

ТЕХНИКА ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯ

Итибаев Э., Султаналиева К., Белекова Б.Т.

Силы, действующие на плотину малой ГЭС

Водоподпорные сооружения испытывают действие сил и нагрузок, различных не только по физической сущности и величине, но и по характеру и продолжительности действия.

Схема сил, действующих на единицу длины водоподпорного сооружения, показана на рис. 1, при этом приняты следующие обозначения:

G - собственный вес сооружения с оборудованием; W_1 - горизонтальная составляющая гидростатического давления со стороны верхнего бьефа, при напоре H_1 , представленная треугольной эпюрой высотой, и шириной H_1 ; W_3 - то же, но со стороны нижнего бьефа при напоре H_2 ; W_2, W_4 - вертикальные составляющие гидростатического давления со стороны верхнего и нижнего бьефа, обусловленные наличием наклонных граней сооружения; W_5 - взвешивающее давление воды на подошву сооружения, равное весу столба воды высотой, соответствующей напору в нижнем бьефе H_2 ; W_6 - фильтрационное противодействие, определяемое расчетом; W_B - давление от действия волн; $W_{л.с.}$ - давление льда (статическое); E - давление наносов, отложившихся в верхнем бьефе; W_c - сейсмическое давление, возникающее при землетрясениях и вызывающее инерционные силы P_c , приложенные в центре тяжести сооружения.

Собственный вес сооружения определяется по его геометрическим размерам и величине объемной массы материала. Объемная масса бетона на стадии технического проекта принимается равной $2,4 \text{ т/м}^3$, а на стадии рабочих чертежей определяется в процессе исследований при подборе состава бетона.

Вес надстроек, оборудования, мостов и различных устройств, размещенных на сооружении, также учитывается в собственном весе сооружения. Сила от собственного веса направлена вниз и приложена в центре тяжести поперечного сечения сооружения.

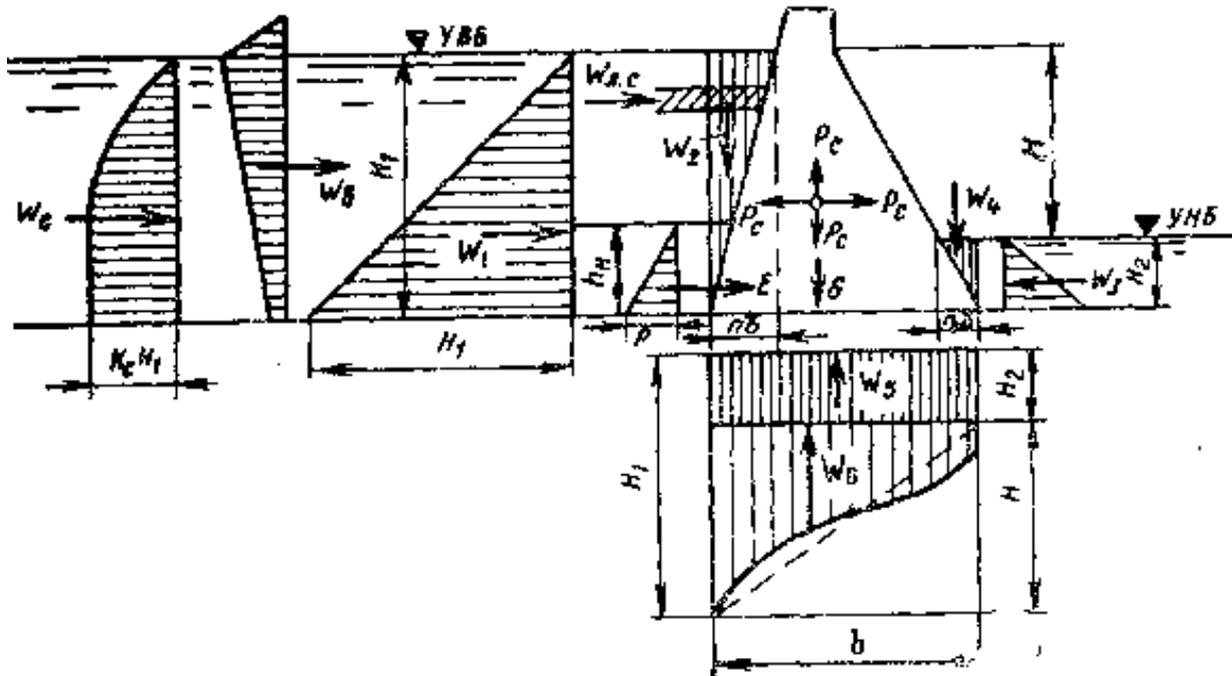


Рис. 1. Схема сил, действующих на плотину малой ГЭС

Гидростатическое давление воды на стенку изменяется по линейному закону от нуля на поверхности до γH_1 у дна, где γ -объемная масса воды, равная 1 т/м^3 , или 1000 кг/м^3 . Если соединить конечные значения давлений, то получим треугольник, который называется эпюрой давления.

Площадь эпюры давления будет равна силе гидростатического давления на вертикальную стену с напором H_1 длиной 1 м:

$$W_1 = \gamma \frac{H_1}{2}. \quad (1)$$

Точка приложения силы соответствует глубине погружения центра давления, который для плоской стенки размещается на глубине $\frac{2}{3}H$ от поверхности воды.

Вертикальное гидростатическое давление воды на наклонную плоскую стенку определяется по формулам:

для верхнего бьефа.

$$W_2 = \frac{1}{2} \gamma H_1 n b; \quad (2)$$

$$\text{для нижнего бьефа} \quad W_4 = \frac{1}{2} \gamma H_2 n_1 b. \quad (3)$$

Силы гидростатического давления, их направление и точка приложения при других очертаниях напорных поверхностей сооружений определяются по формулам гидравлики в зависимости от напора, размеров, формы и положения находящихся под напором элементов сооружений.

Гидродинамическое давление воды W_0 на стенку сооружения или другую его часть площадью 1 м^2 определяется по формуле

$$W_a = k \gamma \frac{Q}{g} v (1 - \cos \alpha), \quad (4)$$

где W_0 - гидродинамическое давление в тс ; k - коэффициент обтекания;

γ - объемная масса воды в т/м^3 ; Q - расход воды в $\text{м}^3/\text{сек}$; g - ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/сек}^2$; v - скорость движения воды в м/сек ; α - угол между направлением основного потока (струи) и плоскостью, воспринимающей удар. При $\alpha = 80 \div 90^\circ$ давление

$$W_a = k \gamma \frac{Q}{g} v \quad \text{или} \quad W_a = 2k \gamma \omega \frac{v^2}{2g},$$

где ω - площадь сечения струи в м^2 .

Волновое давление W_B возникает в результате действия на сооружение ветровых волн, образующихся в водохранилищах и морях под влиянием сильного и продолжительного ветра. При этом сооружение воспринимает дополнительное к гидростатическому давление воды, величина которого зависит от длины и высоты волн, глубины воды в водоеме, длины разгона волн, а также от конструкции самого сооружения. Волновое давление на единицу длины стенки может быть выражено треугольной эпюрой (рис. 1).

Статическое давление льда $W_{л.с}$ возникает главным образом от сплошного ледяного покрова при его температурном расширении, т. е. при быстром повышении температуры воздуха. Величина этого давления при протяженности ледяного покрова L , меньшей 50 м (по направлению от сооружения до противоположного берега), определяется по формуле

$$W_{\ddot{e}.n} = \frac{3,1(t_{i.\ddot{e}} + 1)}{t_{i.\ddot{e}}^{0,88}} Q^{0,33}, \quad (5)$$

где $W_{л.с}$ - статическое давление льда в $тс$; $t_{н.л}$ - начальная температура льда в $град$, от которой начинается ее повышение; принимается равной $0,35 t_{н.в}$ ($t_{н.в}$ - температура воздуха в $град$, соответствующая моменту ее повышения); Q - градиент температуры льда во времени в $град/ч$; принимается равным $0,35 \Delta t_{в}$ ($\Delta t_{в}$ - величина повышения температуры в $град$ за период в $ч$, в течение которого наблюдается повышение).

При протяженности ледяного покрова более $50м$ давление уменьшается и определяется умножением величины, вычисленной по формуле (5), на коэффициенты: $k=0,9$ при $L=60\div75 м$; $k=0,8$ при $L = 75\div100 м$ и $k=0,6$ при $L=150 м$ и более.

Сила статического давления льда направлена горизонтально и определяется умножением величины давления на площадь льда, соприкасающегося с поверхностью сооружения.

Для водоемов со скоростью воды подо/льдом менее $0,1 м/сек$ горизонтальная составляющая давления свободно плавающего льда может определяться по формуле

$$W_{\ddot{e}.n} = p\omega \sin \beta,$$

где $p = (0,001 \div 0,002) \omega^2$;

ω - максимальная скорость ветра в период паводка в $м/сек$, соответствующая 1%-ной обеспеченности;

β - угол между фронтом сооружения и направлением движения льдин.

Динамическое давление льда от удара одиночных льдин и заторных масс льда во время ледохода зависит от плотности расположения льдин в водохранилище, скорости их движения, размеров и наклона поверхности сооружения, о которую может происходить удар.

При ударе льдин о вертикальную стенку сооружения и направлении движения их, близком к нормали ($80- 90^\circ$), динамическое давление определяется по формуле

$$W_{\ddot{e}.a} = kv h_{\ddot{e}} \sqrt{\Omega},$$

где k - коэффициент, зависящий от прочности льда, принимаемый равным $2,4-4,3$;

v - скорость движения льдин (для водохранилищ не более $0,6 м/сек$);

h_n - толщина льдины в $м$;

Ω - площадь льдины по данным наблюдений в $м^2$.

Давление фильтрационных вод обусловлено фильтрацией воды из верхнего бьефа в нижний и проявляется в виде противодействия, действующего снизу вверх на подошву сооружения. Величина и распределение фильтрационного давления зависят от типа принятых дренажных и других противофильтрационных устройств в основании плотин. При отсутствии противофильтрационных устройств эпюра противодействия будет иметь форму трапеции, состоящей из прямоугольника высотой H_2 взвешивающего давления W_5 и треугольника высотой H_1 фильтрационного давления W_6 (см. рис. 1).

Взвешивающее давление воды, равное по интенсивности глубине воды в нижнем бьефе, определяется по формуле

$$W_5 = \gamma \alpha_2 H_2 b,$$

где γ - объемная масса воды;

α_2 - коэффициент пористости площади, т. е. коэффициент площади передачи давления, равный $0,7-0,95$;

H_2 - напор воды в нижнем бьефе;

b - ширина плотины по основанию.

Фильтрационное давление воды равно площади треугольной эпюры и определяется по формуле

$$W_6 = \gamma \alpha_1 \alpha_2 \frac{Hb}{2},$$

где α_1 - коэффициент, учитывающий степень трещиноватости скалы;

H - разность уровней бьефов.

Для слаботрещиноватой скалы $\alpha_1 = 0,2 \div 0,5$, для сильнотрещиноватой $\alpha_1 = 0,4 \div 0,7$. С применением противофильтрационных устройств в основании плотины (завесы, дренаж) коэффициент α_1 снижается до 0,1-0,3; следовательно, значительно уменьшается и фильтрационное давление.

Полное фильтрационное противодействие равно сумме взвешивающего и фильтрационного давления и может быть определено по формуле

$$W_i = W_5 + W_6 = \gamma \alpha_2 \left(I_2 b + \frac{\alpha_1 H b}{2} \right) = 0,5 \gamma \alpha_2 b (\alpha_1 H + 2H_2).$$

Давление наносов на вертикальную грань определяется по формуле

$$A = \frac{1}{2} \gamma_i h_i^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

где γ_i - объемная масса наносов под водой в т/м^3 ; h_i - высота слоя наносов в м ;

φ - угол внутреннего трения грунта наносов в град.

Значение объемной массы наносов под водой равно: $\gamma_i = \gamma_1 - \gamma(1 - n)$, где γ и γ_1 - соответственно объемная масса воды и наносов в сухом виде (при средней крупности наносов 0,01-0,05 мм γ_1 принимается равной $0,9 \div 1,3 \text{ т/ж}^3$); n - относительная пористость наносов. Эпюра давления наносов имеет вид треугольника с основанием, равным

$$p = \frac{2E}{h_i}.$$

Сила давления наносов, действующая на вертикальную стенку шириной 1 м при угле внутреннего трения $\varphi = 0$, будет равна:

$$A = \gamma_i \frac{h_i^2}{2}.$$

Точка приложения силы расположена на $2/3 h_i$ от поверхности наносов.

Сейсмические силы W_c проявляются в результате землетрясений и вызывают силы инерции, пропорциональные весу сооружения, направленные в сторону, обратную направлению толчков, и приложенные в центре тяжести конструкции. Эти силы определяются по формуле

$$P_c = 1,5 G k_c,$$

где G - собственный вес сооружения и находящихся на нем устройств;

k_c - сейсмический коэффициент, определяемый по картам сейсмического районирования.

При прочих равных условиях конструкция, размеры и положение водоподпорного сооружения и его отдельных элементов зависят от сочетания и величин действующих на него сил и устанавливаются специальными расчетами.

Литература

1. Нормы технологического проектирования гидроэлектростанций. – М.: Гидропроект, 1977. – 131 с.

2. *Околович М.Н.* Проектирование электрических станций. – М.: Энергоиздат, 1982. – 400 с.
3. *Волков И.М.* и др. Гидротехнические сооружения. М., «Колос», 1978.
4. *Быков В. Д., Васильев А. В.* Гидрометрия. М., Гидрометеиздат, 1972.
5. *Денисов И.П.* Основы использования водной энергии. М., «Энергия», 1964.
6. *Иванов А.Н., Неговская Т.А.* Гидрология и регулирование стока. М., «Колос», 1971.

* * *