов, к тому же цифровое нивелирование свободно от многих погрешностей традиционного нивелирования. В связи с этим нами была предпринята попытка разработать и обосновать методику измерений бригады, состоящей из минимума исполнителей: реечника и измерителя.

Методика выполнения нивелирования с помощью цифровых нивелиров заключается в следующем. Посередине с определенным допуском между измеряемыми точками устанавливается нивелир, а на нивелируемые точки устанавливается штрих-кодовые рейки. После приведения прибора в рабочее положение, зрительная труба нивелира наводится, например, на заднюю рейку. Фокусирующим винтом добиваются четкости изображения рейки и измеряется до неё расстояние. После этого аналогичным образом измеряется расстояние до передней

рейки. Затем, при соблюдении допусков на неравенство плеч, производится отсчитывание по шкале реек. Результаты измерений сразу заносятся в память цифрового нивелира, где рассчитываются превышения между точками хода и их высоты. Так как цифровой нивелир автоматически распознает информацию по штрих-кодовой рейке, субъективная ошибка наблюдателя из отсчёта фактически исключается. При этом автоматизация измерительного процесса позволяет легко проводить многократное отсчитывание, тем самым уменьшая случайные погрешности за счёт рефракции.

Стандартная бригада для производства нивелирования включает двух реечников, трёх помощников, разбивающих переходные точки (костыльщики), измерителя и двух помощников измерителя - всего 8 человек. Это обусловлено оптимальным распределением обязанностей внутри бригады и скоростью выполнения работы.

При работе с цифровым нивелиром надобность в помощнике измерителя отпадает, т.к. запись и полевые контроли прибор осуществляет автоматически. Поэтому эффективную бригаду следует сократить до измерителя, помощника, двух речников и трёх костыльщиков – 7 человек.

Как показывает практика, основное время затрачивается на разбивку станции. Переднему костыльщику нужно «отшагать» плечи, выбрав точку так, что бы рейка была видна в поле зрения нивелира и забить костыль. От заднего костыльщика требуется принимать участие в разметке станций и, при необходимости, подбирать задние костыли.

В работе Соболевой Е.Л. [1] проводится разработка и оценка программ нивелирования различных классов для цифрового нивелирования с целью создания единого стандарта для выполнения нивелирования в государственной сети. На этой основе рассмотрим порядок работы для стандартной бригады (рис.1) из 8 (7 для цифрового нивелирования) человек при прокладке нивелирного хода II класса (по ГОСТ 24846-81) :

лирования) человек при прокладке нивелирного хода II класса (по ГОСТ 24846-81) :

1. Забивается задний костыль *a* (задний)
2. Забивается передний костыль *б* (1 станция)
3. Проводятся измерения на станции (ЗППЗ)
4. Забивается передние костыли *в* и *г*
5. Задний речник переходит вперёд (на костыль *в*)
6. Прибор перемещают на следующую станцию (2)
7. Производят измерения на станции (ПЗЗП)
8. Забивается передний костыль *д*
9. Задний речник переходит вперёд (на костыль *г*)
10. Прибор перемещают на следующую станцию (3)
11. Проводятся измерения на станции (ЗППЗ)
12. Забивается передний костыль (*е*)
13. Забивается задний костыль (*а*) и так далее.

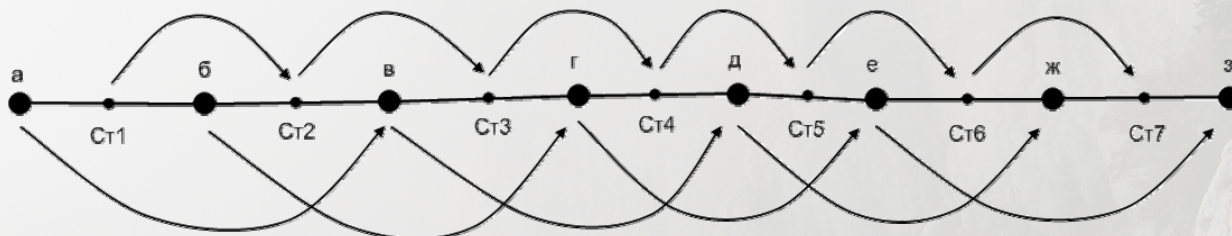


Рис. 1. Схема выполнения нивелирного хода стандартной бригадой

При этом важно не забывать, что передние костыльщики идут на станцию вперёд разбивая станции с помощью мерного троса и закрепляя переходные точки, задний – на одну отстаёт. Если в бригаде нет заднего костыльщика, то функция выдёргивания и доставки вперёд пройденных костылей может выпадать, например, на заднего речника, или помощника наблюдателя.

Таким образом сзади всегда остаётся одна станция на случай необходимости вернуться и переделать измерения.

Адаптируем методику для бригады из двух человек. Программа измерений тогда будет такой: на нечётной станции – ЗП, на чётной – ПЗ. Последовательность действий

на станции (рис.2) будет выглядеть следующим образом:

1. Забивается костыль *a* (речником)
2. Отсчёт на заднюю рейку *a*
3. Забивается костыль *б* (речником)
4. Отсчёт на переднюю рейку *б*
5. Забивается костыль *в* (речником)
6. Отсчёт на переднюю рейку *в*
7. Отсчёт на заднюю рейку *б*
8. Отсчёт на заднюю рейку *в*
9. Забивается костыль *г* (речником)
10. Отсчёт на переднюю рейку *г*
11. Вытаскиваются костыли *a* и *б* (измерителем)
12. Забивается костыль *д* (речником)
13. Отсчёт на переднюю рейку *д*

14. Отсчёт на заднюю рейку г
15. Отсчёт на заднюю рейку д
16. Забивается костыль е (реечником)
17. Отсчёт на переднюю рейку е
18. Вытаскиваются костыли в и г (измерителем)
19. Забивается костыль ж (реечником)

20. Отсчёт на переднюю рейку ж
21. Отсчёт на заднюю рейку е
22. Отсчёт на заднюю рейку ж
23. Забивается костыль з (реечником)
24. Отсчёт на переднюю рейку з и так далее.

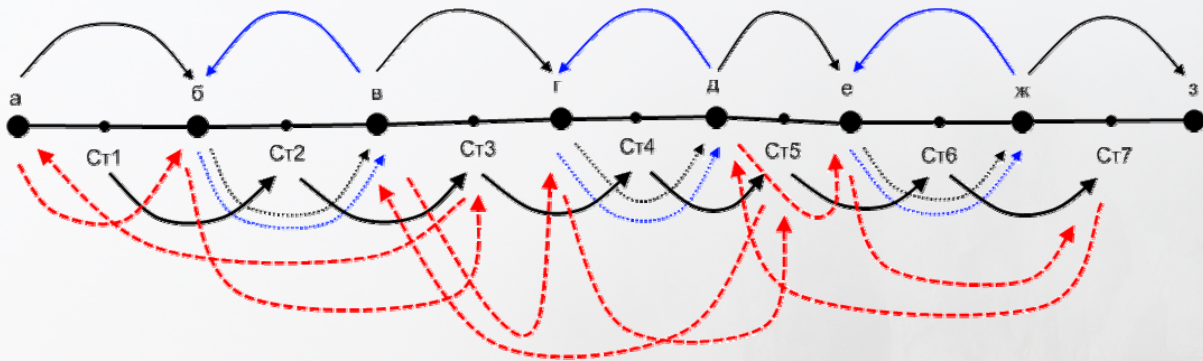


Рис. 2. Схема выполнения нивелирного хода бригадой из 2 человек

На рис.2 пунктиром здесь показаны переходы реечника между станциями и сбор костылей измерителем. Из схемы видно, что 2 задних костыля собираются на каждой нечётной станции, после измерения на ней. Это обусловлено тем, что на чётной станции измерения начинают с передней рейки и, пока реечник разбивает станцию, у измерителя есть время вернуться назад и снять две задние станции. Таким образом, экономится время при разбивке станций, по сравнению с тем, если бы сзади всегда оставляли строго одну станцию. В этом случае проставил бы сначала реечник, потом измеритель. Условие сохранения сзади одной станции, рекомендуемое инструкцией по нивелированию, выполняется. При этом и стандартная бригада, и бригада из 2 человек будут идти по 5 костылям, забитым в землю (ещё должны быть дополнительные костыли у переднего костыльщика (во втором случае – реечника) для разбивки станций).

Измерения проводятся по программе ЗП, ПЗ, то есть на нечётных станциях – ЗП, на чётных – ПЗ, при этом станция не разбивается заранее, разбивку ведёт всё время реечник, подбирает задний костыль всё время измеритель, таким образом работа полной бригады ложится всего на двух человек. Легко подсчитать, какое расстояние пройдёт каждый член бригады.

Пусть длина плеча равна 50 метрам, длина хода – 500 м (10 станций) тогда по схеме получаем:

1. 50 м вперёд (измеритель)
2. 100 м вперёд (реечник)
3. 100 м вперёд (реечник)
4. 100 м вперёд (измеритель)
5. 100 м назад (реечник)
6. 100 м вперёд (реечник)
7. 100 м вперёд (измеритель)
8. -100 м вперёд (реечник)
9. -100 м вперёд (реечник)
10. -250 м назад + 350 м вперёд (измеритель)
11. -100 м назад (реечник)
12. -100 м вперёд (реечник)
13. -100 м вперёд (измеритель)
14. -100 м вперёд (реечник)

Далее повторяется блок 4+5 до конца, кроме последней станции, поскольку ход продолжать не нужно и задний костыль можно не подбирать.

Итого получаем, что измеритель на 500 м хода проходит 2450 м, реечник проходит 1800 м, т.е. почти в 5 и 4 раза больше. Не смотря на то, что измеритель проходит больше, физической работы у него меньше – реечник должен забивать передний костыль в грунт, что требует большего приложения сил, нежели вытаскивание его из грунта и перенос прибора со станции на станцию.

Как видно, время исполнения хода по сравнению с традиционным составом бригады, сильно увеличивается (исходя из километража). Но если точки заранее закреплены, то время сокращается, причём существенно, поскольку цикл измерения на станции в 2 раза меньше. Ходы по закреплённым точкам используют, в основном при деформационном мониторинге объектов. В связи с этим была сделана попытка идти по заранее пробитым по линии деревянным кольям с завинченными в них шурупами. Но заготовленные колья требует дополнительных затрат времени и скорость выполнения работы в целом снижается. К тому же нужно использовать определённые породы дерева, устойчивые к нагрузкам от ударов кувалдой или топором и по своей структуре не мягкие, как, например, берёза. Так же, желательно, просушить колья перед использованием, что, опять же, требует времени. Пробивать же ход заранее неудобно, поскольку на пересечённой местности, в высокой траве или на поле велика вероятность потери или утраты переходной точки и это, опять же, требует дополнительных затрат времени. Так же в качестве закреплённых переходных точек была опробована строительная арматура. В этом случае был получен хороший темп выполнения измерений с возможностью быстрого переделывания «плохих» ходов. Но, не смотря на все удобства, арматура требует финансовых затрат, особенно, если полигон относительно большой.

В процессе выбора способа закрепления точек нивелирных ходов был проведён ряд экспериментов. В результате сделаны следующие выводы:

- дюбеля, забитые в мягкое асфальтовое покрытие дорог, в летнее время оказались непригодны для надёжного закрепления точек;
- наладить массовое производство деревянных костылей, приспособленных для закладки в плотный суглинистый грунт, не удалось;
- отрезки арматуры при ограниченном их количестве оказались менее надёжными, менее удобными и долговечными переходными точками, по сравнению с металлическими костылями, т.к. деформи-

ровались при закладке и с трудом вынимались из грунта.

В результате было решено при нивелировании остановиться на использовании стандартных металлических костылей [2] с разбивкой переходных точек в процессе выполнения измерений.

Измерения должны соответствовать II классу нивелирования по ГОСТ 24846-81 Грунты, где для обеспечения такой точности допускается вести нивелирование в одном направлении с замыканием ходов. Поэтому, в качестве основного контроля точности нивелирования выступает замыкание полигонов. Таким образом, все ходы проходятся один раз (висячие – в прямом и обратном, тогда образуется маленький полигон, состоящий всего из двух ходов) и общее время выполнения сокращается. Но при этом нет возможности контролировать качество измерений в звеньях по секциям (если звено состоит более чем из одного хода), и в любом месте могут выявиться ошибки, которые компенсируют друг друга. Этот недочёт можно исправить увеличением числа полигонов, что бы каждая из нужных нам точек была узловой, как на рисунке 4.3, что, например не сложно исполняется при деформационном мониторинге, когда не узловые точки можно включить в состав малого полигона при съёмке одной и той же деформационной марки с разных точек хода. Тогда они становятся узловыми.

По результатам эксперимента можно утверждать, что такой метод вполне обеспечивает миллиметровую точность, что подходит под требования 1 и 2 классов деформационного мониторинга (по ГОСТ 24846).

Перед началом работы были заявлены следующие требования для минимизации возможных погрешностей:

- визирный луч не длиннее 30 м (по ГОСТ 24846-81);
- для уменьшения влияния рефракции, рекомендуемая минимальная высота визирного луча над подстилающей поверхностью 30 см (при нормальной длине плеча 30 метров);
- неравенство плеч на станции не более 3 м;

- накопление неравенства в секции не более 10 м;
- нивелирование производить только в благоприятную погоду (при отсутствии колебаний изображений);
- перед началом нивелирования прибор должен акклиматизироваться;
- измерения должны быть, по возможности, симметричными (программа измерений ЗП, ПЗ, менять расположение ножек штатива относительно линии хода, чётное количество станций и т.д.)

Кроме того, поскольку использовался цифровой нивелир, были заявлены дополнительные требования:

- видимый интервал рейки (для прибора) не менее 30 см (иначе говоря, не меньше 15 см до верхнего конца рейки от визирной оси);
- количество взятий отсчёта по рейке – не менее трёх (с допустимым расхождением между отсчётами 0,1 мм);

В процессе исполнения съёмки было установлено, что некоторыми ограничениями иногда можно пренебречь. Кроме того, возникли некоторые специфические особенности выполнения работы в конкретных условиях лета 2010 года (когда проводилось исследование).

Так нивелирование лучше всего было исполнять в утренние часы, начиная через час после восхода, поскольку этим летом температура воздуха днём поднималась до 35 – 40 градусов, и вечером всё ещё было слишком жарко. При этом работы велись без зонта или т.п. приспособлений для изоляции нивелира от солнечных лучей, поскольку за этим следить было некому. При хорошей погоде длину визирного луча можно было увеличивать до 50-60 м (а иногда и более), что больше, чем заявлено в паспорте нивелира, при этом качество измерений не снижалось. Время акклиматизации можно снижать с 40 минут до 10 – 15, поскольку прибор, по большому счёту, акклиматизируется в пути до точки начала хода и во время разбивания первых станций (перед началом наблюдений пробивались все имеющиеся костыли). Из всех условий симметричности была оставлена лишь симметричность про-

граммы наблюдений, поскольку она позволяет исключить большинство факторов, вносящих погрешности в измерения (такие как влияние угла i , оседание костылей и штатива и т.п.). Так же, в некоторых случаях, не соблюдать симметричность 30 см интервала рейки, поскольку прибор, в нашем случае, брал отсчёт 3 раза. При коротких плечах (до 10 м) допустимо было пренебрегать минимальной высотой визирного луча (слишком короткое расстояние для каких-либо существенных рефракционных искажений). Но всё это при хороших условиях наблюдений. Обязательно обращалось внимание на сигналы нивелира о проблемах (СКП измерений, неравномерную освещённость рейки, не контрастность и т.п.). В случае появления таких сигналов необходимо выполнять измерение заново, или менять положение станции и перемерять станцию. Плечи разбивались шагами.

Все выполненные измерения везде, кроме одного звена, соответствовали точности первого класса нивелирования при заявленном втором.

Итак, нивелирование точности II класса бригадой из двух человек производят в одном направлении методом полигонов по костылям, дюбелям или т.п. переходным точкам (в зависимости от подстилающей основы). Ошибки метровых интервалов шкал и всей шкалы инварной рейки при нивелировании допускают до 0,20 мм [2].

При нивелировании порядок наблюдений на станции следующий.

Нечётная станция.

1. Отсчёт по шкале задней рейки.
2. Отсчёт по шкале передней рейки.

Чётная станция

1. Отсчёт по шкале передней рейки.
2. Отсчёт по шкале задней рейки.

Последовательность наблюдений на станции при использовании цифрового нивелира следующая:

1. Устанавливают нивелир и приводят его в рабочее положение (горизонтируют); речник встаёт на первую точку;
2. Направляют трубу в сторону той точки, которая на данной станции наблюдается первой, фокусируют изображение шкалы

рейки и нажимают на цифровой клавиатуре, или на корпусе прибора «Старт». Далее реечник переходит на следующую точку;

3. Наводят трубу в сторону той точки, которая должна наблюдаться второй, выполняют фокусировку и нажимают кнопку «Старт»;

Отсчёт по рейке начинают при отсутствии приведения прибора в рабочее положение, но не ранее чем через полминуты после установки рейки на костыле (по уровню с помощью подпорок). Результаты наблюдений на станции автоматически записывают в память прибора. Контролем отсчёта является отсутствие сигнала «СКО вне допуска», которое говорит о том, что разница между отсчётами в допуске. В целом же в приведённом порядке измерений контроль превышения на станции отсутствует, поэтому необходимо аккуратнейшим образом перемещаться около костылей и штатива в процессе измерений, чтобы не нарушить их устойчивость.

Контроль измерения по секции в данной технологии так же отсутствует. Контроль нивелирования по полигонам заключается в следующем: после замыкания хода находят невязку, как сумму измеренных в полигоне превышений, которая не должно быть более $0,5\text{мм}\sqrt{n}$ ($0,15\text{мм}\sqrt{n}$ для первого класса) [3]. Если невязка получилось больше допустимого, то пытаются определить «ошибочный» ход и перевыполнить измерения в нём. Если значения невязок входят в допустимые, полигоны обрабатывают совместно.

При необходимости в результаты нивелирования возможно вводить поправки в превышения по секциям за среднюю длину метра комплекта реек (отличие её от номинала) и за различие температуры реек при эталонировании и нивелировании.

Применение описанной выше технологии целесообразно при деформационном мониторинге небольших объектов. Тогда сокращённый состав бригады, имея минимальное количество оборудования (рейка всего одна), способен решать задачи высокоточного нивелирования в разумные сроки и с достаточной точностью.

Отдельно стоит рассмотреть передачу высоты через водные преграды. В нашем случае необходимо было измерить превышение между точками, находящимися на разных берегах р. Осётр.

Особенностями нивелирования через реки и другие водные пространства являются, как правило, необходимость визирования в трубу нивелира на большие расстояния и значительное действие рефракции на результат измерения из-за неоднородной подстилающей поверхности для заднего и переднего луча. Оба эти обстоятельства ведут к значительному снижению точности нивелирования, если не принять специальных мер, которые состоят в следующем: уменьшение длины визирного луча путем использования естественных островов и устройства искусственных стоянок (на сваях) для нивелира; поднятие луча визирования возможно выше над водой; отсчитывание по рейкам с помощью передвигающихся по ним цельков; нивелирование по особой схеме, помогающей уменьшить вредное влияние на точность отсчетов по рейкам насыщенного влагой воздуха, вызывающего искривление луча визирования.

Наиболее надёжным средством для исключения влияния влажного воздуха, искривляющего визирный луч, являются многократные отсчёты по нивелирным рейкам, сделанные в разные часы суток и в разные дни при различных метеорологических условиях. Лучшие результаты получаются при работе в прохладную и ветреную погоду. Кроме того, для сравнения прямых и обратных превышений для пунктов, расположенных на обоих берегах водоёма, оптимально вести работу одновременно двумя нивелирами, установленными на разных берегах.

Чтобы избежать влияния смещения визирной оси при изменении фокусировки, можно, например, вести работу по способу «нивелирования вперёд» (вообще же метод «перехода» через водное препятствие устанавливается по результатам рекогносцировки). Для этого нужно установить каждый нивелир так, чтобы его окуляр был на одной отвесной линии с репером, и тогда высоту инструмента измеряют (лучше нивелирной рейкой) от репера до центра окуляра. Нивелиры устанавливают сбоку от прямой, со-

единяющей реперы обоих берегов, чтобы не затруднять отсчитывание.

Нивелирование через овраги (ущелья, балки) целесообразно выполнять, передавая высоты сразу с одного берега на другой с закреплением точек на каждом из них. В этом случае уменьшаются ошибки нивелирного хода.

Передача высоты через водное препятствие обычно выполняется двойным нивелированием вперёд, двумя нивелирами, несколькими приёмами. Последовательность такая:

1. На точке 1 устанавливается прибор, на точке 2 – рейка, производится отсчёт по рейке и переход прибора на точку 2.
2. На точке 2 устанавливается прибор, на точке 1 – рейка, производится отсчёт по рейке. Параллельно работает второй нивелир, начиная с точки 2. После окончания первого цикла, производят, в зависимости от установленной программы, второй и т.д.

В нашем случае имелся один нивелир и одна рейка, поэтому было решено выполнять переходы двойным нивелированием из середины. Последовательность действий в этом случае такова:

1. Нивелир устанавливается на точку А, рейка – на точку 1, производится отсчёт h_1 , речник переправляется на другую сторону реки.
3. Рейка устанавливается на точку 2, производится отсчёт h_2 , прибор переправляется на другую сторону реки.
4. Нивелир устанавливается на точку Б, производится отсчёт h_3 , речник переправляется на другую сторону реки.
5. Рейка устанавливается на точку 1, производится отсчёт h_4 .

Контролем является сходимостъ полученных превышений. Причём в нашем случае было принято решение за допустимую невязку взять условие продолжения нивелирного хода после перерыва в работе: костыли считают сохранившими свое первоначальное положение, если полученные до и после перерыва значения превышения на станции различаются не более чем на 1 мм [2].

Такой выбор сделан в связи с тем, что переправы с берега на берег в нашем случае

занимали продолжительное время (от получаса и более), тем самым создавая перерыв в работе.

Разработанная методика была апробирована при повторном нивелировании на НУБ «Горное» ГУЗ, описание которой подробно рассмотрено в [4].

Для измерений использовался прибор Trimble DiNi 0,7, точность которого удовлетворяет требованиям инструкции по нивелированию, а также трёхметровая штрих-кодовая инварная рейка фирмы Trimble. Большинство измерений соответствовали точности первого класса нивелирования. Единственное звено, не укладывающееся по точности в первый класс, изначально содержало грубые ошибки измерений и после их устранения соответствовало 2 классу точности. Это самый длинный в сети участок. Работы на нём проводились в самые жаркие дни лета 2010 года (перед пожарами), на протяжении всего светового дня, что, скорее всего, и сказалось на понижении точности измерений в звене. Затраты времени можно рассчитать исходя из измерений одного полигона. Полностью нивелирование полигона проведено за 6 дней. Длина полигона чуть более 7,6 км. Полигон содержит 8 секций и 181 станцию. Отсюда не сложно подсчитать, что среднее количество станций на км – 24, количество станций на секцию – 23, средняя длина станции 42 м, средняя длина плеча 21 м, производительность бригады в среднем 1,3 км в день. При этом общее время выполнения нивелирных работ составило порядка 30 – 40 дней.

Литература

1. Соболева Е.Л. Разработка и совершенствование методики высокоточного нивелирования с применением цифровых нивелиров. Диссертация на соискание степени к.т.н. – Новосибирск, 2008.
2. ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. Инструкция по нивелированию I – IV классов
3. ГОСТ 24846-81 Грунты (методы измерения деформаций зданий и сооружений.)
4. Докукин П.А., Змызгов А.А. Создание и развитие спутниковой сети на НУБ «Горное» ГУЗ. // Землеустройство, кадастр и мониторинг. – 2007, №9.

(с) Сальников П.А., 2011