

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАДЕНИЙ ВОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГОРНОЙ РЕКИ

В статье рассматриваются допустимые ошибки в определении падений водной поверхности горной реки для составления схемы ее использования, результаты которых предлагается применить при водноэнергетических расчетах и при проектировании малых ГЭС.

С высотами бытовых и проектных уровней реки тесно увязываются изыскания, проектирование и возведение сооружений, поэтому точность определения высот этих уровней определяет точность последующих работ [2, 4, 5].

Для составления продольного профиля реки требуется определить высоты водной поверхности в ряде характерных мест, разбивающих весь бьеф  $s$  данного гидроузла на отдельные части различного падения [3, 6].

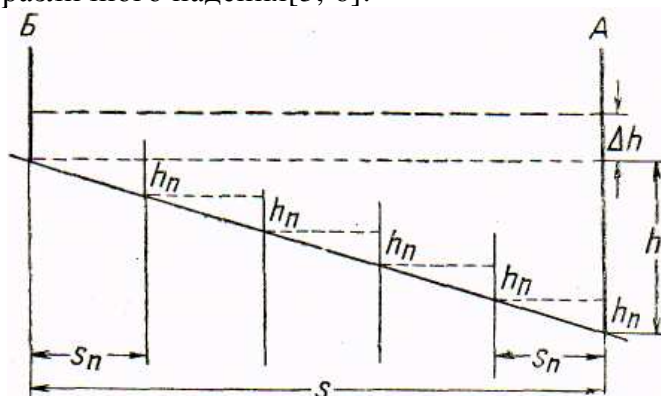


Рис. 1. Схема размещения точек однодневной связи (ТОС)

Обозначим через  $\Delta_h$  предельную ошибку в определении падения  $h$  бьефа длиной  $s$  км или допустимую ошибку в размещении на реке двух смежных гидростанций  $A$  и  $B$  (рис. 1). Средняя квадратическая ошибка  $m_h$  в определении падения  $h$  бьефа будет [1]

$$m_h = \frac{\Delta_h}{2,5}. \quad (1)$$

Длину бьефа  $s$  разделим на  $n$  равных частей и обозначим длину каждой части через  $s_n$ , тогда

$$n = \frac{s}{s_n} = \frac{h}{h_n}. \quad (2)$$

Средняя квадратическая ошибка  $m_{h_n}$  падения  $h_n$  будет

$$m_{h_n} = \frac{m_h}{\sqrt{n}}. \quad (3)$$

Относительная ошибка в определении падения части бьефа  $s_n$  получится

$$\frac{m_{h_n}}{h_n} = \frac{\frac{m_h}{\sqrt{n}}}{\frac{h}{n}} = \frac{m_h}{h} \sqrt{n}. \quad (4)$$

Следовательно, для определения средней квадратической ошибки падения любой части бьефа необходимо знать средние квадратические ошибки в определении падения

водной поверхности всего бьефа или среднюю квадратическую ошибку в расположении по высоте двух смежных гидростанций. Последняя ошибка устанавливается в каждом случае в зависимости от конкретных условий составления схемы использования реки.

В практике гидротехнического проектирования на больших равнинных реках с малыми падениями допустимо размещение смежных гидростанций на реке с предельной ошибкой по высоте, не превышающей  $\pm 0,5$  м, т. е.  $\Delta h \leq \pm 0,5$  м.

Средней квадратической ошибкой в определении падения  $m_h$  бьефа гидростанции, согласно (11:6), будет

$$m_h = \frac{0,5}{2,5} = \pm 0,2 \text{ м.}$$

На равнинных реках обычно проектируются гидростанции с максимальными напорами в 25—30 м. Средней относительной ошибкой определения падения бьефа для таких гидростанций при  $h = 30$  м будет

$$\frac{m_h}{h} = \frac{0,2}{30} = 0,0067, \quad (5)$$

тогда, согласно формулам (2) и (3), средняя квадратическая ошибка в падении  $h_n$  получится

$$m_{h_n} = \frac{m_h}{\sqrt{n}} = \frac{0,2}{\sqrt{\frac{h}{h_n}}} = 0,2 \sqrt{h_n} \sqrt{\frac{1}{h}} = 0,2 \sqrt{\frac{1}{30}} \cdot \sqrt{h_n} = \pm 0,036 \sqrt{h_n}. \quad (6)$$

Относительная ошибка в определении падения  $h_n$  получится, согласно формулам (2) и (5),

$$\frac{m_{h_n}}{h_n} = \frac{m_h}{h} \sqrt{\frac{h}{h_n}} = 0,0067 \sqrt{\frac{30}{h_n}} = \pm \frac{0,036}{\sqrt{h_n}}. \quad (7)$$

Используя формулы (6) и (7), можно составить диаграммы (рис. 3 и 4) для определения допустимых средних квадратических ошибок  $m_{h_n}$  и относительных  $\frac{m_{h_n}}{h_n}$  в зависимости от уклонов водной поверхности и расстояний между ТОС.

Для расчета средних квадратических ошибок  $m_{h_n}$  необходимо по топографической карте или по данным водного кадастра определить:

- а) длину и общее падение исследуемой реки;
- б) длины, средние уклоны и падения участков реки, различающихся по геоморфологическим и гидрологическим признакам (например, верхнего, среднего и нижнего течения);
- в) на карте масштаба 1: 100000 или крупнее для каждого из таких участков реки запроектировать пункты для определения высот водной поверхности, вычислить расстояния между этими пунктами, считая их

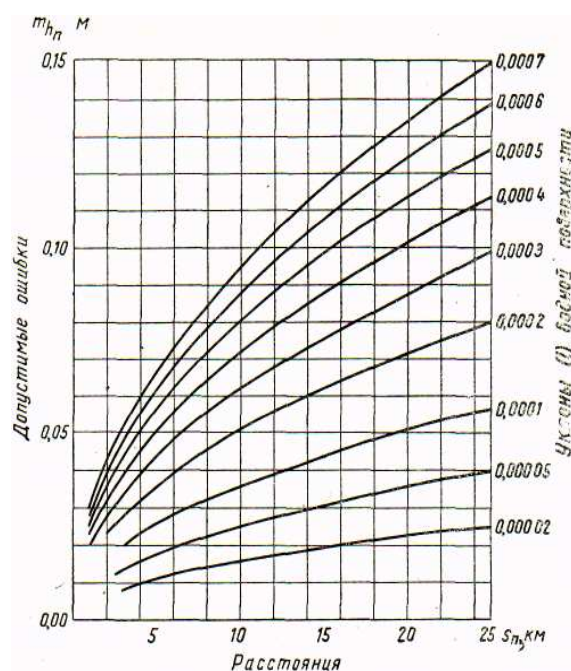


Рис. 3. Диаграмма допустимых ошибок  $m_{h_n}$  при определении падений водной поверхности

- по линии наибольших глубин (фарватеру) или средней линии реки;
- г) вычислить средние падения  $h_n = i s_n$  для каждого участка реки;
- д) для средних превышений  $h_n$  по каждому участку реки рассчитать допустимые

ошибки  $m_h$  и  $\frac{m_{h_n}}{h_n}$  по формулам (6) и (7) или по диаграммам (рис. 3 и 4).

Для определения высот точек однодневной связи (рис. 5) производится:

- а) проложение по берегу реки магистрального нивелирного хода  $L$ ;
- б) проложение рабочих нивелирных ходов  $L_1$  и  $L_2$  от реперов магистрального хода до кольев, фиксирующих уровень воды;
- в) одновременное фиксирование уровня воды кольями в местах изменения уклона водной поверхности.

Средняя квадратическая ошибка в определении падения водной поверхности реки  $m_h$  будет складываться из ошибки  $m_L$  магистрального нивелирного хода, из ошибок  $m_{L_1}$  и  $m_{L_2}$  - рабочих нивелирных ходов и из ошибок  $m_\phi$  - фиксации уровня воды, т.е.

$$m_h = \sqrt{m_L^2 + m_{L_1}^2 + m_{L_2}^2 + 2m_\phi^2}. \quad (8)$$

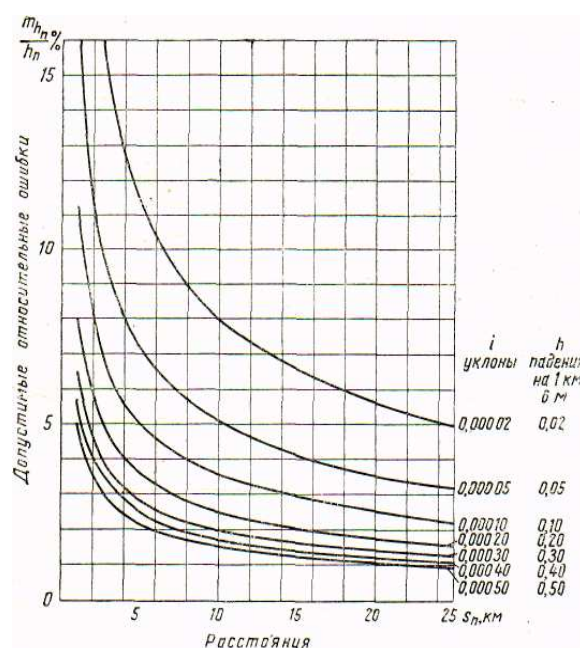


Рис. 4. Диаграмма допустимых относительных ошибок  $m_{h_n} / h_n$  при определении падений водной поверхности

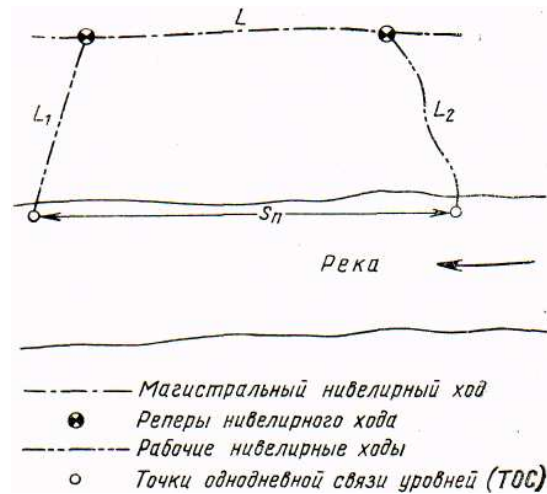


Рис. 5. Схема нивелирных ходов для определения падения водной поверхности реки.

Средние квадратические ошибки магистрального и рабочих нивелирных ходов могут быть получены по формуле

$$m = \eta \sqrt{L}, \quad (9)$$

где  $\eta$  – средняя квадратическая ошибка нивелирования одного километра (единицы веса) принимается  $\pm 2$  мм для II класса,  $\pm 4$  мм для III класса и  $\pm 8$  мм для IV класса;  $L$  – длина нивелирного хода в километрах.

Из практики гидрометрических работ известно, что средняя ошибка фиксации уровня воды одним колом равна  $m_\phi = \pm 10$  мм, а ошибка падения реки между двумя колами

$$m_\phi \sqrt{2} = \pm 14 \text{ мм}. \quad (10)$$

Очевидно, что точность нивелирования для определения падений водной поверхности будет отвечать задачам исследований реки в том случае, если ошибка  $m_{L_1}$  будет меньше ошибки или равна  $m_{h_n}$ , т.е.  $m_h \leq m_{h_n}$  или, согласно формуле (8),

$$m_h \leq 0,036 \sqrt{h_n}. \quad (11)$$

Если нивелирование магистрального и рабочих ходов производить с одинаковой точностью, то формулу (8) с учетом (9) можно представить в виде

$$m_h = \sqrt{\eta^2 (L + L_1 + L_2) + 2m_\phi^2} = m_{h_n}. \quad (12)$$

Точность нивелирования, характеризуемая средней квадратической ошибкой единицы веса, определится из формулы (12)

$$\eta_{\text{км}} = \sqrt{\frac{m_{h_n}^2 - 2m_\phi^2}{L + L_1 + L_2}}. \quad (13)$$

В практике могут быть случаи нивелирования рабочих ходов  $L_1$  и  $L_2$  с меньшей точностью, чем нивелирование магистрального хода  $L$ , тогда

$$m_h^2 = \eta_{\text{км}}^2 L + \eta_{\text{км}}^2 (L_1 + L_2) + 2m_\phi^2 = m_{h_n}^2. \quad (14)$$

Точность нивелирования магистрального хода  $L$  можно определить по формуле (14).

$$\eta_{\text{км}} = \sqrt{\frac{m_{h_n}^2 - [\eta_{\text{км}}^2 (L_1 + L_2) + 2m_\phi^2]}{L}}. \quad (15)$$

Ближайшая средняя квадратическая ошибка  $\eta$  из формулы (9) по отношению к вычисленной ошибке (15)  $\eta_{\text{км}}$  и определит точность нивелирования магистралей.

Приведенными формулами решается вопрос определения точности нивелирования водной поверхности реки. Из этих формул следует, что точность нивелирования зависит:

а) от величин падений (уклонов) реки;

б) от длины рабочих нивелирных ходов;

в) от расстояний между точками нивелирования уровней воды.

Очевидно, что чем меньше падение (уклон) реки, тем выше должна быть точность нивелирования. При одном и том же падении чем меньше расстояние между точками нивелирования уровней, тем выше должна быть точность нивелирования. При одном и том же падении расстояния между пунктами нивелирования уровней должны быть тем больше, чем больше длина рабочих ходов. Поэтому следует стремиться к проложению магистральных нивелирных ходов возможно ближе к руслу реки или повышать точность нивелирования рабочих ходов до точности магистрального хода. На реках с малым падением и при малых расстояниях между ТОС следует особое внимание уделять точности фиксирования уровня воды, т.е. стремиться к уменьшению  $m_{\phi}$ .

#### **Литература:**

1. Чеботарев А.С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. - М.: Геоиздат, 1998.
2. Алтунин С. Т. Водозаборные узлы и водохранилища. -М., Колос, 1994.
3. Быков В. Д., В а с и л ь е в А. В. Гидрометрия. -М.: Гидрометеиздат, 1992.
4. Вархотов Т. Л. Сборно-монолитные и сборные ячеистые плотины. -М.,: Госстройиздат, 1992.
5. Волков И. М. и др. Гидротехнические сооружения. - М.: Колос, 1998.
6. Денисов И. П. Основы использования водной энергии. -М.: Энергия, 1964.