

## Лекция 12. Вычислительная обработка нивелирных ходов

### 1. Нивелирование трассы и поперечников.

После выноса трассы в натуру (т.е закрепление на местности углов поворота трассы), разбивки пикетов, плюсовых точек, поперечных профилей, главных точек кривой и выноса пикетов на кривые производят нивелирование трассы в процессе которого определяют высоты перечисленных точек.

Нивелирование производят методом из середины с контролем на станции (определяя превышения по черным и красным сторонам реек).

При нивелировании трассы пикеты обычно являются *связующими точками*, а плюсовые точки (т.е. характерные точки местности (перегибы скатов), например ПК 1+80) - *промежуточными*.

На связующие точки берут отсчеты с двух смежных станций по черным и красным сторонам реек, в результате на каждой станции получается два значения превышения, из которых затем вычисляют среднее.

На промежуточные точки отсчеты берут с одной станции только по черной стороне рейки.

При нивелировании на крутом и однородном скате может случиться так, что визирный луч «бьет» в землю или идет выше реек. В таких случаях делают две или несколько станций с дополнительными связующими точками, называемыми *иксовыми*, так как расстояния до них не измеряются.

Для того, чтобы получить профиль местности в направлении перпендикулярном к направлению трассы, производят нивелирование поперечных профилей. Если условия местности позволяют, то все точки местности на поперечных профилях нивелируют как промежуточные. Если по условиям местности одновременного нивелирования пикетов и точек на поперечных профилях произвести нельзя, то точки на поперечных профилях нивелируют с нескольких станций, как с нивелирного хода, привязанного к трассе.

Контроль нивелирования трассы выполняют по невязке (разности между суммой измеренных превышений и их теоретическим значением), которая не должна превышать  $\pm 30\sqrt{L}$  мм, где  $L$  - длина хода в километрах.

При этом нивелирование можно выполнять одним из следующих способов:

1. Трассу нивелируют два раза одним прибором в прямом и обратном направлениях. Таким образом, образуют замкнутый нивелирный ход, в котором теоретическая сумма превышений между связующими точками равна нулю.

2. Прокладывают ход между реперами, высоты которых известны из нивелирования более высокого класса. Тогда, теоретическая сумма превышений будет равна разности высот конечного и начального реперов.

При нивелировании трассы ведут журнал технического нивелирования.

## **2. Вычислительная обработка журнала технического нивелирования.**

Журнал технического нивелирования является документом строго учета. Страницы в журнале должны быть пронумерованы. Результаты измерений записывают в журнал простым карандашом или шариковой ручкой. Ошибочные записи аккуратно зачеркивают, а все измерения повторяют вновь. На первой и последней страницах записи нивелирного хода указывают номера или названия начального и конечного реперов.

В соответствующие графы журнала записывают отсчеты по средней нити на заднюю и переднюю рейки. При этом сначала записывают отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки, а затем по черной и красной сторонам передней рейки.

Камеральные работы при обработке результатов технического нивелирования выполняются обычно в следующей последовательности.

1. Проверка записей полевых отсчетов в журнале. Отсчеты должны быть записаны в виде четырехзначных цифр и соответствовать наименованию точки и ее положению на местности. Разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки на связующих точках не должна отличаться от эталонной более чем на 5 мм.

$$\text{Т.е } c = a_k - a_q \quad c = b_k - b_q$$

2. Вычисление превышений между связующими точками определяется как разность отсчетов по черным и красным сторонам реек

$$h_q = Z_q - \Pi_q, \quad h_k = Z_k - \Pi_k.$$

Контролем работы на станции является  $h_q - h_k$ , +5 мм. При больших расхождениях наблюдения повторяют.

В соответствующей графе вычисляют среднее превышение

$$h_{cp} = (h_q - h_k)/2$$

4. Выполняют постраничный контроль. Для чего на каждой странице находят сумму всех задних отсчетов  $\sum Z$ , сумму передних отсчетов  $\sum \Pi$ , сумму превышений  $\sum h$ , сумму средних превышений  $Z h_{cp}$ . При правильных вычислениях будет выполняться равенство

$$(\sum Z - \sum \Pi) = \sum h = 2 \sum h_{cp}$$

5. Выполняют постраничный контроль по ходу аналогичным образом.

6. Уравнивают превышение в нивелирном журнале:

6. 1. определяют невязку в превышениях по ходу

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_k - H_h);$$

6.2. вычисляют предельную невязку

$$f_{h_{pred}} = 30\sqrt{L}, \text{мм}$$

где L - длина хода в км.

6.3. оценивают невязку  $f_h < f_{h_{pred}}$

6.4. уравнивают превышения между связующими точками, распределив невязку поровну на все превышения. При этом исправленные превышения необходимо

получить в целых мм.

$$v_h = -f_h/n;$$

6.5. выполняют контроль  $\sum v_h = -f_h$  и  $\sum h_{испр.} = H_k - H_n$ ;

7. Вычисляют высоты связующих точек  $H_j+i = H_i + h_{испр.}$

8. Определяют высоты промежуточных точек. Для этого вычисляют горизонты приборов станций, с которых нивелировались промежуточные точки по формуле

$$ГП = H + a$$

где  $H$  - высота связующей точки;

$a$  - отсчет по черной стороне рейке на эту точку.

Для контроля горизонт прибора вычисляют дважды с использованием задней и передней связующих точек. Полученные значения ГП не должны отличаться больше чем на 5 мм. За окончательное значение принимают среднее.

Высоты промежуточных точек определяют по правилу: *высота точки равна горизонту прибора минус отсчет на промежуточную точку*

$$H = ГП - P.$$

### **3. Построение продольного и поперечного профиля.**

Нивелирование трассы завершают графическим оформлением наблюдений составлением профиля трассы по данным журнала нивелирования и пикетажной книжки.

Профиль строят на миллиметровой бумаге, на которой все размеры откладывают без измерителя. Для придания профилю лучшей наглядности линию профиля утрируют, то есть наносят высоты в более крупном масштабе (обычно в 10 раз), чем горизонтальные проложения (например, 1:10000 и 1:1000, 1:5000 и 1:500 и т.д.).

Поперечные профили составляют в одном масштабе для горизонтальных и вертикальных расстояний.

Построение профиля начинают с расчета расположения линии условного горизонта на миллиметровой бумаге. Высоту условного горизонта выбирают так, чтобы самая низкая точка профиля расположилась выше линии условного горизонта на 10-12 см.

Ниже линии условного горизонта делают разграфку параллельным линиями для записи необходимых данных (профильную сетку).

#### **Профиль строят в следующем порядке.**

**Заполнение графы «Расстояния».** В этой графе в принятом горизонтальном масштабе откладывают расстояния между пикетными точками. В масштабе 1:5000 стометровые расстояния между соседними пикетами будут изображены отрезками в 2 см. В промежутках между пикетами наносят в том же масштабе плюсовые точки и подписывают расстояния между ними и соседними пикетными точками. Если между пикетами нет плюсовых точек, то расстояние 100 м не пишется. Иксовые точки на профиль не наносят. Затем под этой графой подписать пикетов.

**Заполнение графы «Высоты земли».** В эту графу записывают из журнала вычисленные высоты пикетных и плюсовых точек с округлением их до сотых долей метра. Например, если вычисленная по журналу высота ПК 0 равна 86,546, то на профиле против ПК 0 нужно подписать 86,55.

**Нанесение пикетных и плюсовых точек по их высотам.** Высоты всех точек откладывают от линии условного горизонта на вертикалях, проведенных через эти точки, в выбранном вертикальном масштабе. Соединив по линейке построенные точки, получают профиль трассы.

**Заполнение графы «План прямых и кривых».** В этой графе наносят точки начала и конца кривых. От начала каждой кривой до ее конца проводят условные дуги. Если трасса поворачивает вправо, дугу проводят вверху. Если трасса поворачивает влево - внизу. Около дуг выписывают все элементы кривой ( $\varphi$ , R T, K, Б, Д).

Отрезки прямых линий между концом предыдущей кривой и началом последующей кривой называют прямыми вставками. На середине каждой прямой вставки выписывают ее длину, а под ней ее румб. Румб исходной линии трассы получают привязкой к пунктам имеющейся геодезической сети.

Контролем расстояний служит сумма длин всех прямых вставок и кривых, которая должна быть равна длине всей трассы.

Составление ситуации (плана местности). План местности наносят по пикетажной книжке в принятом для данного профиля горизонтальном масштабе в соответствующей графе профильной сетки. Посредине плана местности проводят ось трассы красным. В точках поворота трассы показывают стрелками направления поворота. План оформляется в соответствии с условными знаками для данного горизонтального масштаба.

Построение поперечников. Поперечные профили строят над теми пикетами, от которых они построены на местности.

Над точкой продольного профиля, на которой был взят данный поперечник, прочерчивают ось поперечника. От прочерченной оси поперечника отложить в принятом для поперечников масштабе горизонтальные расстояния до пронивелированных точек (например от ПК2 в право 20 м) и подписать расстояния между этими точками.

Над полученными точками подписать их высоты, взятые из нивелирного журнала, и отложить их в том же масштабе от принятого для поперечника условного горизонта.

Оформление чертежа выполняют тушью.

#### **4.Проектирование по профилю.**

Линию проектного профиля дороги строят на продольном профиле, руководствуясь техническими условиями на проектирование и строительство соответствующих дорог, в которых указаны предельный уклон дороги, минимальные высоты дорожной насыпи и другие обязательные условия проектирования.

Проектный профиль будущей дороги, состоит из отрезков прямых разной длины, направлений и уклонов. Места перелома проектного профиля отмечены в графе «Проектные уклоны» вертикальными прямыми, делящими эту графу на прямоугольники. Внутри прямоугольников в соответствии с направлением уклона данного участка проектной линии проводят диагонали. Над каждой диагональю вписывают величину уклона  $i$  (выраженную в тысячных), а под ней - длину участка в метрах.

Численные значения высот точек проектной линии называют *проектными* (или красными). Проектные отметки  $H_n$  и  $H_k$  начальной и конечной точки данного участка проектной трассы определяют по профилю графически с учетом требуемой высоты насыпи или выемки, а уклон этого участка вычисляют по формуле:

$$i = \frac{H_k - H_n}{d}, \quad \text{где } d - \text{длина участка}$$

Полученное значение  $i$  округляют с требуемой точностью, затем вычисляют окончательное значение отметки  $H_k$  по формуле

$$H_k = H_n + id$$

и записывают его в графу «Проектные высоты».

Проектные высоты всех промежуточных точек данного участка (пикетов и плюсовых точек) последовательно рассчитывают по формуле

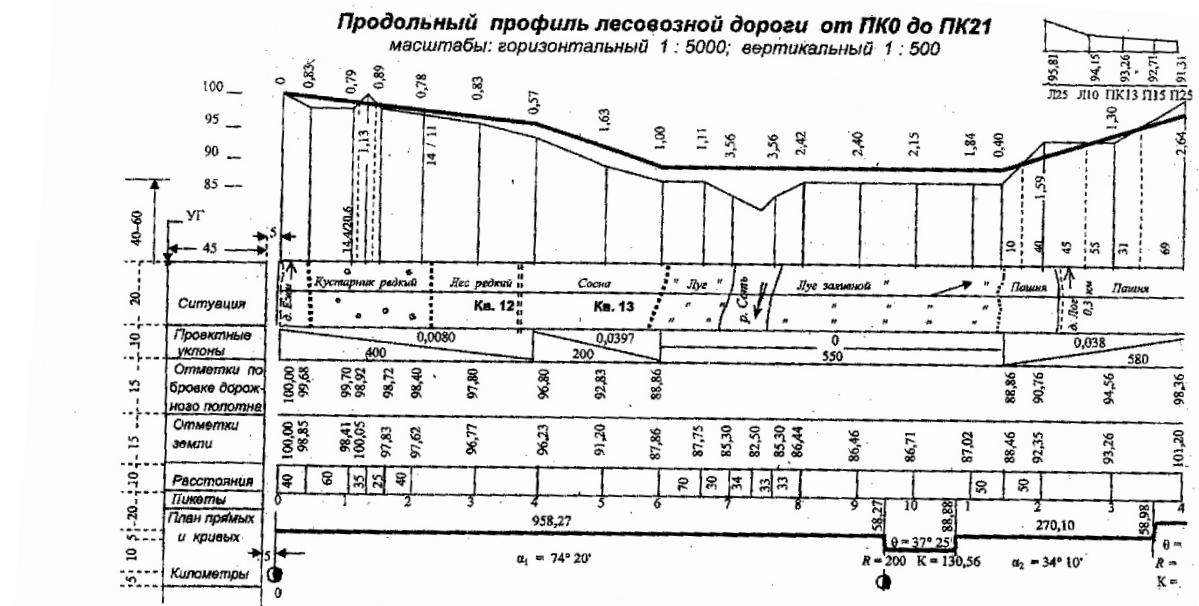
$$H_{j+1} = H_j + id_j$$

где  $i$  – проектный уклон данного участка,  $d_j$  – длина участка, м.

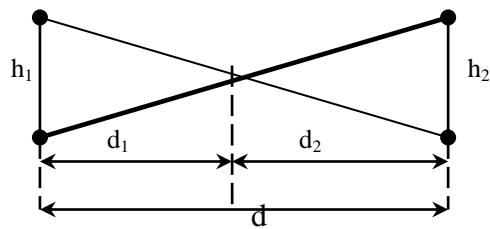
Разность между проектными высотами и высотами земли называют рабочими высотами (отметками) и вычисляют по формуле:

$$h_{раб} = H_{раб} - H_{зем}.$$

Положительное значение  $h_{раб}$  (высота насыпи) записывают над линией профиля, отрицательное (глубина выемки) – под линией профиля.



Точка пересечения проектной линии с линией земли называется точкой нулевых работ, здесь  $h_{раб}=0$ . При проектированию по профилю определяют расстояние от точки нулевых работ до ближайших пикетов или плюсовых точек по формулам



$$d_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2} d$$

Где  $d$  - расстояние между ближайшими точками  
 $h_1, h_2$  - модули рабочих высот.