

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ОДНОРОДНУЮ ЗЕМЛЯНУЮ ПЛОТИНУ

Методические указания
по выполнению лабораторных работ

Под общей редакцией доктора технических наук,
профессора Ю.П. Скачкова

Пенза 2013

УДК 626 (075.8)

ББК 38.77я73

Ф57

*Методические указания подготовлены в рамках проекта
«ПГУАС – региональный центр повышения качества подготовки
высококвалифицированных кадров для строительной отрасли»
(конкурс Министерства образования и науки Российской Федерации –
«Кадры для регионов»)*

Рекомендовано Редсоветом университета

Рецензент – главный инженер ООО «Пензаводэко-
проект» А.С. Разин

Фильтрация воды через однородную земляную плотину:
Ф57 метод. указания по выполнению лабораторных работ /
Л.В. Круглов, С.Л. Круглов, А.А. Полежай; под общ. ред. д-ра
техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 24 с.

Описана методика и порядок проведения лабораторных работ по фильтрации через однородную земляную плотину, расположенную на горизонтальном водоупорном основании, построенную без дренажа и с дренажем, с подтоплением и без подтопления со стороны нижнего бьефа.

Методические указания направлены на овладение способностью и готовностью проводить научные эксперименты, способствуют формированию умений оценивать результаты исследований, оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы.

Методические указания подготовлены на кафедре «Водоснабжение, водоотведение и гидротехника» и базовой кафедре ПГУАС при ООО «Новотех» и предназначены для студентов, обучающихся по направлению 270800 «Строительство» (магистратура).

© Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства, 2013
© Круглов Л.В., Круглов С.Л.,
Полежай А.А., 2013

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 опреде-

лении 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:

$$q = k \cdot \omega \cdot I, \quad (1.1)$$

где q – расход воды;

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

$$v = \frac{q}{\omega}, \quad (1.3)$$

где v – фиктивная скорость фильтрации, отнесенная к полному сечению потока ω .

Действительная скорость течения воды в порах грунта равна:

$$v' = \frac{v}{m}, \quad (1.4)$$

где m – активная порозность грунта.

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

Для установившегося плоского движения эти уравнения имеют вид:

$$v_x = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial x}, \quad (1.5)$$

$$v_y = \frac{\partial \varphi}{\partial y} = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial y}, \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0, \quad (1.7)$$

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:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0, \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0. \quad (1.10)$$

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

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:

- положение депрессионной кривой зависит только от геометрического профиля плотины и не зависит от качественной характеристики грунта;

- 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.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Модель однородной земляной плотины с дренажем или без него размещается в лотке, передняя стенка которого выполнена из стекла, оправленного в металлический переплет. Дно лотка, имитирующее водонепроницаемое основание горизонтально и выполнено из стального листа, покрытого слоем бетона толщиной 2,0 см. Лоток имеет следующие размеры: длина = 1424 см, ширина = 40 см, высота = 45,5 см (рис.1).

Вода в лоток подается со стороны верхнего бьефа плотины, снизу по трубопроводу, имеющему регулировочный вентиль.

Для предохранения верхового откоса плотины от размыва и разрушения при подаче воды в верхний бьеф перед сооружением установлена вертикальная перегородка – успокоитель с отверстиями.

Для отвода излишней воды, поступающей в верхний бьеф, имеется воронкообразный слив. Для обеспечения возможности создания различных напоров высота слива регулируется.

Профильтровавшаяся через плотину вода отводится через специальную вертикальную трубку с отверстиями, перекрываемыми резиновыми пробками по высоте. Это дает возможность задавать необходимую глубину воды в нижнем бьефе.

Вдоль оси лотка в основании плотины устроены отверстия, которые соединены резиновыми трубками со стеклянными пьезометрами диаметром 0,5 см. Пьезометры вынесены и закреплены на лицевой стенке лотка. Отверстия покрыты латунными сетками-фильтрами для предотвращения вымыва частиц грунтов тела плотины в пьезометры.

Для замера расходов фильтрующейся воды используются мерный сосуд и секундомер.

Материал тела земляной плотины – среднезернистый песок. Плотина имеет следующие размеры: высота $H = 33,5$ см, ширина по гребню $B = 18$ см, заложение откосов верхового $m = 2,0$, низового $m_1 = 1,6$.

Дренаж выполнен из щебня фракций 20–35 мм с обратным фильтром толщиной 5 см из щебня фракцией 5–10 мм. Размеры дренажа: высота $h_d = 12$ см, заложение внутреннего откоса $m_d = 1,0$, внешнего $m_1 = 1,6$.

3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Всего проводится 4 работы: две на плотине без дренажа, две на плотине с дренажом. И в том и другом случае рассматривают вариант, когда вода в нижнем бьефе отсутствует и когда вода в нижнем бьефе есть.

Порядок проведения работ и замеров во всех работах одинаков.

Работа начинается с подготовительной операции по «замачиванию» модели. Для этого открывается подающий вентиль, и вода через патрубок и успокоительную решетку попадает в верхний бьеф модели плотины. Наполнение водой верхнего бьефа осуществляется постепенно снизу вверх, для удаления воздушных пузырьков из межпорового пространства грунта модели. Отводящие устройства в верхнем и нижнем бьефе устанавливаются для создания необходимого напора в соответствии с требованиями данной лабораторной работы. Через некоторое время, так как уровень в верхнем и нижнем бьефе постоянны, движение фильтрационного потока должно стать установившемся.

После этого выполняются замеры в трехкратной повторности с интервалом 5–6 минут. При этом фиксируются показания всех пьезометров.

Опыты проводят при трех различных фиксированных уровнях воды в верхнем бьефе. Результаты заносятся в табл. 3.1.

Параллельно со снятием показаний пьезометров производят замеры объемов профильтровавшейся через тело плотины воды мерным сосудом и времени, за которое эта вода фильтруется, секундомером. Результаты замеров заносятся в табл. 3.2.

Т а б л и ц а 3.2

Определение фильтрационного расхода через плотину

Напор	Номера замера	Объем профильтровавшейся воды W_1 , л	Время t , с	Общий фильтрационный расход Q , л/с	Удельный фильтрационный расход q , л/с/пм
H_1	1				
	2				
	3				
	среднее				
H_2	1				
	2				
	3				
	среднее				
H_3	1				
	2				
	3				
	среднее				

4. ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ДЕПРЕССИИ И РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСХОДА

4.1. Лабораторная работа № 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 используются следующие допущения 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 $v = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$, а не $v = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial s}$. 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:

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1; \quad (4.1)$$

где h_1 – глубина воды в верхнем бьефе;

$\lambda = \frac{m}{1 + 2m}$ – 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. 4.2.):

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1. \quad (4.2)$$

2. Расстояние от подошвы низового откоса до оси ординат:

$$L = \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m, \quad (4.3)$$

где t – превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды в верхнем бьефе

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

$$L_2 = \Delta B + t \cdot m, \quad (4.4)$$

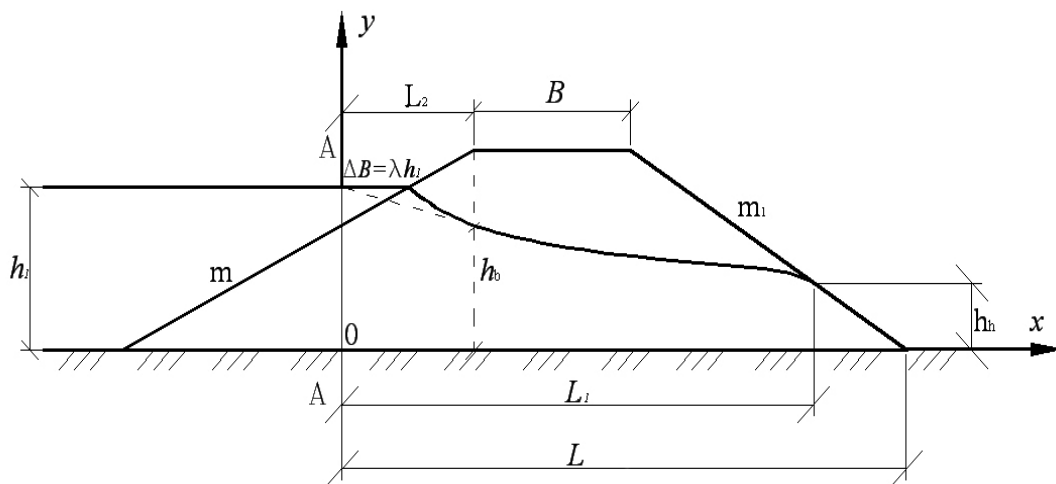


Рис. 4.2. Построение кривой депрессии для однородной земляной плотины без дренажа при отсутствии воды в нижнем бьефе

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

$$h_{\text{н}} = \frac{L}{m_1} - \sqrt{\left(\frac{L}{m_1}\right)^2 - h_1^2}, \quad (4.5)$$

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

$$L_1 = L - m_1 \cdot h_{\text{н}}, \quad (4.6)$$

6. Ордината кривой депрессии на линии верховой бровки гребня плотины $h_{\text{б}}$ по уравнению:

$$h_{\text{б}}^2 = h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_{\text{н}}^2}{L_1} \cdot L_2, \quad (4.7)$$

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:

$$y^2 = h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_n^2}{L_1} \cdot x. \quad (4.8)$$

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.

1. Фильтрационный расход на 1 погонный метр плотины, $\text{м}^2/\text{сут}$ 1 пм, определяется по формуле

$$q = k \cdot \frac{h_1^2 - h_n^2}{2 \cdot L_2}, \quad (4.9)$$

4.2. Лабораторная работа № 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 лабораторной работе № 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. 4.3):

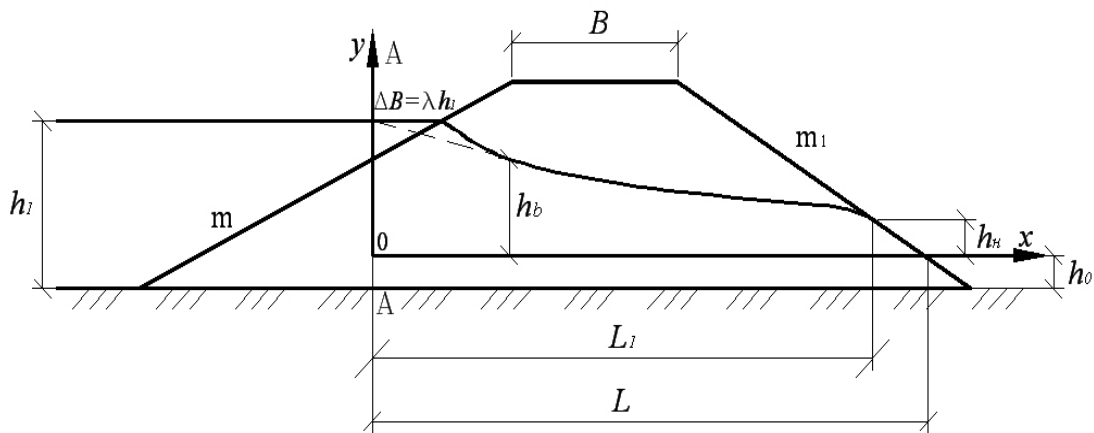


Рис. 4.3. Построение кривой депрессии для однородной земляной плотины без дренажа; вода в нижнем бьефе есть

$$h_{\text{н}} = \frac{L}{m_1} - \sqrt{\left(\frac{L}{m_1}\right)^2 - (h_1 - h_0)^2}, \quad (4.10)$$

$$h_{\text{в}}^2 = (h_1 - h_0)^2 - \frac{(h_1 - h_0)^2 - h_{\text{н}}^2}{L_1} \cdot L_2, \quad (4.11)$$

$$y^2 = (h_1 - h_0)^2 - \frac{(h_1 - h_0)^2 - h_{\text{н}}^2}{L_1} \cdot x, \quad (4.12)$$

Фильтрационный расход определяется по формуле

$$q = k \cdot \frac{(h_1 - h_0)^2 - h_0^2}{2 \cdot L_2}. \quad (4.13)$$

Фильтрация через однородную плотину с дренажем, расположенную на водоупоре, без подтопления дренажа

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.

17

Порядок построения депрессионной кривой

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

$$\Delta B = \lambda \cdot h_1. \quad (4.14)$$

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

$$L = \Delta B + t \cdot m + B + (h_1 + t) \cdot m_1 - h_{\text{др}} \cdot (m_1 + m_{\text{др}}). \quad (4.15)$$

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

$$h_2 = \sqrt{L^2 + h_1^2} - L. \quad (4.16)$$

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

$$l = \frac{h_2}{2}. \quad (4.17)$$

Место соприкосновения кривой депрессии с подошвой дренажа, которое находится на расстоянии $L+l$, от раздельного сечения принимается за начало координат, причем ось ординат oy 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

$$y^2 = 2 \cdot h_2 \cdot x, \quad (4.18)$$

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

$$q = k \cdot h_2. \quad (4.19)$$

4.4. Лабораторная работа № 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 работах.

2. Расстояние от раздельного сечения до точки пересечения внутреннего откоса дренажа с уровнем воды в нижнем бьефе (рис. 4.5):

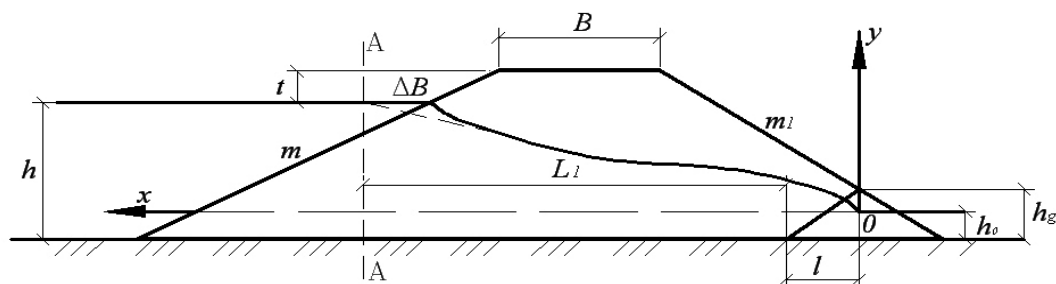


Рис. 4.5. Построение кривой депрессии для однородной земляной плотины с дренажем; вода в нижнем бьефе есть

$$L_1 = \Delta B + t \cdot m + B + (h + t - h_0) \cdot m_1 - (h_q - h_0) \cdot m_1 - (h_q - h_0) \cdot m_q. \quad (4.20)$$

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

$$l = 0,5 \cdot \left(\sqrt{L_1^2 + (h - h_0)^2} - L_1 \right). \quad (4.21)$$

4. Определяется расстояние от раздельного сечения до начала координат:

$$L = L_1 + l. \quad (4.22)$$

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

5. Теоретическое положение кривой депрессии определяется по уравнению:

$$y = (h - h_0) \cdot \sqrt{\frac{x}{L}}, \quad (4.23)$$

где y и x – координата и абсцисса депрессионной кривой в рассматриваемой точке.

6. Удельный фильтрационный расход определяется по формуле

$$q = k \cdot \frac{h^2 - h_0^2}{2 \cdot L}. \quad (4.24)$$

5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В каждой лабораторной работе вычерчиваются на миллиметровой бумаге формата А–4 продольные профили плотины. На чертеже отмечаются горизонты воды в нижнем и верхнем бьефе плотины. Затем по данным табл. 1 наносятся показания пьезометров, по которым строятся экспериментальные кривые депрессии.

Используя расчетные зависимости, вычисляют координаты точек теоретических кривых депрессий (табл. 5.1), по которым строится теоретическая кривая депрессии.

Т а б л и ц а 5.1

Определение координат точек теоретической кривой депрессии

Уровень воды в ВБ	Уровень воды в НБ	Действующий напор	Координаты точек	Номера точек, совмещенные с расположением пьезометров									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		H_1	x_i y_i										
		H_2	x_i y_i										
		H_3	x_i y_i										

Графически определяется расхождение между экспериментальными и теоретическими ординатами кривых депрессий. Погрешность вычисляется по зависимости

$$\delta_{y_i} = \frac{y_{э_i} - y_{т_i}}{y_{э_i}} \cdot 100\%. \quad (5.1)$$

Определяют, используя расчетные формулы, теоретические удельные расходы фильтрации q_T для каждого из трех случаев напора и сравниваются с экспериментальными данными. Относительная погрешность вычисленного расхода определяется по зависимости

$$\delta_q = \frac{q_{э} - q_T}{q_{э}} \cdot 100\%, \quad (5.2)$$

Скорость фильтрации определяется по уравнению Дарси:

$$v_T = k_{\phi} \cdot I_T, \quad (5.3)$$

где v_T – теоретическая скорость фильтрации;

I_T – градиент фильтрационного потока:

$$I_T = \frac{\Delta h}{\Delta l}, \quad (5.4)$$

здесь Δh – разность уравнений депрессионной кривой на рассматриваемом участке;

Δl – длина проекции депрессионной кривой на горизонтальную ось на рассматриваемом участке.

Вычисления выполняют для трех характерных участков кривой депрессии; на входе, в середине плотины и на выходе. Величины Δh и Δl определяют графически по теоретической кривой депрессии. Результаты расчетов заносят в табл. 5.2.

Т а б л и ц а 5.2

Определение теоретической скорости фильтрации

Напор	Участок депрессионной кривой	h_1 , см	h_2 , см	Δh_T , см	Δl_T , см	I_T	v_T , см/с
1	2	3	4	5	6	7	8
H_1	вход середина выход						
H_2	вход середина выход						
H_3	вход середина выход						

Используя экспериментальные депрессионные кривые, аналогично определяется экспериментальные скорости фильтрации для трех значений напоров. Результаты расчетов заносят в табл. 5.3.

Т а б л и ц а 5.3

Определение экспериментальной скорости фильтрации

Напор	Участок депрессионной кривой	Δh_1 , см	Δh_2 , см	Δh_3 , см	Δl_2 , см	I_3	v_3 , см / с
1	2	3	4	5	6	7	8
H_1	вход середина выход						
H_2	вход середина выход						
H_3	вход середина выход						

Относительная погрешность вычисленных скоростей фильтрации определяется по зависимости

$$\delta_v = \frac{v_3 - v_T}{v_3} \cdot 100\%. \quad (5.5)$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рассказов, Л.Н. Гидротехнические сооружения [Текст] / Л.Н. Рассказов. – М.: АСВ, 2008. – Ч. 1, 2.
2. Ляпичев, Ю.П. Проектирование и строительство современных плотин [Текст] / Ю.П. Ляпичев. – М.: РУДН, 2004.
3. Гольдин, А.Л. Проектирование грунтовых плотин [Текст] / А.Л. Гольдин. – М.: АСВ, 2001.
4. Нестеров, М.В. Гидротехнические сооружения [Текст] / М.В. Нестеров. – Минск: ООО «Новое знание», 2006.
5. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ	7
3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.....	9
4. ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ КРИВЫХ ДЕПРЕССИИ И РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСХОДА	12
4.1. Лабораторная работа № 1	12
4.2. Лабораторная работа № 2	15
4.3. Лабораторная работа № 3	17
4.4. Лабораторная работа № 4	18
5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	23

Учебное издание

Круглов Леонид Васильевич

Круглов Сергей Леонидович

Полежай Алексей Анатольевич

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ

ЧЕРЕЗ ОДНОРОДНУЮ ЗЕМЛЯНУЮ ПЛОТИНУ

Методические указания

по выполнению лабораторных работ

Под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова

Редактор В.С. Кулакова

Верстка Н.А. Сазонова

Подписано в печать 9.12.13. Формат 60×84/16.

Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.

Усл. печ.л. 1,39. Уч.-изд.л. 1,5. Тираж 80 экз.

Заказ № 272.

Издательство ПГУАС.

440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.