

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ (теория и примеры расчета)



НИЦ МКВК
Ташкент 2019

Межгосударственная координационная
водохозяйственная комиссия Центральной Азии

Научно-информационный центр МКВК

А.Г. Сорокин, Н.А. Юлдашев

**ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ
ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ
(теория и примеры расчета)**

Ташкент 2019 г.

Составители:

Сотрудники НИЦ МКВК

Сорокин А.Г. и Юлдашев Н.А.

Под редакцией Советника Министра водного хозяйства Республики Узбекистан И.Х. Джурабекова и директора НИЦ МКВК проф.В.А.Духовного

Оглавление

1. Общие положения	5
2. Построение теоретических кривых депрессии и расчет фильтрационного расхода	14
2.1. Расчет № 1. Фильтрация через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании без подтопления низового откоса	14
2.2. Расчет № 2. Фильтрация через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении низового откоса.....	18
2.3. Расчет № 3. Фильтрация через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупоре, без подтопления дренажа	19
2.4. Расчет № 4. Фильтрация через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении дренажа	21
2.5. Расчет № 5. Фильтрация через плотину с ядром, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе	22
2.6. Расчет № 6. Фильтрация через плотину с экраном, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе	24
Приложение 1. Примеры расчета фильтрации.....	25
Пример 1. Расчет фильтрации через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании без подтопления низового откоса	25
Пример 2. Расчет фильтрации через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении низового откоса.....	27
Пример 3. Расчет фильтрации через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупоре, без подтопления дренажа	29

Пример 4. Расчет фильтрации через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении дренажа	31
Пример 5. Расчет фильтрации через плотину с ядром, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе	33
Пример 6. Расчет фильтрации через плотину с экраном, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе	35
Приложение 2. Принцип гидравлического расчета каналов	37
Использованная литература	45

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчет земляных плотин на фильтрацию состоит в определении:

- положения депрессионной кривой в теле плотины;
- фильтрационных расходов через тело плотины;
- выходных скоростей (или градиентов) на низовой откос, или входных скоростей (или градиентов) в дренаж.
- полной гидродинамической сетки движения фильтрационного потока или отдельных его частей, главным образом на выходных участках.

Определение положения линии депрессии в теле земляной плотины необходимо для суждения о том, насколько тело плотины находится в безопасных условиях в отношении пучения от промерзания, а также для подсчета коэффициента запаса на устойчивость низового откоса.

Определение фильтрационных расходов производится с целью выяснения возможных утечек воды из водохранилища и для расчета внутренних дренажей. Скорости (или градиенты) фильтрационного потока обычно определяются при проектировании плотин 1 и 2 классов и при расчетах плотин, строящихся в сложных геологических условиях.

Перечисленные фильтрационные характеристики необходимы для решения вопроса об устройстве дренажа, его конструкции и размерах.

Под влиянием напора, создаваемого плотиной, происходит фильтрация воды через тело плотины из верхнего бьефа в нижний. Таким образом, часть тела плотины насыщена водой, движущейся в порах между частицами грунта. Верхней границей фильтрации будет линия, которая называется кривой депрессии. Ниже депрессионной кривой все поры грунта тела плотины заполнены движущейся с той или иной скоростью фильтрационной водой. Выше депрессионной кривой находится зона капиллярного поднятия воды, в которой водой заполнены только мелкие поры-капилляры. Высота поднятия капиллярной воды над кривой депрессии зависит от капиллярных свойств грунтов.

Кривая депрессии изменяет свое положение во времени, поднимаясь или опускаясь, в зависимости от колебаний горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефах.

Уравнение для вычисления кривой депрессии представляет собой одну из неизвестных решаемой задачи. Трудности при определении положения кривой депрессии несколько облегчаются тем, что вдоль этой границы должны быть удовлетворены два условия: постоянное давление и требование, чтобы линия кривой депрессии представляла собой линию тока установившегося движения грунтовых вод.

Если кривая депрессии выклинивается на низовом откосе плотины, то здесь имеет место фильтрация воды под некоторым остаточным напором.

В этом случае выклинивающаяся вода начинает стекать струйками вниз по поверхности откоса. Эта поверхность называется поверхностью (линией) высачивания. Линия высачивания не является линией тока, поскольку она сама пересечена линиями тока, которые на ней кончаются. Более того, линии тока по определению не могут пересекаться. Основное свойство поверхности высачивания заключается в том, что давление на ней всегда равно атмосферному.

Выклинивающаяся на откос вода вымывает из тела плотины частицы грунта. Такое нарушение устойчивости частиц грунта, называемое суффозией, ведет к усилению фильтрации, а затем к оползанию и разрушению низового откоса, что представляет прямую угрозу всей плотине.

Отсюда следует, что кривая депрессии не должна выклиниваться на низовом откосе плотины.

Для правильного отвода фильтрационной воды через тело земляной плотины в нижний бьеф устраивают дренаж. Назначение дренажа – предотвращение попадания фильтрационного потока на откос плотины, обеспечение нормального выхода воды в нижний бьеф без фильтрационных деформаций грунта.

В плотинах с дренажем кривая депрессии более крутая и не выходит на низовой откос. При этом зимой откос не промерзает, а летом не насыщается водой. Дренаж позволяет делать низовые откосы земляных плотин более крутыми.

Движение фильтрационных вод подчиняется **закону Дарси**:

$$q = k \cdot \omega \cdot I, \text{ или } q = R \cdot I \quad (1.1)$$

где

q - расход воды; $R = k \cdot \omega$;

ω - полная геометрическая площадь сечения потока;

I - гидравлический уклон (градиент) фильтрационного потока, равный H/L - (H - потеря напора на длине пути фильтрации L);

k - коэффициент фильтрации грунта.

Из формулы (1.1) следует, что расход грунтового потока линейно зависит от градиента, что имеет место при ламинарном движении воды.

Закон Дарси (1.1) выражается также зависимостью

$$v = k \cdot I^* \quad (1.2)$$

Выражение для скорости можно написать, кроме того, в виде

$$v = q/\omega \quad (1.3)$$

где

v - фиктивная скорость фильтрации, отнесенная к полному сечению потока ω . Действительная скорость течения воды в порах грунта равна:

$$v' = v/m \quad (1.4)$$

где

m – активная порозность грунта.

* - величины коэффициента фильтрации для грунтов:

- тяжелых – 0.1-0.5 м/сут,
- средних – 1.0-3.0 м/сут,
- легких – 5.0-10.0 м/сут.

Основные дифференциальные уравнения движения грунтовых вод выводятся из **закона Дарси** без учета сил инерции.

Для установившегося плоского движения эти уравнения имеют вид:

$$v_x = d\varphi/dx = -k \cdot dh/dx \quad (1.5)$$

$$v_y = d\varphi/dy = -k \cdot dh/dy \quad (1.6)$$

$$dv_x/dx + dv_y/dy = 0 \quad (1.7)$$

где

v_x, v_y - составляющие скорости по осям x и y ;

k - коэффициент фильтрации;

h - напор;

φ - потенциальная функция, связанная с напором зависимостью:

$$\varphi = -k \cdot h, \quad (1.8)$$

Уравнение (1.7) выведено из условия неразрывности потока несжимаемой жидкости. Если подставить в это уравнение вместо v_x и v_y их значения из зависимостей (1.5) и (1.6), то получим:

$$d^2\varphi/dx^2 + d^2\varphi/dy^2 = 0 \quad (1.9)$$

$$d^2h/dx^2 + d^2h/dy^2 = 0 \quad (1.10)$$

Эти уравнения показывают, что функции φ и h являются гармоническими.

Фильтрацию через однородную плотину на водонепроницаемом основании можно также рассчитывать и другим способом.

Общий метод расчета в свое время был дан Н.Н. Павловским, однако этот метод нуждается в поправках на основе позднейших работ.

Ниже излагается комбинированный метод расчета фильтрации через плотину трапецеидального профиля из однородного материала, допускающего применение закона Дарси. Рассматривается установившееся движение фильтрационной воды в условиях плоской задачи.

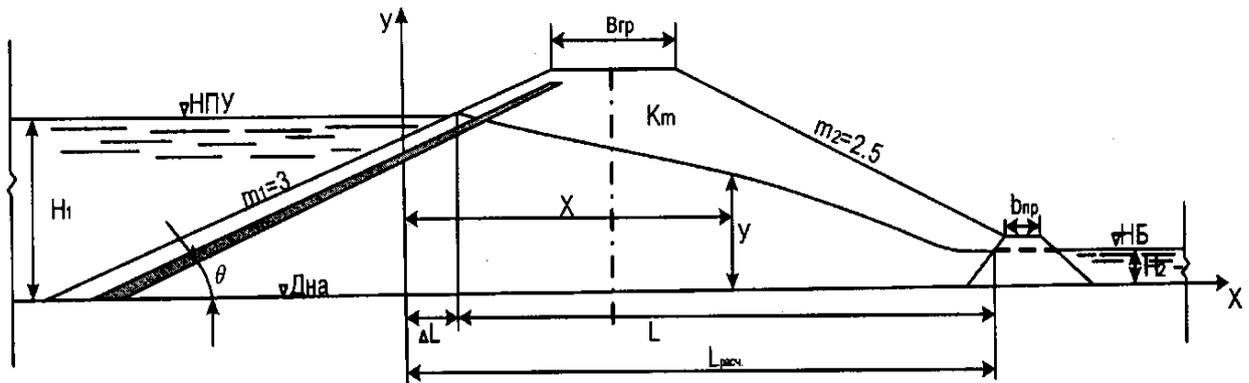


Рис. 1.1. Схема для расчета фильтрации через плотину

Плотины недренированные. Поперечный профиль плотины из однородного грунта с коэффициентом фильтрации k делится на три секции:

- 1) верхний клин-треугольник, отсекаемый вертикалью, проведенной через урез воды верхнего бьефа (точка А);
- 2) низовой клин-треугольник, отсекаемый вертикалью в точке С высачивания кривой депрессии на низовом откосе;
- 3) среднюю часть между указанными вертикалями.

Падение напора фильтрационных вод a в пределах верхового клина ABO можно определить, пользуясь гидравлическим решением П.А. Шанкина, в котором предполагается движение струек воды по круговым кривым, имеющим центр в точке А и заполняющим зону клина AA_1A_2 с выходной высотой h . Считая расход воды q по скорости средней струйки с радиусом $R = h/2$ под напором $a = H-h$, можно выразить расход следующим образом:

$$\begin{aligned} q &= kah/(\pi(90^\circ - \theta^\circ) \cdot h/2) = \\ &= ka/(\pi(90^\circ - \theta^\circ) \cdot 360) \approx 115ka/(90^\circ - \theta^\circ) = \\ &= 115(H-h)/(90^\circ - \theta^\circ) \end{aligned} \quad (1.11)$$

где

q – расход воды,

k - коэффициент фильтрации грунта тела плотины,

H - напор воды в верхнем бьефе,

h - высота высачивания,

a - напор воды, $a = H - h$,

θ - угол заложения откоса к горизонту

Движение воды в средней части профиля совершается при наличии свободной поверхности депрессии EFC , уравнение которой в осях XOY получается, если написать для сечения F выражение скорости **по Дарси** и расхода фильтрующейся воды:

$$v = -kdy/dx \text{ и } q = vy = -kydy/dx$$

Отсюда $kdx = kydy$ и после интегрирования

$$qx = (-ky^2/2) + C$$

$$\text{При } x = 0, y = h \quad C = kh^2/2,$$

$$\text{поэтому } qx = (h^2 - y^2)/2 \text{ или } x = k^2/2q \cdot (h^2 - y^2) \quad (1.12)$$

Это – уравнение параболы, являющейся кривой депрессии, касательная к которой в точке C представляет собой линию низового откоса. Уравнение (1.12) выведено Дюпюи гидравлически, а в 1952 г. проф. И.А. Чарный дал его строго гидромеханический вывод.

Расход воды в средней части профиля плотины может быть получен из формулы (1.12) путем подстановки

$$x = s, y = y_0 = a_0 + h_0:$$

$$q = k/2s \cdot (h^2 - (a_0 + h_0)^2) \quad (3)$$

Если обозначить длину OD, известную из чертежа плотины через s_0 , то $s = s_0 - m_1(a_0 + h_0)$ и формула (1.13) может быть представлена в виде:

$$q = k \cdot (h^2 - (a_0 + h_0)^2) / 2(s_0 - m_1(a_0 + h_0)) \quad (1.13')$$

В пределах низового клина расход фильтрации определяется отдельно для зоны выше горизонта нижнего бьефа I и нижнего бьефа II в предположении, что струйки жидкости направлены горизонтально. Если принять границу клина в соответствии с эквипотенциалью CC_2 , принимаемой по П.А. Шанкину за дугу круга, описанную из точки D, то для верхней части клина в зоне I

$$dq_1 = k \cdot z / (e_1 d_1) \cdot dz = kz \cdot dz / (z / \sin \theta_1) = k \sin \theta_1 \cdot dz \text{ и}$$

$$q_1 = k \sin \theta_1 \int dz = ka_0 \sin \theta_1;$$

в зоне II

$$dq_2 = k \cdot a_0 \sin \theta_1 \cdot dz / z \text{ и}$$

$$q_2 = \int dq_2 = ka_0 \sin \theta_1 \int dz / z = k \cdot a_0 \sin \theta_1 \cdot \ln (a_0 + h_0) / a_0$$

а общий расход

$$q = q_1 + q_2 = ka_0 \sin \theta_1 (1 + \ln (a_0 + h_0) / a_0) \quad (1.14)$$

Пользуясь решением С.В. Фальковича, Г.К. Михайлов предложил более простое выражение для высоты высачивания a_0 при $m_1 > 1$:

$$q = k \cdot a_0 / (m_1 + 0,5) \quad (1.15)$$

Учитывая, что во всех секциях плотины проходит один и тот же расход q , можно свести весь расход фильтрации к решению системы трех уравнений:

$$I) \quad q = 115(H-h)/(90^\circ - \theta^\circ);$$

$$II) \quad q = k \cdot (h^2 - (a_0 + h_0)^2) / 2(s_0 - m_1(a_0 + h_0));$$

$$III) \quad q = k a_0 \sin \theta_1 (1 + \ln(a_0 + h_0) / a_0) \quad (1.16)$$

Можно заменить верховый клин эквивалентным ему в фильтрационном отношении прямоугольником шириной AA' и высотой H , который создавал бы ту же потерю напора a в точке A , что и верховой клин. Тогда депрессионная кривая EC была бы продолжена до точки A' , а расход фильтрации через верховой клин и среднюю часть плотины выразился формулой:

$$q = k((H^2 - (a_0 + h_0)^2) / 2\lambda(H + s)) \quad (1.17)$$

Величина λ может быть определена по предложению Г.К. Михайлова формулой:

$$\lambda = m / (1 + 2m) \quad (1.18)$$

Величина a_0 в уравнении (1.17) может быть определена либо по формуле (1.14), либо как предлагает проф. Е.А. Замарин, по формуле:

$$a_0 = s_1 / m - \sqrt{(s_1 / m)^2 - (H - h_0)} \quad (1.19)$$

Таким образом, вся задача фильтрации в недренированной плотине сводится к решению двух фильтрационных уравнений (1.17) и (1.19) или (1.17) и (1.14).

Основанные на законе Дарси решения задач фильтрации используются в практических расчетах для условий движения воды в песчаных, глинистых, песчано-гравелистых грунтах и в скальных породах с мелкой и изотропной трещиноватостью.

Движение воды в указанных грунтах при расчетах гидротехнических сооружений рассматривается ламинарным, хотя здесь могут иметь место зоны с большими или с весьма малыми скоростями течения, где движение фильтрационных вод отклоняется от **закона Дарси**. Однако эти ограниченные по размерам зоны фильтрационного потока не оказывают заметного влияния на движение воды во всей области фильтрации.

При фильтрационных расчетах приняты следующие положения и допущения:

- расчет фильтрации через тело плотины ведется в условиях плоской задачи, вдоль линии токов с разбивкой плотины по длине на ряд участков (в зависимости от очертания сооружения в продольном направлении и от геологических условий основания) и выбором среднего сечения для каждого из участков:
- пористая среда однородная;
- жидкость несжимаемая с постоянной плотностью;
- закон Дарси должен быть применим;
- водоупорное основание плотины горизонтально и теоретически водонепроницаемо.

Так как в природе не существует абсолютно непроницаемых грунтов, а все грунты в той или иной степени проницаемы, то под понятием «водонепроницаемое основание» следует понимать основание, сложенное из таких грунтов, которые имеют весьма малый коэффициент фильтрации по сравнению с коэффициентом фильтрации тела плотины. В таком случае вся вода под действием напора фильтруется только через тело плотины, а через основание почти никакой фильтрации не будет.

Если плотина не однородная, то при выполнении фильтрационных расчетов используют метод виртуальных длин, позволяющий виртуально заменить противифльтрационное

устройство (экран или ядро) эквивалентным слоем и дальнейшие расчеты проводить как для однородной плотины.

2. ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ДЕПРЕССИИ И РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСХОДА

2.1. Расчет № 1. Фильтрация через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании без подтопления низового откоса

Расчетные приемы для решения задач по определению фильтрации воды через тело плотины основываются на ряде допущений. Считается, что положение кривой депрессии не зависит от рода и качества грунта, что кривая депрессии начинается с уреза воды в верхнем бьефе и что решения даются для плоской задачи при горизонтальном водоупоре.

Эти условности вносят неточности в решения, так как положение кривой депрессии зависит от рода грунта. Так, в глине она располагается выше, чем в супесях; в более плотном грунте выше, чем в менее плотном. Вследствие потерь на вход кривая в начале будет располагаться ниже уреза воды. В земляных плотинах фильтрующаяся вода движется в сторону тальвега, а не точно поперек плотины, т.е. условия плоской задачи не выполняются.

Однородность грунта плотин также условна; при укатке тело плотины принимает слоистую структуру с пониженным значением коэффициента фильтрации по вертикали, вследствие чего положение депрессионной кривой повышается по сравнению с кривой депрессии однородной земляной плотины. Все это указывает на неточность и приближенность предложенных решений фильтрации через земляные плотины.

При движении фильтрационной воды в пределах верхнего откоса надо учитывать, что поступление воды в тело земляной плотины должно осуществляться нормально к откосу. Дальнейшее направление движения воды происходит с довольно резким переломом от направления, нормального к заложению откоса, к направлению депрессионной кривой в средней части

тела плотины. При разбивке кривой движения отдельных струек в пределах верхнего клина, несомненно, устанавливается, что в нижней части образуется зона, которая почти не участвует в пропуске фильтрационных расходов, и, следовательно, эта часть несколько снижает общий фильтрационный расход.

При нахождении уравнения свободной поверхности, длины линии высачивания и фильтрационного расхода через плотину используется ряд допущений Дюпюи. Эти допущения следующие:

- в любом вертикальном разрезе фильтрация горизонтальна;
- скорость фильтрации постоянна по всей мощности потока;
- скорость фильтрации на свободной поверхности можно выразить как $v = -k \cdot dh/dx$, а не $v = -k \cdot dh/ds$. Это допущение приемлемо для малых уклонов свободной поверхности.

Чтобы была возможность применить параболу Дюпюи для построения депрессионной кривой и для упрощения расчетов земляной плотины, заменяют наклонный верховой откос на вертикальный (так называемое раздельное сечение), отстоящий от уреза воды в верхнем бьефе на расстоянии:

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 \quad (2.1)$$

где

h_1 - глубина воды в верхнем бьефе;

$\lambda = m/(1+2m)$ – коэффициент, зависящий от заложения верхового откоса плотины. Основываясь на вышесказанном, рассмотрим порядок построения кривой депрессии через земляную плотину при отсутствии воды в нижнем бьефе:

1. Определяется положение раздельного сечения, которое в данном случае совпадает с осью ординат ou (рис. 2.1.):

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 \quad (2.2)$$

2. Расстояние от подошвы низового откоса до оси ординат:

$$L = \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m \quad (2.3)$$

где

t - превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в верхнем бьефе

3. Расстояние от оси ординат o до верховой бровки гребня плотины:

$$L_2 = \Delta B + t \cdot m \quad (2.4)$$

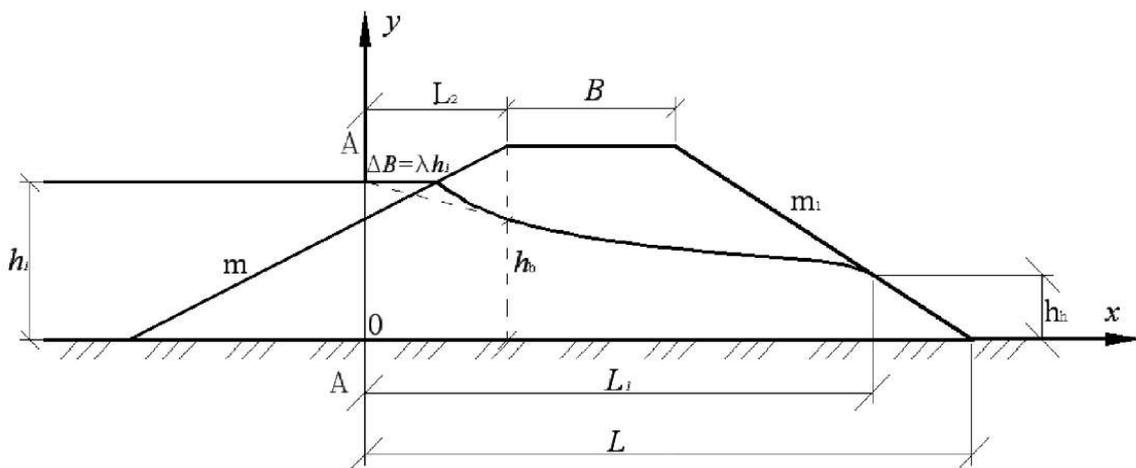


Рис. 2.1. Построение кривой депрессии для однородной земляной плотины без дренажа при отсутствии воды в нижнем бьефе

4. Определяется ордината кривой депрессии в месте выхода ее на низовой откос по уравнению Е.А. Замарина:

$$h_H = L/m_1 - \sqrt{(L/m_1)^2 - h_1^2} \quad (2.5)$$

5. Расстояние от начала координат до выхода кривой депрессии на низовой откос:

$$L_1 = L - m_1 \cdot h_H, \quad (2.6)$$

6. Ордината кривой депрессии на линии верховой бровки гребня плотины h_B по уравнению:

$$h_B^2 = h_1^2 - ((h_1^2 - h_H^2)/L_1) \cdot L_2 \quad (2.7)$$

7. Ось абсцисс ox проходит по подошве плотины и направлена от раздельного сечения в сторону нижнего бьефа. Задаваясь значениями x в диапазоне от верховой бровки гребня плотины до места выхода кривой депрессии на низовой откос, определяем ординаты кривой депрессии по уравнению:

$$y^2 = h_1^2 - ((h_1^2 - h_H^2)/L_1) \cdot x \quad (2.8)$$

Далее, наносим координаты кривой депрессии на чертеж и, пользуясь лекалом, проводим по этим точкам кривую. Верхнюю часть кривой депрессии от уреза воды до ординаты кривой депрессии на линии верховой бровки гребня плотины проводят от руки, имея в виду, что кривая депрессии есть линия тока, и она должна быть перпендикулярна линии равного напора, то есть верховому откосу плотины.

8. Фильтрационный расход на 1 погонный метр плотины, $m^2/сут$ 1 пм, определяется по формуле

$$q = \kappa [(h_1^2 - h_H^2) / (2 \cdot L_2)] \quad (2.9)$$

2.2. Расчет № 2. Фильтрация через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении низового откоса

Последовательность построения кривой депрессии аналогична той, которая приводится в расчете № 1. Теоретическая расчетная схема отличается лишь тем, что ось абсцисс поднимается от подошвы плотины на высоту воды в нижнем бьефе h_0 , т.е. совпадает с уровнем воды нижнего бьефа и в соответствующие расчетные формулы вводится значение глубины воды в нижнем бьефе (рис. 2.2):

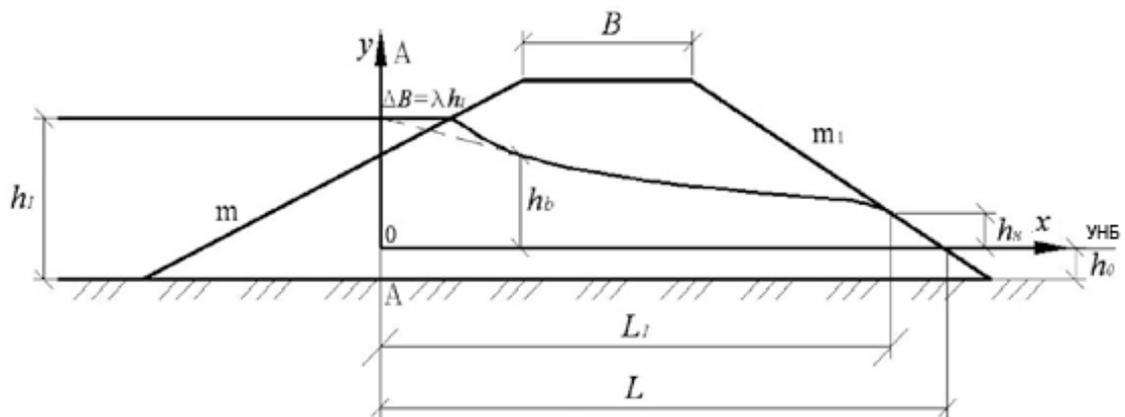


Рис. 2.2. Построение кривой депрессии для однородной земляной плотины без дренажа, вода в нижнем бьефе есть

$$h_H = L/m_1 - \sqrt{((L/m_1)^2 - (h_1 - h_0)^2)}, \quad (2.10)$$

$$h_B^2 = (h_1 - h_0)^2 - ((h_1 - h_0)^2 - h_H^2) / L_1 \cdot L_2, \quad (2.11)$$

$$y^2 = (h_1 - h_0)^2 - ((h_1 - h_0)^2 - h_H^2) / L_1 \cdot x, \quad (2.12)$$

Фильтрационный расход определяется по формуле

$$q = \kappa \frac{(h_1 - h_0)^2 - h_0^2}{2 \cdot L_2} \quad (2.13)$$

2.3. Расчет № 3. Фильтрация через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупоре, без подтопления дренажа

При гидравлическом расчете тела земляной плотины с дренажем общие фильтрационные уравнения упрощаются благодаря тому, что отпадает участок высачивания. В соответствии с этим получается две части депрессионной кривой. Одна от раздельного сечения до верховой бровки гребня плотины (верховой клин) и от верховой бровки гребня плотины до дренажа. Для верхового клина общие фильтрационные уравнения сохраняется таким же, как и для плотины без дренажа. Для второй части необходимо рассмотреть пропуск воды в дренаж, для осуществления чего требуется специальный добавочный напор при входе в дренаж.

По общей системе фильтрационных уравнений для расчета плотин с дренажем видно то же, как и для плотин без дренажа, что кривая депрессии не зависит от коэффициента фильтрации, а является функцией расположения дренажа и верхового откоса земляной плотины.

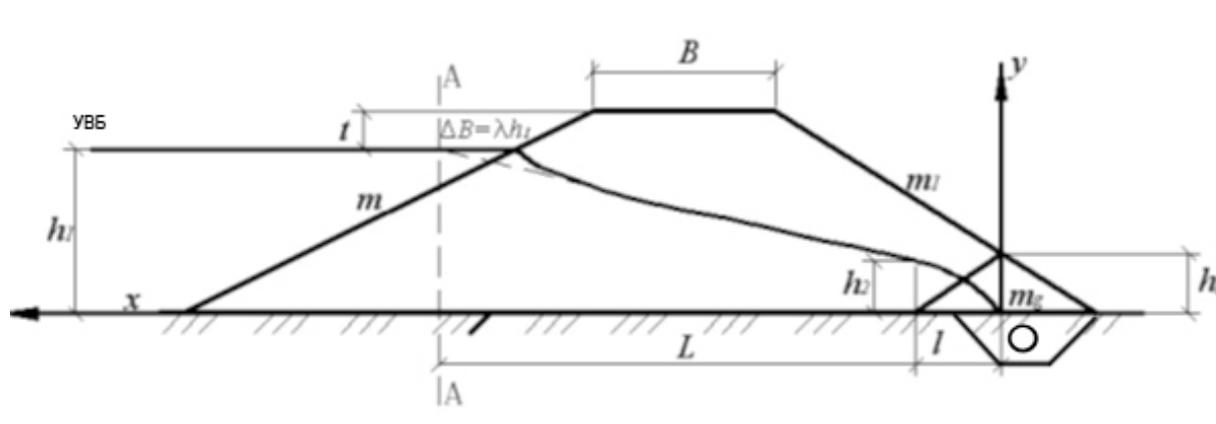


Рис. 2.3. Построение кривой депрессии однородной земляной плотины с дренажем при отсутствии воды в нижнем бьефе

Приведенная схема расчета конечно допустима в тех пределах, пока кривая депрессии не превосходит предельно возможного угла линии депрессии в данном грунте. В тех случаях, когда дренаж будет располагаться на таком расстоянии, что будут получаться углы наклона депрессионной линии выше предельных для данных грунтов, приведенная схема расчета

будет не применима, и вся дренажная вода полностью не будет поступать в дренаж и начнет смачивать низовую часть откоса плотины (рис. 2.3.).

1. Определяется положение раздельного сечения А-А от уреза воды в верхнем бьефе:

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 \quad (2.14)$$

2. Расстояние от раздельного сечения до начала внутреннего откоса дренажа:

$$L = \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m_1 - h_{др} \cdot (m_1 + m_{др}) \quad (2.15)$$

3. По уравнению находится ордината кривой депрессии в начале дренажа:

$$h_2 = \sqrt{(L^2 + h_1^2)} - L \quad (2.16)$$

4. Расстояние, на которое заходит кривая депрессии в дренаж:

$$l = h_2 / 2 \quad (2.17)$$

Место соприкосновения кривой депрессии с подошвой дренажа, которое находится на расстоянии $L+l$, от раздельного сечения принимается за начало координат, причем ось ординат ou направляется вертикально вверх, а ось абсцисс ox - по подошве дренажа и плотины в сторону раздельного сечения или верхнего бьефа.

5. Координаты кривой депрессии определяются по уравнению

$$y^2 = 2 \cdot h_2 \cdot x, \quad (2.18)$$

6. Фильтрационный расход $m^2/\text{сутки}$ на 1 пм. определяется по зависимости

$$q = k \cdot h_2 \quad (2.19)$$

2.4. Расчет № 4. Фильтрация через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении дренажа

При наличии воды в нижнем бьефе глубиной h_0 построение кривой депрессии ведут в следующей последовательности:

1. Определяют положение раздельного сечения, так же как и в предыдущих расчетах.

2. Расстояние от раздельного сечения до точки пересечения внутреннего откоса дренажа с уровнем воды в нижнем бьефе (рис.2.4):

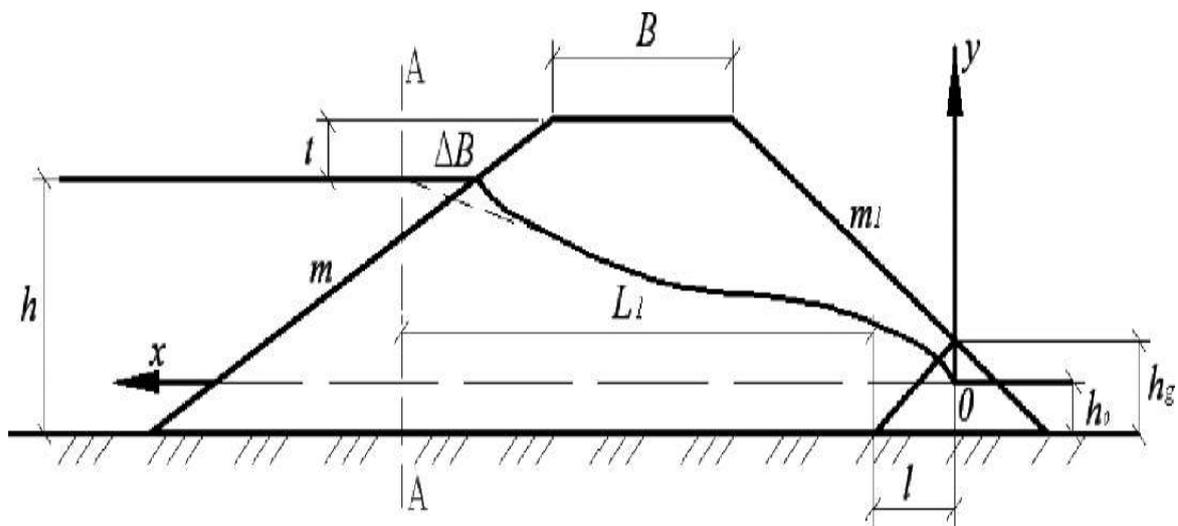


Рис. 2.4. Построение кривой депрессии для однородной земляной плотины с дренажем; вода в нижнем бьефе есть

Расстояние между дренажами должно быть: в тяжелых грунтах – более 300 м, в грунтах средней тяжести – 500 м, легких грунтах – более 500 м.

$$L_1 = \Delta B + t \cdot m + B + (h + t - h_0) \cdot m_1 - (h_q - h_0) \cdot m_1 - (h_q - h_0) \cdot m_q \quad (2.20)$$

3. Расстояние, на которое кривая депрессии заходит в дренаж:

$$I = 0,5 \cdot ((\sqrt{L^2 + h - h_0^2}) - L_1) \quad (2.21)$$

4. Определяется расстояние от раздельного сечения до начала координат:

$$L = L_1 + I \quad (2.22)$$

Ось ординат направляется вертикально вверх, а ось абсцисс - в сторону верхнего бьефа плотины.

5. Теоретическое положение кривой депрессии определяется по уравнению (2.23)

$$y = (h - h_0) \cdot (\sqrt{x_B/L}) \quad (2.23)$$

где

y и x - ордината и абсцисса депрессионной кривой в рассматриваемой точке.

6. Удельный фильтрационный расход определяется по формуле

$$q = k \cdot (h^2 - h_0^2) / 2L \quad (2.24)$$

2.5. Расчет № 5. Фильтрация через плотину с ядром, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе

Если плотина не однородная, то при выполнении фильтрационных расчетов используют метод виртуальных длин, позволяющий виртуально заменить противофильтрационное устройство (ядро) эквивалентным слоем и дальнейшие расчеты проводить как для однородной плотины. При этом используется формула

$$\Delta L_{я} = k_T / k_{я} \cdot (\delta_B - \delta_H) / 2$$

где

$\Delta L_{я}$ - величина виртуального удлинения тела плотины,

k_T - коэффициент фильтрации грунта тела плотины,

$k_{я}$ - коэффициент грунта ядра,

δ_B - толщина ядра по верху,

δ_H - толщина ядра по низу.

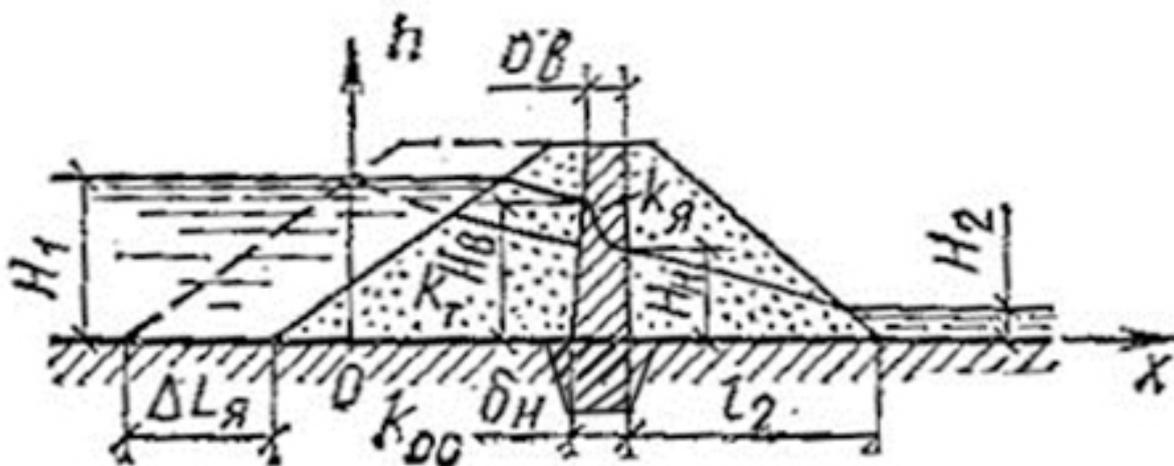


Рис. 2.5. Схема к расчету фильтрации через земляную плотину с ядром

Для фильтрационного расчета воды через виртуальную плотину коэффициентом фильтрации принимается k_T .

2.6. Расчет № 6. Фильтрация через плотину с экраном, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе

Если плотина не однородная, то при выполнении фильтрационных расчетов используют метод виртуальных длин, позволяющий виртуально заменить противодиффузионное устройство (экран) эквивалентным слоем и дальнейшие расчеты проводить как для однородной плотины. При этом используется формула

$$\Delta L_э = k_T / k_э \cdot 1/2 \cdot (\delta_B + \delta_H) \sin \alpha$$

где

$\Delta L_э$ - величина виртуального удлинения тела плотины,

k_T - коэффициент фильтрации грунта тела плотины,

$k_э$ - коэффициент грунта экрана,

δ_B - толщина экрана по верху,

δ_H - толщина экрана по низу.

α - угол наклона оси экрана к горизонту

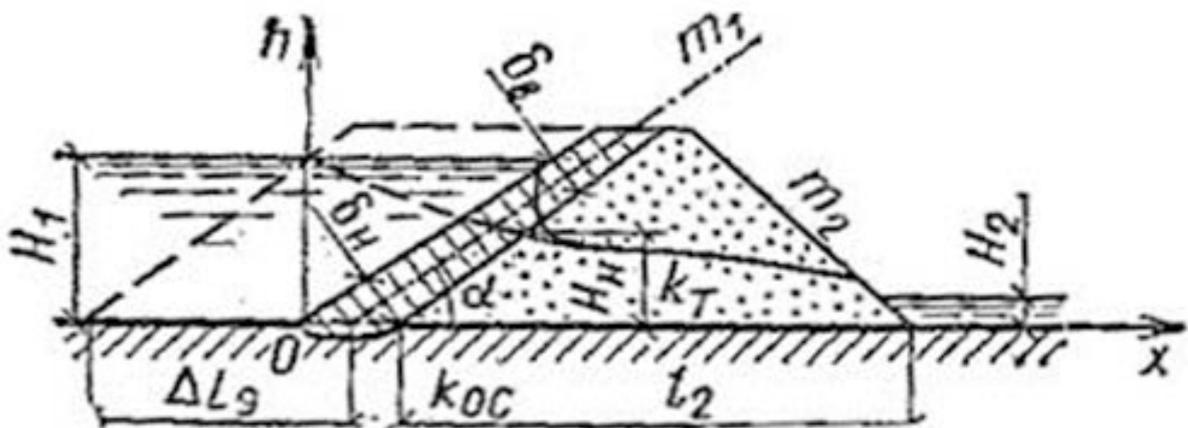


Рис. 2.6. Схема к расчету фильтрации через земляную плотину с экраном

Для фильтрационного расчета воды через виртуальную плотину коэффициентом фильтрации принимается k_T .

Приложение 1. Примеры расчета фильтрации

Пример 1. Расчет фильтрации через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании без подтопления низового откоса (рис. 2.1)

Исходные данные

1. Глубина воды в верхнем бьефе $h_1 = 14.5$ м.
2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_2 = 0$ м.
3. Коэффициент заложения верхнего откоса $m = 1.5$.
4. Коэффициент заложения нижнего откоса $m_1 = 1.5$.
5. Коэффициент фильтрации грунта тела плотины $k_T = 0.08$ м/сут (супесь).
6. Длина плотины по гребню $b = 50$ м.
7. Ширина плотины по гребню $B = 4,0$ м.
8. Превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в верхнем бьефе $t = 2,0$ м.

Расчет

1. Определяется положение раздельного сечения, которое в данном случае совпадает с осью ординат ou :

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 = m / (1 + 2m) \cdot h_1 = 1.5 / (1 + 2 \cdot 1.5) \cdot 14.5 = 5.4 \text{ м}$$

2. Расстояние от подошвы низового откоса до оси ординат:

$$L = \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m = \\ = 5.4 + 2 \cdot 1.5 + 4.0 + (14.5 + 2) \cdot 1.5 = 37.15 \text{ м}$$

3. Расстояние от оси ординат o_u до верховой бровки гребня плотины:

$$L_2 = \Delta B + t \cdot m = 5.4 + 2 \cdot 1.5 = 8.4 \text{ м}$$

4. Определяется ордината кривой депрессии в месте выхода ее на низовой откос по уравнению Замарина Е.А.:

$$h_H = L/m_1 - \sqrt{(L/m_1)^2 - h_1^2} = 37.15:1.5 - \sqrt{(37.15:1.5)^2 - 14.5^2} = 4.7 \text{ м,}$$

5. Расстояние от начала координат до выхода кривой депрессии на низовой откос:

$$L_1 = L - m_1 \cdot h_H = 37.15 - 1.5 \cdot 4.7 = 32.2 \text{ м}$$

Ордината кривой депрессии на линии верховой бровки гребня плотины h_B по уравнению:

$$h_B^2 = h_1^2 - ((h_1^2 - h_H^2)/L_1) \cdot L_2 = 210.25 - ((210.25 - 22.09)/32.2) \cdot 8.4 \\ = 210.25 - 49.06 = 161.2 \text{ м}$$

6. Задаваясь значениями x , определяем ординаты кривой депрессии по уравнению:

$$y^2 = h_1^2 - ((h_1^2 - h_H^2)/L_1) \cdot x$$

Вычисленные координаты наносим на чертеж и построим кривую депрессии.

7. Фильтрационный расход на 1 погонный метр плотины, м²/сут 1 пм, определяем по формуле

$$q = k \frac{h_1^2 - h_n^2}{2 \cdot L_2} = 0.08 \frac{(210.25 - 22.06)}{2 \cdot 8.4} = 0.89 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Общий расход фильтрации через плотину составляет

$$Q = qb = 0.89 \cdot 50 = 44.5 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Пример 2. Расчет фильтрации через однородную земляную плотину без дренажа, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении низового откоса (рис. 2.2)

Исходные данные

1. Глубина воды в верхнем бьефе $h_1 = 14.5$ м.
2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_2 = 1.0$ м.
3. Коэффициент заложения верхнего откоса $m_1 = 1.5$.
4. Коэффициент заложения нижнего откоса $m_2 = 1.5$.
5. Коэффициент фильтрации грунта тела плотины $k_T = 0.08$ м/сут (супесь).
6. Длина плотины по гребню $b = 50$ м.
7. Ширина плотины по гребню $B = 4,0$ м.
8. Превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в верхнем бьефе $t = 2,0$ м.

Расчет

Расчет производится аналогично с примером 1 за исключением того, что в соответствующие расчетные формулы вводится значение глубины воды в нижнем бьефе h_0 .

1. Определяется положение раздельного сечения, которое в данном случае совпадает с осью ординат ou :

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 = m / (1 + 2m) \cdot h_1 = 1.5 / (1 + 2 \cdot 1.5) \cdot 14.5 = 5.4 \text{ м}$$

2. Расстояние от подошвы низового откоса до оси ординат:

$$\begin{aligned} L &= \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m = \\ &= 5.4 + 2 \cdot 1.5 + 4.0 + (14.5 + 2) \cdot 1.5 = 37.15 \text{ м} \end{aligned}$$

3. Расстояние от оси ординат ou до верховой бровки гребня плотины:

$$L_2 = \Delta B + t \cdot m = 5.4 + 2 \cdot 1.5 = 8.4 \text{ м}$$

4. Определяется ордината кривой депрессии в месте выхода ее на низовой откос по уравнению Е.А. Замарина:

$$\begin{aligned} h_H &= L / m_1 - \sqrt{(L / m_1)^2 - (h_1 - h_0)^2} = \\ &= 37.15 : 1.5 - \sqrt{(37.15 : 1.5)^2 - 13.5^2} = 4.07 \text{ м}, \end{aligned}$$

5. Расстояние от начала координат до выхода кривой депрессии на низовой откос:

$$L_1 = L - m_1 \cdot h_H = 37.15 - 1.5 \cdot 4.07 = 31.04 \text{ м}$$

Ордината кривой депрессии на линии верховой бровки гребня плотины h_B по уравнению:

$$h_B^2 = (h_1 - h_0)^2 - ((h_1^2 - h_0^2) - h_H^2) / L_1 \cdot L_2 =$$
$$= 13.5^2 - ((13.5^2 - 4.07^2) / 31.04) \cdot 8.4 = 120.84 \text{ м}$$

6. Задаваясь значениями x , определяем ординаты кривой депрессии по уравнению:

$$y^2 = h_1^2 - ((h_1^2 - h_H^2) / L_1) \cdot x$$

Вычисленные координаты наносим на чертеж и построим кривую депрессии.

7. Фильтрационный расход определяется по формуле

$$q = \kappa \frac{(h_1 - h_0)^2 - h_0^2}{2 \cdot L_2} = 0.08 \frac{(13.5^2 - 1)}{2 \cdot 8.4} =$$
$$= 0.08 \cdot 182.25 / 16.8 = 0.87 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Общий расход фильтрации через плотину составляет

$$Q = qb = 0.87 \cdot 50 = 43.5 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Пример 3. Расчет фильтрации через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупоре, без подтопления дренажа (рис. 2.3)

Исходные данные

1. Глубина воды в верхнем бьефе $h_1 = 14.5 \text{ м}$.
2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_2 = 0 \text{ м}$.

3. Коэффициент заложения верхнего откоса $m = 1.5$.
4. Коэффициент заложения нижнего откоса $m_1 = 1.5$.
5. Коэффициент фильтрации грунта тела плотины $k_T = 0.08$ м/сут (супесь).
6. Длина плотины по гребню $b = 50$ м.
7. Ширина плотины по гребню $B = 4,0$ м.
8. Превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в верхнем бьефе $t = 2,0$ м.

Расчет

1. Определяется положение раздельного сечения А-А от уреза воды в верхнем бьефе:

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 = m / (1 + 2m) \cdot h_1 = 1.5 / (1 + 2 \cdot 1.5) \cdot 14.5 = 5.4 \text{ м}$$

2. Расстояние от раздельного сечения до начала внутреннего откоса дренажа:

$$L = \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m_1 - h_{др} \cdot (m_1 + m_{др}) = 5.4 + 2 \cdot 1.5 + 4 + (14.5 + 2) \cdot 1.5 - 1(1.5 + 1.5) = 34.15 \text{ м}$$

3. По уравнению находится ордината кривой депрессии в начале дренажа:

$$h_2 = \sqrt{(L^2 + h_1^2)} - L = \sqrt{(1166.22 + 210.25)} - 34.15 = 37.1 - 34.15 = 2.95 \text{ м.}$$

4. Расстояние, на которое заходит кривая депрессии в дренаж:

$$l = h_2 / 2 = 2.95 / 2 = 1.47 \text{ м}$$

5. Координаты кривой депрессии определяются по уравнению

$$y^2 = 2 \cdot h_2 \cdot x$$

6. Фильтрационный расход $\text{м}^2/\text{сутки}$ на 1 пм. определяется по зависимости

$$q = k \cdot h_2 = 0.08 \cdot 2.95 = 0.24 \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Общий расход фильтрации через плотину составляет

$$Q = qb = 0.24 \cdot 50 = 12.0 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Пример 4. Расчет фильтрации через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупорном основании, при подтоплении дренажа (рис. 2.4)

Исходные данные

1. Глубина воды в верхнем бьефе $h = 14.5$ м.
2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_0 = 1.0$ м.
3. Коэффициент заложения верхнего откоса $m_1 = 1.5$.
4. Коэффициент заложения нижнего откоса $m_1 = 1.5$.
5. Коэффициент фильтрации грунта тела плотины $k_T = 0.08$ м/сут (супесь).
6. Длина плотины по гребню $b = 50$ м.
7. Ширина плотины по гребню $B = 4,0$ м.
8. Превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в верхнем бьефе $t = 2,0$ м.

Расчет

Расчет производится аналогично с примером 1 за исключением того, что в соответствующие расчетные формулы вводится значение глубины воды в нижнем бьефе h_0 .

1. Определяют положение раздельного сечения, так же как и в предыдущих расчетах.

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1 = m / (1 + 2m) \cdot h_1 = 1.5 / (1 + 2 \cdot 1.5) \cdot 14.5 = 5.4 \text{ м}$$

2. Расстояние от раздельного сечения до точки пересечения внутреннего откоса дренажа с уровнем воды в нижнем бьефе (рис.2.4):

$$\begin{aligned} L_1 &= \Delta B + t \cdot m + B + (h + t - h_0) \cdot m_1 - (h_q - h_0) \cdot m_1 - (h_q - h_0) \cdot m_q = \\ &= 5.4 + 2 \cdot 1.5 + 4 + (14.5 + 2 - 1) \cdot 1.5 - (1 - 1) \cdot 1.5 = 23.25 \text{ м} \end{aligned}$$

3. Расстояние, на которое кривая депрессии заходит в дренаж:

$$\begin{aligned} l &= 0.5 \cdot ((\sqrt{L^2 + h - h_0^2}) - L_1) = 0.5 \cdot ((\sqrt{1166.22 + 14.5 - 1}) - 23.25) \\ &= 5.55 \text{ м} \end{aligned}$$

4. Определяется расстояние от раздельного сечения до начала координат:

$$L = L_1 + l = 23.25 + 5.55 = 28.8 \text{ м}$$

Ось ординат направляется вертикально вверх, а ось абсцисс – в сторону верхнего бьефа плотины.

5. Теоретическое положение кривой депрессии определяется по уравнению

$$y = (h - h_0) \cdot (\sqrt{x_B / L})$$

где y и x - ордината и абсцисса депрессионной кривой в рассматриваемой точке.

6. Удельный фильтрационный расход определяется по формуле

$$q = k \cdot (h^2 - h_0^2) / 2L = 0.08 \cdot (210.25 - 1) / 2 \cdot 28.8 = 0.29 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Общий расход фильтрации через плотину составляет

$$Q = qb = 0.29 \cdot 50 = 14.5 \text{ м}^3/\text{сут}.$$

Пример 5. Расчет фильтрации через плотину с ядром, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе (рис. 2.5)

Исходные данные

1. Глубина воды в верхнем бьефе $h_1 = 14.5.0$ м.
2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_2 = 1.0$ м.
3. Расстояние по горизонтали от уреза воды в верхнем бьефе до подошвы нижнего бьефа $L = 30.0$ м.
4. Толщина ядра поверху $\delta_{\text{в}} = 8.0$ м.
5. Толщина ядра понизу $\delta_{\text{н}} = 54.0$ м.
6. Коэффициент заложения верхнего и нижнего откосов $m_1 = 2.0$.
7. Коэффициент фильтрации грунта тела плотины $k_T = 0.08$ м/сут (супесь).
8. Коэффициент фильтрации грунта ядра $k_{\text{я}} = 0.04$ м/сут (суглинок).
9. Длина плотины по гребню $b = 50.0$ м.

Расчет

Для упрощения расчета, по способу виртуальных длин, плотину приводим к однородной.

При этом используется формула $\Delta L_{я} = k_T/k_{я} \cdot (\delta_B - \delta_H)/2$

Применяем значение коэффициента фильтрации, равное k_T .

1. Вычисляется скорость фильтрации воды через плотину по формуле Дарси:

$$V = k_T i = 0.08 \cdot (h_1 + 30)/30 = 0.08 \cdot (14.5 + 30)/30 = 0.08 \cdot 1.48 = 0.12 \text{ м/сут}$$

2. Вычисляются значения величин ΔL_B , ΔL_H , $\Delta L_{я}$, L_p , м

$$\Delta L_B = 0.4 \cdot h_1 = 0.4 \cdot 14.5 = 5.8 \text{ м,}$$

$$\Delta L_H = 1/3 \cdot m_1 \cdot h_2 = 1/3 \cdot 2 \cdot 1 = 0.67 \text{ м,}$$

$$\Delta L_{я} = k_T/k_{я} \cdot (\delta_B - \delta_H)/2 = 0.08/0.04 \cdot (54 + 8)/2 = 2 \cdot 31.0 = 62.0 \text{ м,}$$

$$L_p = L + \Delta L_B + \Delta L_H + \Delta L_{я} = 30 + 5.8 + 0.67 + 62 = 98.47 \text{ м.}$$

3. Определяется удельный расход фильтрации q , м²/с (м²/сут.) и фильтрационный расход воды через плотину, м³/сут:

$$q = k \cdot (h^2 - h_0^2)/2L_p = 0.08 \cdot (210.25 - 1)/2 \cdot 98.47 = 0.08 \text{ м}^2/\text{сут}$$

Общий расход через плотину $Q = qb = 0.08 \cdot 50 = 4.0 \text{ м}^3/\text{сут.}$

4. Вычисляются значения ординат кривой депрессии h_x в различных сечениях x по формуле

$$h_x = \sqrt{2 \cdot q/k_T (L + \Delta L_H - x) + h_2^2}.$$

По результатам расчетов построится кривая депрессии.

Пример 6. Расчет фильтрации через плотину с экраном, расположенную на водоупорном основании, при наличии воды в нижнем бьефе (рис. 2.6)

Исходные данные

1. Глубина воды в верхнем бьефе $h_1 = 14.5$ м.
2. Глубина воды в нижнем бьефе $h_2 = 1.0$ м.
3. Расстояние по горизонтали от уреза воды в верхнем бьефе до подошвы нижнего бьефа $L = 30.0$ м.
4. Толщина экрана поверху $\delta_B = 1.0$ м.
5. Толщина экрана понизу $\delta_H = 1.5$ м.
6. Коэффициент заложения верхнего и нижнего откосов $m_1 = 2.0$.
7. Коэффициент фильтрации грунта тела плотины $k_T = 0.08$ м/сут (супесь).
8. Коэффициент фильтрации грунта экрана $k_э = 0.004$ м/сут.
9. Длина плотины по гребню $b = 50.0$ м.

Расчет

Для упрощения расчета, по способу виртуальных длин, плотину приводим к однородной.

При этом используется формула $\Delta L_{я} = k_T / k_э \cdot (\delta_B + \delta_H) / 2 \cdot \sin \alpha$

Применяем значение коэффициента фильтрации, равное k_T .

1. Вычисляется скорость фильтрации воды через плотину по формуле Дарси:

$$V = k_T i = 0.08 \cdot (h_1 + L) / L = 0.08 \cdot (14.5 + 30) / 30 = 0.08 \cdot 1.48 = 0.12 \text{ м/сут.}$$

2. Вычисляются значения величин ΔL_{B1} , ΔL_{H1} , $\Delta L_{я1}$, L_{p1} м

$$\Delta L_B = 0.4 \cdot h_1 = 0.4 \cdot 14.5 = 5.8 \text{ м,}$$

$$\Delta L_H = 1/3 \cdot m_1 \cdot h_2 = 1/3 \cdot 2 \cdot 1 = 0.67 \text{ м,}$$

$$\Delta L_{\text{я}} = k_T / k_{\text{я}} \cdot (\delta_B + \delta_H) / 2 \cdot \sin 30 = 0.08 / 0.004 \cdot (1 + 1.5) / 2 \cdot 1/2 = 12.5 \text{ м,}$$

$$L_p = L + \Delta L_B + \Delta L_H + \Delta L_{\text{я}} = 30 + 5.8 + 0.67 + 12.5 = 48.97 \text{ м}$$

3. Определяется удельный расход фильтрации q , м²/с (м²/сут) и фильтрационный расход воды через плотину, м³/сут:

$$q = k (h^2 - h_0^2) / 2L_p = 0.08 \cdot (210.25 - 1) / 2 \cdot 48.97 = 0.17 \text{ м}^2/\text{сут}$$

$$\text{Общий расход через плотину } Q = qb = 0.17 \cdot 50 = 8.5 \text{ м}^3/\text{сут}$$

4. Вычисляются значения ординат кривой депрессии h_x в различных сечениях x по формуле

$$h_x = \sqrt{2 \cdot q / k_T (L + \Delta L_H - x) + h_2^2}.$$

По результатам расчетов построится кривая депрессии.

Приложение 2. Принцип гидравлического расчета каналов

Основные формулы

- 1) Расход воды $Q = \omega C \sqrt{Ri}$; $Q = \omega V$, (м³/с)
- 2) Средняя скорость воды $V = C \sqrt{Ri}$, (м/с),
- 3) Коэффициент Шези $C = 1/n \cdot R^\gamma$, где $\gamma = 1/6$ по Маннингу;
 $\gamma = 2,5 \cdot \sqrt{n - 0,13 - 0,75\sqrt{R}} \cdot (\sqrt{n - 0,10})$ - формула Павловского
- 4) Гидравлический уклон $i = V^2 / C^2 \cdot R$
- 5) Гидравлический радиус $R = \omega / \chi$, (м)
- 6) Смоченный периметр $\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}$, где m – коэффициент заложения откосов
- 7) Площадь живого сечения трапецеидального канала
 $\omega = h(b + mh)$, (м²)
 $\beta = b/h$ – отношение ширины канала по дну к глубине воды,
 $b/h = 2\sqrt{1+m^2} - m$, где $b/h = \beta$ – параметр, характеризующий гидравлически наиболее выгодное сечение русла

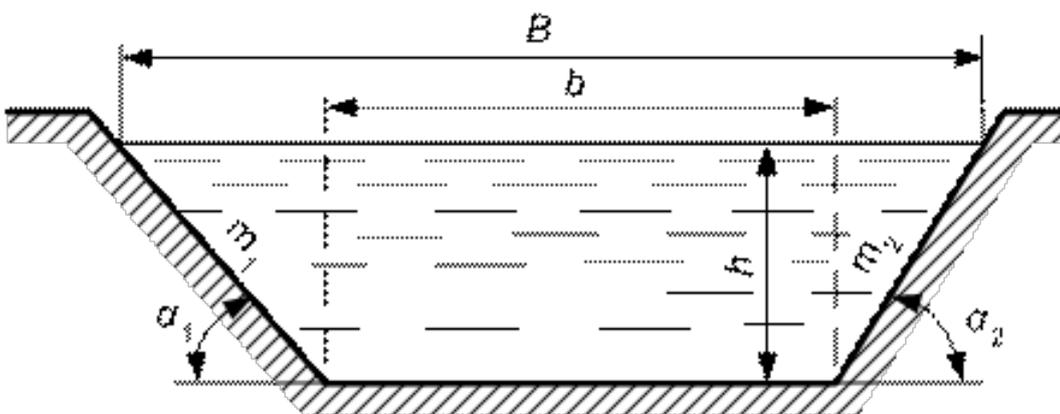


Рис. 1. Поперечное сечение трапецеидального канала

Определение коэффициента шероховатости по Шези-Маннингу, скорости на размыв и незаиляющей скорости для существующих каналов

Коэффициент шероховатости русла $n = (R^{2/3} \cdot \sqrt{i}) / V$,

где

R - гидравлический радиус $R = \omega / \chi$,

i - гидравлический уклон $i = \Delta Z / L$,

где

ΔZ - разница горизонтов воды на участке L ,

V - скорость потока.

Допустимая скорость на размыв определяется:

а) при $h/d_{cp} \leq 600$: $V_{np} = 3,6 \sqrt{hd_{cp}}$ м/с,

формула Б. Студеничникова;

б) при $h/d_{cp} \geq 600$: $V_{np} = 5h^{0,2}d_{cp}^{0,3}$ м/с,

формула А. Латышенкова,

h - глубина потока, м;

d_{cp} - средняя крупность твердых частиц грунта, м.

Для определения незаиляющей скорости используется:

а) формула А. Латышенкова:

$$V_{из} = 1,6 \sqrt{gd_{cp}} \left(\frac{h}{d_{cp}} \right)^{0,2} \text{ м/с,}$$

Где

h - глубина потока в канале, м;

d_{cp} - средняя крупность твердых частиц, м.

б) формула Б. Студеничкикова:

$$V_{нз} = 0,9 \sqrt{\frac{\rho_2 - \rho}{\rho}} \frac{1}{g} (hd_{cp})^{0,15} \text{ м/с,}$$

где

h - глубина потока, м; ρ_2, ρ - плотность материала частиц грунта и воды.

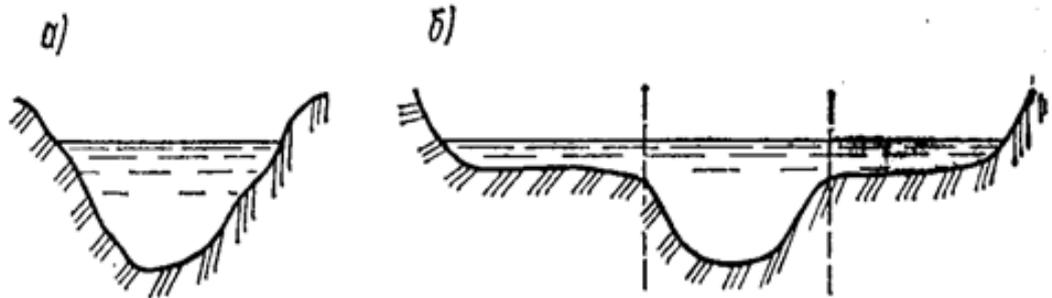


Рис. 2. Поперечное сечение каналов с земляным руслом

Истечение воды из больших отверстий

1) Истечение в режиме «выливания»

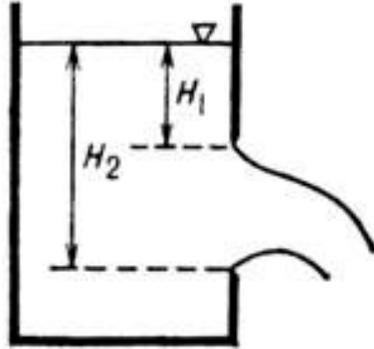


Рис. 3

Расход воды $Q = \mu ab \sqrt{2gH_0}$, (м³/с),
где $\mu = 0,65$ – коэффициент расхода

2) Истечение из под затвора при незатопленном отверстии

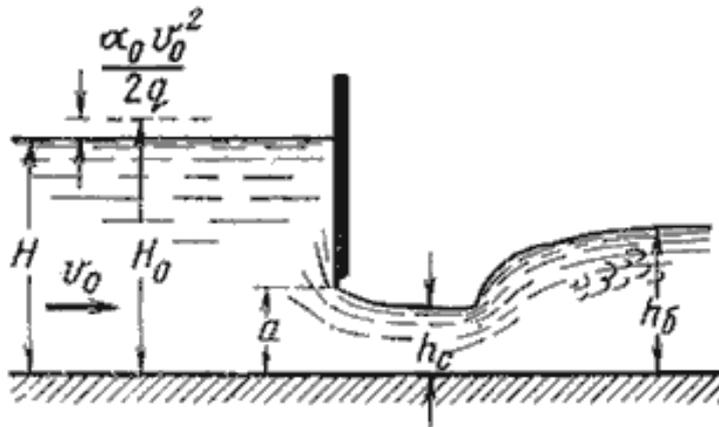


Рис. 4

Расход воды $Q = \sigma_n \cdot \mu ab \sqrt{2gH_0}$, (м³/с), где σ_n – коэффициент подтопления

3) Истечение из под затвора при затопленном отверстии

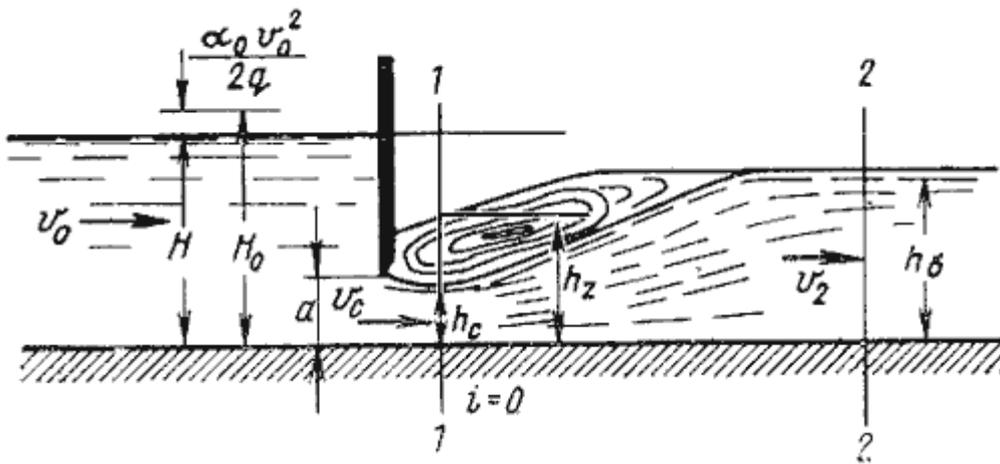


Рис. 5

Расход воды $Q = \mu a b v \sqrt{2gZ_0}$, ($\text{м}^3/\text{с}$), где $Z_0 = Z + V_0^2/2g$

Мощность гидростанции

Мощность гидростанции определяется по формуле

$$N = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{турб}} \cdot \eta_{\text{ген}}, \text{ (кВт)}$$

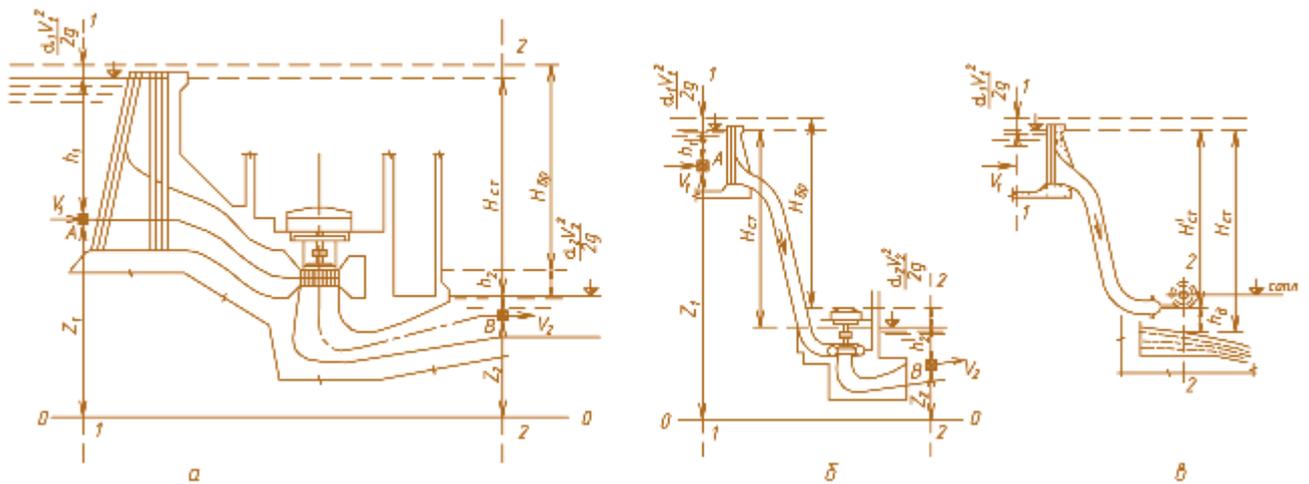
где

Q — расход воды, протекающий через гидротурбины ГЭС ($\text{м}^3/\text{с}$),

H — напор воды (м),

$\eta_{\text{турб}}$ — КПД турбины,

$\eta_{\text{ген}}$ — КПД генератора.



**Рис. 6. Схемы определения напоров ГЭС:
а – русловая ГЭС; б – деривационная ГЭС;
в – ГЭС с ковшовыми турбинами**

Выработка электроэнергии за расчетный период времени T определяется по формуле

$$\mathcal{E} = N \cdot T, \text{ (кВт.ч)}$$

Мощность насосной станции

Мощность насосной станции по затрачиваемой электроэнергии на подъем воды определяется по формуле

$$N \approx (15-16)QH \text{ (кВт)}$$

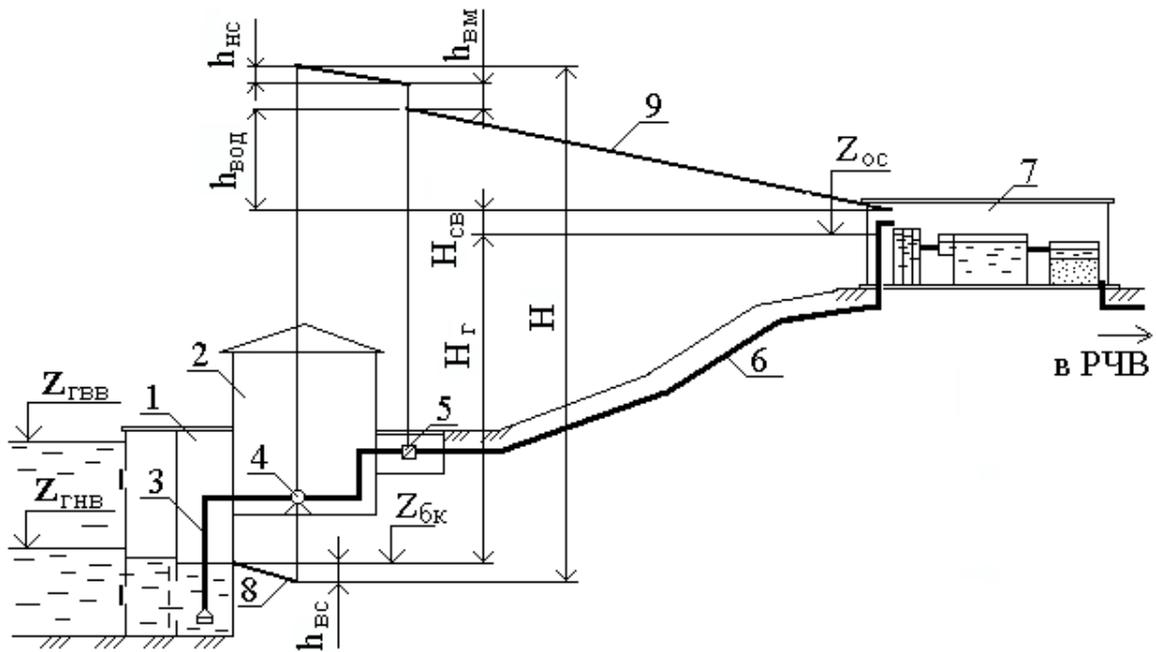


Рис. 7. Схема к определению напора насосов первого подъема

Расчет сечения каналов по Гиршкану

$\beta = b/h$ – отношение ширины канала по дну к глубине воды,

$$\beta = 3 \cdot \sqrt[4]{Q} - \tau, \quad h = (0,7 - 1,0) \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ (м)}$$

в среднем $h = 0,85 \cdot \sqrt[3]{Q}, \text{ (м)}$

$$R = 0,5Q^{0,4}, \quad b = 1,3Q^{2/3} = 1,3 \cdot \sqrt[3]{Q}$$

Гидравлический радиус R – отношение живого сечения к смоченному периметру

$$R = \omega / \chi, \text{ (м)}$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \text{ (м)}$$

Расходная характеристика $K = Q/\sqrt{i} = \omega C\sqrt{R}$

Скоростная характеристика $W = V/\sqrt{i} = C\sqrt{R}$

$\chi_0 = \omega/R^2$ – (удельный смоченный периметр)

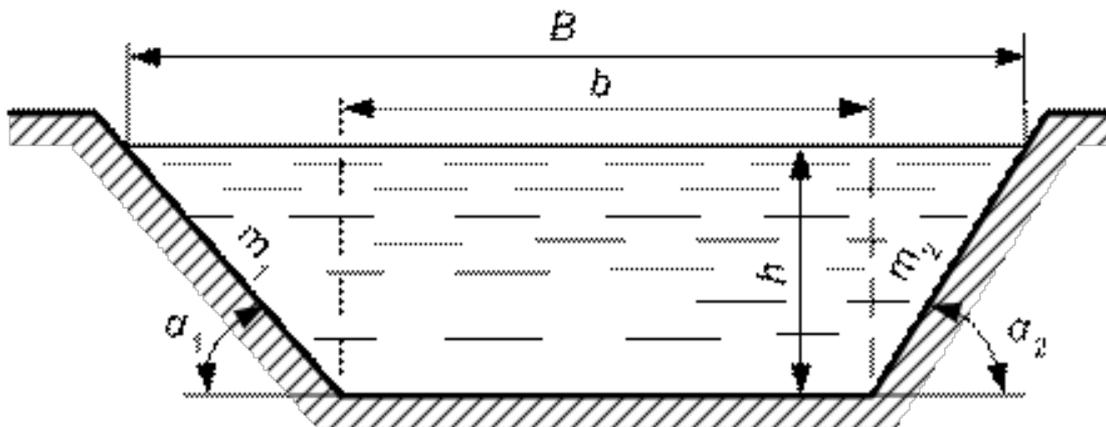


Рис. 8. Поперечное сечение трапецидального канала

Использованная литература

Шанкин П. А. Расчет фильтрации в земляных плотинах, Ленинград, Речиздат, 1947 г.;

Угинчус А.А. Расчет фильтрации через земляные плотины, Ленинград, Госстройиздат, 1947 г.;

Мелещенко Н.Т. О расчете фильтрации через земляные плотины по методу Н.Н. Павловского, Гидротехническое строительство, 1932 г.;

Замарин Е.А. Проектирование гидротехнических сооружений, Москва, Сельхозгиз, 1961 г.

Гришин М.М. Гидротехнические сооружения, Москва, Высшая школа, 1979 г.

Теплов А.В. Основы гидравлики, Ленинград, Энергия, 1971 г.

Материалы из Интернета

Верстка: Беглов И.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz