ТЕХНИКА ЖАНА ТЕХНОЛОГИЯ

Белеков Т.Э., Турдукулова А.А., Кочкорова М.

Фильтрационный расчет плотины малой ГЭС

Действие сил фильтрационного потока является одной из особенностей работы гидротехнических сооружений. Эти силы в значительной мере определяют формы и размеры сооружения [1].

Нескальные основания гидротехнических сооружений слагаются горными породами различной водопроницаемости. Поэтому под действием напора, т. е. разности уровней воды в бьефах, вдоль подземного контура сооружения, в обход его, а в ряде случаев и в самом сооружении происходит движение грунтового потока (фильтрационных вод) [2].

Если сооружение достаточно водопроницаемо (земляная плотина, дамба), то грунтовый поток в нем будет безнапорным со свободной поверхностью, линия которой на профиле плотины называется кривой депрессией. Задачи фильтрационного расчета в этом случае сводятся к выявлению условий движения грунтового потока в теле плотины и влияния его на устойчивость низового откоса и основания [3].

Если сооружение по сравнению с грунтами, слагающими его основание, малопроницаемо, то грунтовый поток, не имея свободной поверхности, будет напорным. Верхняя граница этого потока - подземный контур (подошва) сооружения, а нижняя - водоупор, обладающий малой фильтрационной способностью. Будучи напорным, фильтрационный поток, направленный снизу вверх, оказывает давление на подошву сооружения, уменьшая тем самым его вес и сопротивление сдвигающим силам [4].

В несвязных грунтах (песок и др.) может происходить механическая суффозия, что приводит к ослаблению и осадкам основания и сооружения, а иногда и к разрушениям последнего. Прочность сооружения может быть снижена и в результате химической суффозии [5].

При выходе в нижний бьеф фильтрационный поток оказывает давление на подошву сооружения, в результате чего при некоторых условиях может произойти выпор (вертикальное перемещение) грунта и как следствие перекос сооружения. Кроме того, из верхнего бьефа в нижний происходит утечка воды, которая иногда может привести к недопустимым по величине потерям воды из водохранилища.

Фильтрация воды по направлению к нижнему бьефу происходит не только в основании сооружения, но и в обход его - в берегах русла, дамбах каналов, к которым примыкают водоподпорные сооружения, и др. Здесь также могут происходить суффозия, оползание берегов в нижний бьеф и потери воды.

Для предотвращения вредных последствий действия фильтрационного потока на сооружение и его основание принимают специальные меры, которые сводятся главным образом к удлинению пути фильтрации за счет выбора соответствующих форм и размеров подземного или фильтрационного контура сооружения [6].

Подземный контур сооружения состоит из следующих основных частей (рис. 1): понура, водобоя и рисбермы.

Понур расположен перед сооружением (в верхнем бьефе) и служит для предотвращения размыва русла и удлинения пути фильтрации. Выполняют, понур из водонепроницаемого и неразмываемого в данных условиях материала: бетона, железобетона, дерева, глинобетона. Толщину и длину понура назначают по конструктивным соображениям, но с учетом величины напора и типа сооружения. Так, например, минимальную толщину понура из глинобетона принимают равной 0,6-0,75м соответственно для напоров H величиной 5-10м и более. Длина

понура в большой мере зависит от типа сооружения, и ее окончательно уточняют в процессе фильтрационных расчетов. Для удлинения пути фильтрации в верхнем бьефе устраивают шпунтовый ряд - водонепроницаемую стенку, состоящую из отдельных металлических, железобетонных или деревянных шпунтов.

Водобой является наиболее ответственной частью сооружения. Он должен выдерживать динамическую нагрузку сверху от проходящего по нему с большой скоростью поверхностного потока и напор фильтрационного потока снизу. Толщину водобоя определяют из условия его устойчивости против выпирающего действия фильтрационного потока, а длину - по гидравлическому расчету из условия безопасного сопряжения потока в нижнем бьефе. Однако в соответствии с фильтрационным расчетом длину водобоя иногда увеличивают.

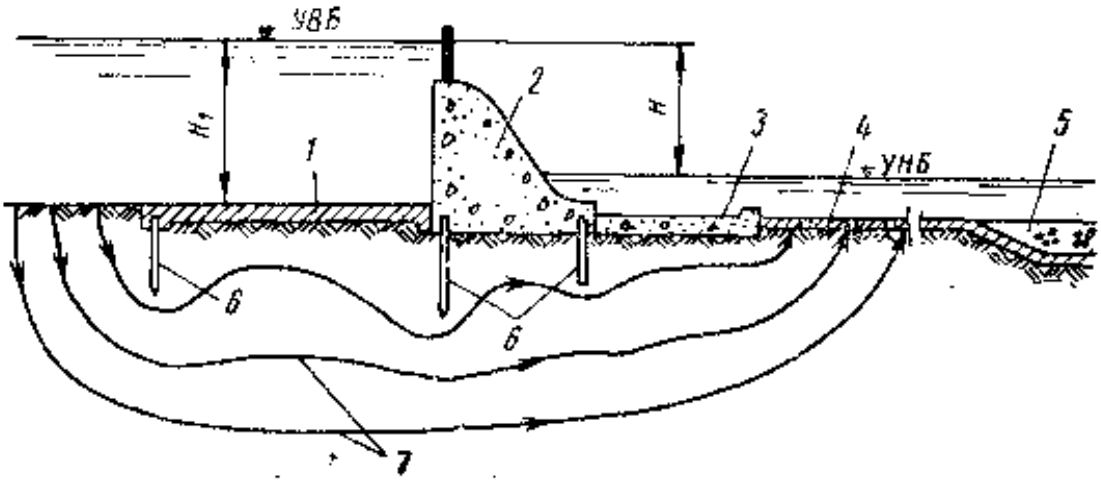

Рис. 1. Элементы подземного контура плотины на водопроницаемом основании: 1 - понур; 2 - тело плотины; 3 - водобой; 4 - рисберма с дренажными отверстиями; 5 -каменная наброска; 6 - шпунт; 7 - линии фильтрационных токов

Рисберма служит для гашения энергии потока, сходящего с водобоя. Для этого она должна иметь достаточную длину и соответствующую для выравнивания скоростей шероховатость. Кроме того, рисберма, будучи водопроницаемой, гасит оставшийся за водобоем напор фильтрационного потока, предотвращая возможный вымыв грунта. В конце водобоя или рисбермы нередко устраивают обратные фильтры или зубья, которые позволяют сократить длину подземного контура или значительно обезопасить его работу, Понур, водобой и рисберма, т. е. части сооружения, составляющие искусственное русло, по которому проходит поток воды, называются флютбетом.

Таким образом, подземный контур сооружений состоит из флютбета и в случае необходимости из дополнительных устройств-шпунтов, обратных фильтров, зубьев и др. Конструктивные элементы и размеры подземного контура уточняют в процессе фильтрационных расчетов, учитывая не только свойства грунтов основания, но и назначение, класс, условия строительства и эксплуатации сооружения. Расчеты выполняют для нескольких вариантов контура, из которых выбирают наиболее рациональный.

В задачи фильтрационных расчетов, прежде всего, входит установление основных нагрузок, действующих на подземный контур сооружения (противодавления), а также определение величин скоростей и расходов фильтрационного потока и пьезометрических уклонов (градиентов напора) в различных точках основания сооружения.

Рассмотрим схему движения фильтрационного потока под сооружением, водонепроницаемая подошва которого выполнена в виде плиты *AB* и уложена на поверхность

основания *CD* из однородного водопроницаемого грунта большой мощности (рис. 2). Напор в верхнем бьефе равен *H*, а в нижнем - нулю.

Под действием напора *H* струйки воды, проходя через поверхность *AB,* будут двигаться в сторону нижнего бьефа и стремиться выйти на его поверхность в зоне *BD*. При этом каждая струйка воды движется по криволинейным как бы огибающим линиям (траекториям) *mn, m'n',* длина которых увеличивается с удалением места выхода струйки от водоподпордой стенки в верхнем бьефе. По пути движения воды вследствие сопротивления, оказываемого грунтом, напор должен падать от величины, равной *H* в начале пути фильтрации, т. е. на поверхности *CA,* до нуля на поверхности *BD* в конце пути. Следовательно, на линиях *mn, m'n', m"n",* называемых линиями тока, есть точки, напоры в которых будут соответствовать промежуточным величинам *H*, т. е. 0,9*H*; 0,8*H*; ...; 0,1*H*. Это может быть подтверждено и экспериментально. Если, например, на линии тока *mn* в точке s установить трубку, то уровень воды в ней установится равным 0,9*H*, а в точке s' - равным 0,7*H*. В такой же последовательности будет падать напор и на других линиях тока *m'n', m"n".* Соединив точки равных напоров на всех линиях тока, получим линии равных напоров или так называемые эквипотенциали, направленные от подошвы сооружения вниз.

Таким образом, эквипотенциали характеризуются постоянством напора, выраженного в долях полного напора *H*. Эквипотенциалями, является также и линия *CA* с напором, равным Я, и линия *BD* с напором, равным нулю. Эквипотенциалями и линиями тока, в основании сооружения образуется так называемая гидродинамическая сетка потенциального движения фильтрационного потока.

Прежде всего по положению эквипотенциалей определяют ординаты и эпюру фильтрационного давления на подошву сооружения. Для этого на последней (линия *AB* на рис. 2) откладывают ординаты напоров, соответствующие по величине и положению эквипотенциалям, пересекающим подошву, - в данном случае 0,7; 0,5 и 0,3*H*. В точке *A,* т. е. в начале подошвы, напор, а следовательно, и ордината будут равны *H*, а в точке *B* - нулю. Полное фильтрационное давление на подошву сооружения будет равно площади эпюры, умноженной на величину объемной массы воды.

По гидродинамической сетке, построенной теоретически или экспериментально, для любой точки определяют также величину и градиент напора, направление движения (по касательной к линии тока), скорость и расход фильтрационного потока.

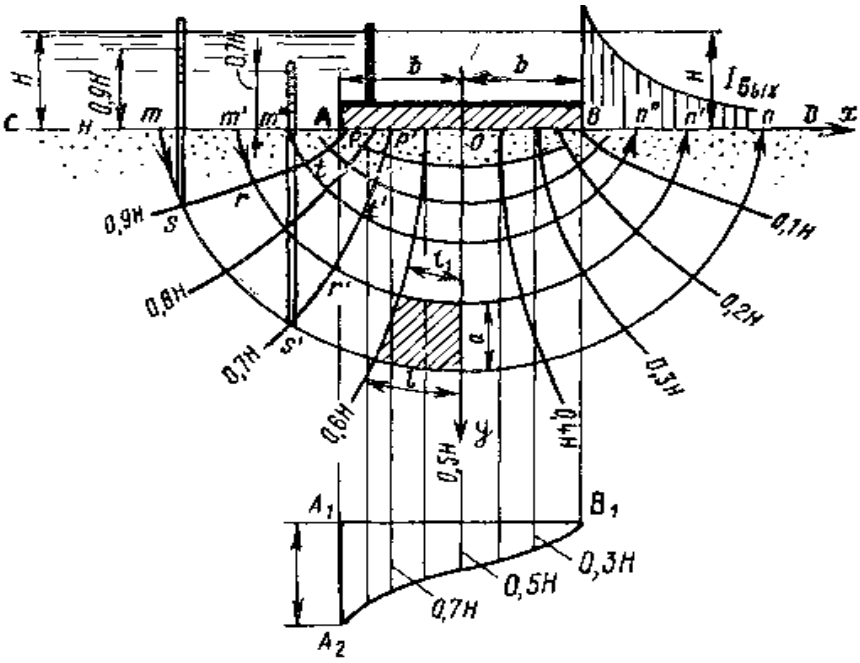

Рис. 2. Гидродинамическая (фильтрационная) сетка для фильтрации воды под плоской подошвой сооружения

Движение подземных вод в мелкопористой среде подчиняется закону Дарси, согласно которому скорость н любой точке области фильтрации равна:

$$\upsilon = k_ô I,$$

где υ - скорость фильтрации в *см/сек*; $k_ô$ - коэффициент фильтрации в *см/сек;*

I - градиент фильтрации или напора.

Градиент фильтрации I равен падению напора ΔH, деленному на длину линии тока ΔS, на которой произошло это падение. Таким образом, $I = \frac{\Delta H}{\Delta S}$ есть не что иное, как пьезометрический уклон, и является безразмерной величиной.

Для заштрихованной клетки (рис. 2) средний градиент напора по линии тока $m'n'$ между эквипотенциалями $0{,}6H$ -$0{,}5H$ будет соответствовать

$$I_{ñð} = \frac{0{,}6H - 0{,}5H}{l_1},$$

где l_1 - верхняя длина клетки, т. е. расстояние между эквипотенциалями $0{,}6H$ и $0{,}5H$.

Средний же градиент напора по линии тока mn для тех же эквипотенциалей будет, следовательно, равен:

$$I_{ñð} = \frac{0{,}6H - 0{,}5H}{l},$$

Зная градиент $I_{ñð}$, можно определить и среднюю скорость по формуле

$$\upsilon_{ñð} = k_ô I_{ñð}.$$

Тогда средний расход фильтрационного потока, проходящего через рассматриваемую клетку, составит

$$q_{ñð} = \frac{\upsilon_{ñð} + \upsilon_{ñð1}}{2} à,$$

где a - расстояние между линиями тока mn и $m'n'$. Этот же расход воды будет проходить по всему поясу фильтрации, ограниченному упомянутыми линиями токов.

Полный расход фильтрационного потока в области, ограниченной линией тока mn и подошвой сооружения AB, будет равен сумме расходов поясов фильтрации, определенных указанным выше способом:

$$Q_ô = \sum q_{ñð}.$$

Анализ структуры сетки показывает, что размеры клеток увеличиваются по мере удаления их от подошвы вниз. В этом направлении будет уменьшаться и скорость, которая на какой-то глубине может оказаться настолько мала, что ею, а следовательно, и расходом фильтрационного потока можно пренебречь. Наоборот, чем ближе к подошве, тем меньше становится размер клеток, скорости возрастают и достигают максимальных величин у подошвы сооружения, где могут оказаться выше допустимых для грунтов основания.

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., Гидрометеоиздат, 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.

* * *