

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ И.Т. ТРУБИЛИНА»

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

На тему: «ВОДОХРАНИЛИЩНЫЙ ГИДРОУЗЕЛ В СОСТАВЕ  
ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ И ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ»

RESERVOIR WATERWORKS AS PART OF AN EARTHEN DAM AND CULVERTS

Выполнила: магистрант группы ВС1841

Кочнева А.Е.

Проверил: профессор кафедры  
высшей математики

Сафронова Т. И.

Краснодар, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Исходные данные .....                                                  | 3  |
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                          | 4  |
| 1 КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПЛОТИНЫ .....                    | 5  |
| 1.1 Определение отметки гребня плотины.....                            | 5  |
| 1.2 Определение геометрических параметров плотины .....                | 7  |
| 1.3 Крепление верхового откоса плотины.....                            | 10 |
| 2 РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ ТЕЛО ПЛОТИНЫ И<br>ОСНОВАНИЕ..... | 11 |
| 2.1 Определение фильтрационной устойчивости .....                      | 13 |
| 3 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ НИЗОВОГО ОТКОСА.....                             | 15 |
| 4 РАСЧЕТ ОСАДКИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ..                  | 20 |
| 5 ВЫБОР ТИПА ВОДОСБРОСНОГО И ВОДОВЫПУСКНОГО<br>СООРУЖЕНИЙ.....         | 25 |
| 5.1 Расчет трубчато-шахтного водосброса .....                          | 25 |
| 5.2 Расчёт сопряжения нижнего бьефа. ....                              | 30 |
| Список литературы .....                                                | 33 |

## **Исходные данные**

1. Уровни воды в верхнем бьефе: ФПУ=14,0 м; НПУ=13,0 м; УМО=8,0 м
2. Уровни воды в нижнем бьефе: УНБ<sub>max</sub>=6,0 м, УНБ<sub>min</sub>=5,0 м
3. Отметка основания: 3,0 м
4. Расходы: (м<sup>3</sup>/с): строительный: - м<sup>3</sup>/с  
    через водосбросное сооружение: 50 м<sup>3</sup>/с  
    через водопропускное сооружение: - м<sup>3</sup>/с
5. Характеристики ветра: скорость: 10 м/с, направление: 90 град.
6. Длина разгона волны: 10 км
7. Условия проезда по гребню: дорога 2 категории
8. Грунт тела плотины: супесь; основания: песок, мощность: 10 м

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данном курсовом проекте представлен расчет водохранилищного гидроузла в составе подпорной грунтовой плотины и водопропускных сооружений. Расчет проведен в приближенной форме по сокращенным формулам.

В ходе работы проведены следующие расчеты и приняты решения в соответствии с действующими СНиПами и ГОСТами: выбор створа плотины и компоновка сооружений, фильтрационный расчет, расчет устойчивости низового откоса, расчет осадки основания плотины, крепление откосов, выбор типа водосбросного сооружения, гидравлический расчет водосбросного сооружения.

# 1 КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЯ ПЛОТИНЫ

## 1.1 Определение отметки гребня плотины

Земляные плотины не допускают перелива воды через гребень, что может привести к их разрушению, поэтому гребень плотины располагают выше расчетного уровня воды в водохранилище на величину  $d$  – превышение гребня плотины над расчетным уровнем воды, тогда высота плотины будет равна  $H_{пл}$ :

$$H_{пл} = H + d, \quad (1.1.1)$$

где,  $H$  – расчетная глубина воды перед плотиной, м;

$d$  – превышение гребня над уровнем воды в водохранилище, м;

Отметка гребня плотины назначается с учетом возвышения его над расчетным уровнем воды.

Это превышение определяется по формуле:

$$d = h_{нак} + \Delta h_n + a, \quad (1.1.2)$$

где,  $h_{нак}$  – высота наката ветровой волны на откос, принимаемая как большее из значений м;

$\Delta h_n$  – высота ветрового нагона воды, м (принимается  $\Delta h_n = 0$ );

$a$  – конструктивный запас равный 0,5 м.

$$d = 0,94 + 0 + 0,5 = 1,44 \text{ м}$$

В зависимости от высоты плотины  $\Delta H = \Phi ПУ - Z_{осн} = 14,0 - 3,0 = 11,0$  м, и грунта основания – песок, подбираем коэффициенты заложения верхового и низового откоса. При данных условиях коэффициенты заложения

назначаем  $m_1 = 3,0$  и  $m_2 = 2,0$  верхового откоса и низового соответственно, класс сооружения IV.

Расчет превышения над уровнем ФПУ производим по упрощенной схеме. Высота ветрового нагона  $\Delta h_n$  зависит от скорости ветра, его направления к водохранилищу, длины разгона волны, глубины водохранилища и других факторов. Высота ветрового нагона  $\Delta h_n$  определяется по двум формулам, среди которых выбирается наибольшее значение:

$$h_{\text{нак}} = 3,2 \cdot K \cdot \frac{C}{m}, \text{ м} \quad (1.1.3)$$

где  $C$  – высота волны, м;

$K$  – коэффициент зависящий от угла подхода фронта волны к откосу плотины, принимаем  $K = 1,0$ ;

$m$  – коэффициент заложения верхового откоса плотины.

$$h_{\text{нак}} = 3,2 \cdot 1,0 \cdot \frac{0,79}{3} = 0,84 \text{ м}$$

$$h_{\text{нак}} = 0,565 \cdot \frac{C}{m \cdot \sqrt{n}}, \text{ м} \quad (1.1.4)$$

где  $C$  – высота волны, м;

$n$  – коэффициент шероховатости, принимаем  $n=0,025$ ;

$m$  – коэффициент заложения верхового откоса плотины.

$$h_{\text{нак}} = 0,565 \cdot \frac{0,79}{3 \cdot \sqrt{0,025}} = 0,94 \text{ м}$$

$$C = 0,0208 \cdot W^{5/4} \cdot L^{1/3} \quad (1.1.5)$$

где  $L$  – длина разгона волны, м;

$W$  – скорость ветра, м/с.

$$C = 0,0208 \cdot 10^{5/4} \cdot 10^{1/3} = 0,79 \text{ м}$$

Принимаем  $h_{\text{нак}} = 0,94$ .

Определим отметку гребня плотины  $Z_{\text{гр}}$ :

$$Z_{\text{гр}} = Z_{\text{НПУ}} + d, \text{ м} \quad (1.1.6)$$

$$Z_{\text{гр}} = 13 + 1,44 = 14,44 \text{ м}$$

$$H_{\text{пл}} = 11 + 1,44 = 12,44 \text{ м}$$

$$\Phi\text{ПУ} = 14,00 \text{ м } Z_{\text{гр}} > \Phi\text{ПУ на } 0,5 \text{ м}$$

## 1.2 Определение геометрических параметров плотины

Определим ширину плотины по гребню. Она назначается в зависимости от категории дороги, проходящей по гребню. Категория дороги назначается в исходных данных – II категория.

Ширина проезжей части дороги II категории равна 7,5 м. Ширина обочины равна 3,75 м.

$$B_{\text{гр}} = B_{\text{пр.ч.}} + 2 \cdot B_{\text{об.}}, \text{ м} \quad (1.2.1)$$

где  $B_{\text{гр}}$  – ширина плотины по гребню, м;

$B_{\text{пр.ч.}}$  – ширина проезжей части, м;

$B_{\text{об.}}$  – ширина обочины, м.

$$B_{\text{гр}} = 7,5 + 2 \cdot 3,75 = 15,0 \text{ м}$$

На верховом откосе устраиваем берму шириной 5 м. Отметка бермы определяется по формуле:

$$Z_1 = \nabla_{\text{УМО}} - 2 \cdot C, \text{ м} \quad (1.2.2)$$

где  $Z_1$  – отметка уровня бермы на верховом откосе, м;  
 $C$  – высота волны, м.

$$Z_1 = 8,00 - 2 \cdot 0,79 = 6,42 \text{ м} = 6,4 \text{ м}$$

Ширина бермы на верховом откосе назначается 3 – 5 м.

Принимаем  $b_1 = 5$  м.

На низовом откосе берма устраивается через каждые 10 – 15 м. Отметка бермы определяется по формуле:

$$Z_2 = Z_{\text{гр}} - 10,0, \text{ м} \quad (1.2.3)$$

где  $Z_2$  – отметка уровня бермы на низовом откосе, м;  
 $Z_{\text{гр}}$  – отметка гребня, м.

$$Z_2 = 14,44 - 10,0 = 4,44 \text{ м}$$

Ширина бермы на низовом откосе назначается 3 – 6 м.

Принимаем  $b_2 = 6$  м.

Для того чтобы определить ширину плотины по основанию необходимо найти параметры дренажа.

Принимаем конструкцию дренажа в виде дренажного банкета.

Дренаж предназначен для сбора и организованного отвода в нижний бьеф фильтрационного потока, недопущения его выхода на незащищенный низовой откос плотины и в зону, подверженную промерзанию, а так же ускорения консолидации глинистых грунтов и уменьшения порового давления в теле плотины и основания. Обычно дренаж состоит из двух частей: приемной, которая выполняется в виде обратного фильтра, и отводящей, выполняемой из камня, дренажных труб, пористого бетона и т.д.

Определим отметку дренажного банкета. Минимальный конструктивный запас над расчетным уровнем воды в нижнем бьефе составляет 0,5 м. Принимаем превышение над УНБ<sub>max</sub> равным 0,5 м.

$$Z_3 = \nabla \text{УНБ}_{\max} + 0,5, \text{ м} \quad (1.2.4)$$

где  $Z_3$  – отметка уровня бермы дренажного банкета.

$$Z_3 = 6,00 + 0,50 = 6,50 \text{ м}$$

Ширина бермы дренажного банкета должна быть не менее 1 м. Принимаем  $b_3 = 3,0$  м.

Коэффициент заложения откосов дренажа принимаем  $m_3 = 1,5$ .

Определим ширину плотины по основанию.

$$B_{\text{пл.}} = H_{\text{пл.}} \cdot m_1 + (Z_{\text{гр}} - Z_3) \cdot m_2 + B_{\text{гр}} + b_1 + b_2 + (Z_3 - Z_{\text{осн}}) \cdot m_3 + b_3 \quad (1.2.5)$$

где  $H_{\text{пл.}}$  – высота плотины, м;

$Z_{\text{гр}}$  – отметка гребня плотины, м;

$Z_3$  – отметка бермы дренажа, м;

$Z_{\text{осн}}$  – отметка основания, м;

$B_{\text{гр}}$  – ширина гребня плотины, м;

$b_1$  – ширина бермы верхового откоса плотины, м;

$b_2$  – ширина бермы низового откоса плотины, м;

$b_3$  – ширина бермы дренажного банкета, м;

$m_1$  – коэффициент заложения верхового откоса плотины;

$m_2$  – коэффициент заложения низового откоса плотины;

$m_3$  – коэффициент заложения откоса дренажного банкета;

$$B_{\text{пл.}} = 12,44 \cdot 3,0 + (14,44 - 6,50) \cdot 2,0 + 15,0 + 5,0 + 6,0 + (6,50 - 3,0) \times \\ \times 1,5 + 3,0 = 87,45 \text{ м}$$

### 1.3 Крепление верхового откоса плотины

Верховой откос плотины подвержен разрушительному действию от волн и льда. Поэтому для защиты от пагубных воздействий устраиваем в пределах возможного волнобоя устраиваем крепление в виде железобетонных плит.

Плиты укладываются на слой гравийно-песчаной подготовки толщиной 15 – 30 см. Швы между плитами гидроизолируют и в нижней части крепления располагают упорный блок.

Толщину бетонных плит рассчитаем по формуле П. А. Шанкина:

$$\delta = 0,1 \cdot C \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{(\gamma_{\sigma} - 1) \cdot m \cdot b}}, \text{ м} \quad (1.3.1)$$

где  $C$  – высота волны, м;

$\lambda$  – длина волны, м;

$b$  – размер плиты в направлении падения откоса, примем  $b=5,0$  м;

$\gamma_{\sigma}$  – средняя плотность бетона, т/м<sup>3</sup>;

$m$  – коэффициент заложения откоса.

$$\delta = 0,1 \cdot 0,79 \cdot \sqrt{\frac{10,44}{(2,4 - 1) \cdot 3,0 \cdot 5,0}} = 0,1 \text{ м}$$

Принимаем минимально допустимую величину толщины плит при данных размерах плит ( $b = 5,0$  м)  $\delta = 0,15$  м.

## 2 РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ ТЕЛО ПЛОТИНЫ И ОСНОВАНИЕ

Фильтрационные расчеты земляных плотин выполняются с целью определения положения депрессионной кривой, установления градиентов и скоростей фильтрационного потока и определения фильтрационного расхода.

Общий фильтрационный расход определяется как сумма расходов через тело и основание плотины:

$$q_p = q_t + q_o \quad (2.1)$$

где  $q_t$  – фильтрационный расход через тело плотины, м<sup>3</sup>/сут;  
 $q_o$  – фильтрационный расход через основание плотины м<sup>3</sup>/сут.

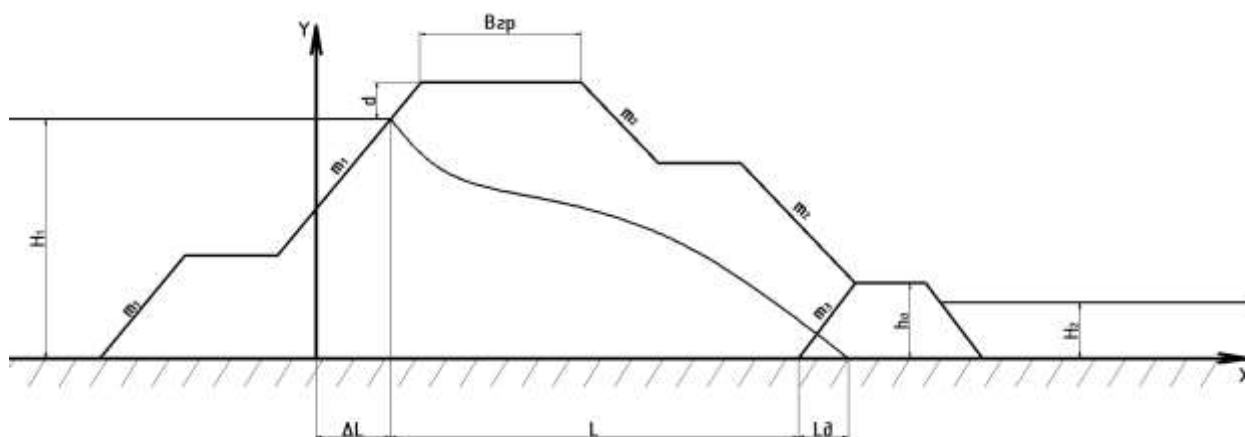


Рисунок 2.1 – Расчетная схема фильтрации через однородную плотину.

В основании плотины:

$$q_o = K_\phi \cdot T \cdot \frac{H_1 - H_2}{n \cdot B_{пл}} \quad (2.2)$$

где,  $H_1 - H_2 = Z_{НПУ} - Z_{НБmin} = 11,0 - 5,0 = 6,0$  м

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации для супеси:

$K_\phi = 1 \cdot 10^{-4}$  см/сек = 0,08 м/сут.

$n$  – конструктивный поправочный коэффициент  $n = 1.15 \div 1.87$   
 принимаем  $n = 1,3$

$T$  – толщина до водоупора  $T = 10$  м

$B_{пл}$  – ширина плотины по низу

$$q_0 = 0,01 \cdot 10 \cdot \frac{11,0 - 5,0}{1,3 \cdot 87,45} = 0,005 \text{ м}^3/\text{сут}$$

В теле плотины:

$$q_T = K_\phi \cdot \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot (L_{расч} + L_d)} \quad (2.3)$$

где,  $L_{расч} = \Delta L + L = 4,7 + 27,7 = 32,4$  м

$K_\phi$  – коэффициент фильтрации для суглинка:

$K_\phi = 1 \cdot 10^{-5} \text{ см/сек} = 0,001 \text{ м/сут.}$

$$q_T = 0,001 \cdot \frac{11,0^2 - 5,0^2}{2 \cdot (32,4 + 2,5)} = 0,0001 \text{ м}^3/\text{сут}$$

$$\Delta L = \frac{m_1}{2 \cdot m_1 + 1} \cdot H_1 = \frac{3,0}{2 \cdot 3,0 + 1} \cdot 11,0 = 4,7 \text{ м}$$

$$L = m_1 \cdot d + B_{гр} + m_2 \cdot (H_1 + d - h_d) - m_3 \cdot h_d + b_2$$

где  $d$  – превышение гребня над уровнем воды в водохранилище, м;

$m_1$  – коэффициент заложения верхового откоса плотины;

$m_2$  – коэффициент заложения низового откоса плотины;

$m_3$  – коэффициент заложения откоса дренажного банкета;

$h_d$  – высота дренажа, м;

$b_2$  – ширина бермы низового откоса, м.

$$L = 3 \cdot 1,44 + 15 + 2 \cdot (11,0 + 1,44 - 3,5) - 1 \cdot 3,5 + 6 = 27,7 \text{ м}$$

$$L_d = \frac{m_3 \cdot H_2}{3} = \frac{1,5 \cdot 5,0}{3} = 2,50 \text{ м.}$$

Определим общий фильтрационный расход:

$$q_p = 0,005 + 0,0001 = 0,0051 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Построим кривую депрессии, для этого найдем координаты  $x$  и  $y$  в пределах  $(\Delta L + L_{\text{расч}})$ .

$$y = \sqrt{(2 q_T / K_T) \cdot (L_p - x) + h_2^2}$$

|     |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x$ | 6,9   | 10,00 | 20,00 | 30,00 | 40,00 | 50,00 | 58,49 |
| $y$ | 14,73 | 14,28 | 12,76 | 11,02 | 8,96  | 6,26  | 2,06  |

Вывод: Кривая депрессии не выходит над дренажным банкетом и находится ниже поверхности откоса плотины с учетом глубины промерзания равной 0,8 м.

## 2.1 Определение фильтрационной устойчивости

При проектировании сооружений необходимо выполнить проверку на общую и местную фильтрационную проточность грунтов основания и тела плотины. При выполнении расчета фильтрационной проточности напор, действующий на плотину, принимают равным его наибольшему значению.

Для того, чтобы не допустить фильтрационные деформации, необходимо выполнить следующее условие:

$$J_{\text{ср}} \leq J_{\text{кр}} / K_{\text{н}} \quad (2.1.1)$$

где  $J_{\text{ср}}$  – действующий средний градиент напора в расчетной области фильтрации;

$J_{\text{кр}}$  – критический средний градиент напора;

$K_{\text{н}}$  – Коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаем для плотины IV класса – 1,1.

Проверяем фильтрационную устойчивость основания плотины

$$J_{cp} = \frac{(НПУ - УВНБ \max)}{n \cdot B_{пл}} \quad (2.1.2)$$

$$J_{cp} = \frac{(13,0 - 6,0)}{87,45 \cdot 1,11} = 0,072$$

Проверяем фильтрационную устойчивость тела плотины.

$$J_{cp} = \operatorname{tg} \alpha \quad (2.1.3)$$

где  $\alpha$  – угол наклона кривой депрессии в теле плотины.

$$J_{cp} = \operatorname{tg} 14^\circ = 0,26$$

Проверяем условие:

- для тела плотины  $0,26 \leq \frac{3,0}{1,1} \rightarrow 0,26 \leq 2,72$  условие выполняется
- для основания плотины  $0,072 \leq \frac{0,38}{1,1} \rightarrow 0,072 \leq 0,34$  условие выполняется

Вывод: Так как величины действующих градиентов напора расчетной области не превышают критических градиентов напора, то вероятность суффозии исключена, значит противofильтрационные устройства не требуются.

### 3 РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ НИЗОВОГО ОТКОСА

Выполняем графо - аналитический расчет в приближенной форме методом круглоцилиндрических поверхностей.

При использовании метода круглоцилиндрических поверхностей сдвига выполняют следующие операции:

Порядок расчёта:

1. Необходимо построить в одинаковом масштабе по горизонтали и по вертикали расчётный профиль плотины.

2. Проводим усредняющую линию низового откоса.

3. Определяем середину откоса точку А.

4. Из середины откоса точки А проводим две линии: вертикальную и под углом  $85^\circ$  к откосу.

5. Находим область центров кривизны сползания. Для этого из центра А проводим две дуги радиусом  $R_1 = K_1 H_{пл}$  и  $R_2 = K_2 H_{пл}$ , которые определяются по таблице 4, в зависимости от заложения откоса.

Для заложения откоса  $m = 2$  и высоты плотины  $H_{пл} = 12,44$  м;  $K_1 = 0,75$ ;  $R_1 = 9,33$  м.;  $K_2 = 1,75$ ;  $R_2 = 21,77$  м.

6. В образовавшемся секторе, ограниченном прямыми и дугами выбираем точку О – центр скольжения.

7. Из точки О проводим дугу радиусом  $R$ , так, чтобы она прошла между осью плотины и бровкой низового откоса. Величину  $R$  определяем графически.  $R = 32,4$  м.

8. Разбиваем область, ограниченную кривой скольжения и внешними очертаниями плотины на отсеки шириной  $b = 0,1R = 3,24$  м, так чтобы центр нулевого отсека располагался под центром кривой сдвига. Центр кривой сдвига – точка пересечения вертикальной линии проведённой из центра скольжения О до линии откоса. Нулевой сектор располагаем так – откладывая в обе стороны от вертикали расстояние равное  $0,5b$ . Остальные

секторы нумеруем с положительными знаками – вверх по откосу, с отрицательными знаками – вниз к подошве.

9. Определяем физико-механические характеристики грунтов тела плотины и основания.

10. Вычисляем плотность грунта каждого слоя:

$\gamma_1$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$  – объёмная масса соответственно сухого суглинка, влажного суглинка и влажной супеси.

$$\gamma_1 = (1-n) \gamma_{гр} \cdot K \quad (3.1)$$

$n$  – пористость грунта;

$\gamma_{гр}$  – плотность сухого грунта;

$K$  – зависит от естественной влажности, при влажности 12-18%,

$K = 1,11$  (принимаем  $K = 1,1$  т. к. сооружение IV класса);

$$\gamma_1 = (1 - 0,35) \cdot 2,72 \cdot 1,1 = 1,9 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_2 = (1-n)(\gamma_{гр.т} - \gamma_0)K \quad (3.2)$$

$\gamma_0$  – плотность воды, равная  $1,0 \text{ т/м}^3$ ;

$\gamma_2$  – объёмная масса влажного суглинка,  $\text{т/м}^3$ .

$$\gamma_2 = (1-0,35)(2,72 - 1) 1,1 = 1,23 \text{ т/м}^3;$$

$$\gamma_3 = (1-n)(\gamma_{гр.ос} - \gamma_0)K \quad (3.3)$$

$$\gamma_3 = (1-0,4)(2,70 - 1) 1,1 = 1,12 \text{ т/м}^3;$$

По чертежу для каждого отсека определяем высоты  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$  – высота участка соответственно сухого, влажного грунта тела и грунта основания.

Определяем приведённую высоту каждого для каждого отсека:

$$h_{\text{пр}} = h_1 + h_2\gamma_2/\gamma_1 + h_3\gamma_3/\gamma_1 \text{ К} \quad (3.4)$$

Находим силу трения, возникающую на подошве всего массива обрушения, суммируя соответствующие силы по отсекам:

$$F = b\gamma_1\Sigma(h_{\text{пр}}\cos\alpha \cdot \text{tg}\phi), \quad (3.5)$$

$$F = 3,24 \cdot 1,9 \cdot 54,89 = 361,02 \text{ Н};$$

Определяем касательную составляющую силы тяжести трения:

$$T = b\gamma_1\Sigma(h_{\text{пр}}\sin\alpha), \quad (3.6)$$

$$T = 3,24 \cdot 2,03 \cdot 28,36 = 261,57 \text{ Н};$$

Определяем силу сцепления, возникающую на подошве обрушения:

$$S = c_1l_1 + c_2l_2 + c_3l_3; \quad (3.7)$$

$c_1, c_2, c_3$  – удельные сцепления грунта тела плотины и основания при естественной влажности и при насыщении водой;

$l_1, l_2, l_3$  – длины дуг кривой сдвига соответствующих удельных сцеплений, вычисляются по формуле:

$$l = 2\pi R\beta / 360^\circ,$$

$\beta$  – центральный угол круглоцилиндрической поверхности сдвига, опирающийся на дугу  $l$ . Определяются по чертежу. ( $\beta_1 = 11$ ,  $\beta_2 = 27$ ,  $\beta_3 = 79$ )

$$l_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 32,4 \cdot 11 / 360 = 6,24 \text{ м};$$

$$l_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 32,4 \cdot 27 / 360 = 15,40 \text{ м};$$

$$l_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 32,4 \cdot 79 / 360 = 44,92 \text{ м};$$

$$S = 12,48 + 30,8 + 157,22 = 200,5 \text{ Н};$$

Устойчивость откоса земляного сооружения с учетом воздействия фильтрационного потока определяется по формуле:

$$K = \frac{\sum(C_i + l_i) + b \cdot \gamma_1 \cdot \sum(h_{np} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{b \cdot \gamma_1 \cdot \sum(h_{np} \cdot \sin \alpha) + \Omega I (r/R)} \quad (3.8)$$

$K$  – обобщенный коэффициент запаса не должно быть меньше величины  $\frac{\gamma_n \gamma_{lc}}{\gamma_{cd}} = \frac{1,0 \cdot 1,0}{0,9} = 1,21$ .

$R$  – радиус круглоцилиндрической поверхности, принимаем по чертежу  $R = 32,4 \text{ м}$ ;

$r$  – радиус из вершины круглоцилиндрической поверхности до центра тяжести секторов под кривой депрессии, принимаем по чертежу  $r = 25,3 \text{ м}$ ;

$\Omega$  – площадь поперечного сечения секторов под кривой депрессии, принимаем по чертежу равной  $422 \text{ м}^2$ ;

$I$  – угол наклона кривой депрессии, принимаем по чертежу  $i = 0,29$ ;

$\varphi$  – угол внутреннего трения грунта;

$b$  – ширина сектора, м

$\gamma_1$  – объемная масса грунта,  $\text{т/м}^3$ ;

$C$  – коэффициент удельного сцепления грунта;

$L$  – длина дуги кривой сдвига, м;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения равен  $1,0$ ;

$\gamma_{lc}$  – коэффициент сочетания нагрузок равен  $1,0$ ;

$\gamma_{cd}$  – коэффициент условий работы равен  $0,9$ .

Таблица 3.1 – Расчет устойчивости низового откоса

| №  | $\sin \alpha$ | $\cos \alpha$ | h1   | h2    | h3   | h <sub>np</sub> | h <sub>np</sub> *<br>cos α | h <sub>np</sub> *<br>sin α | φ     | tg φ | h <sub>np</sub> *<br>cos<br>α*tg<br>φ | C   | L     | CL    |
|----|---------------|---------------|------|-------|------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------|------|---------------------------------------|-----|-------|-------|
| 9  | 0,90          | 0,44          | 6,06 | 0,00  | 0,00 | 6,06            | 2,64                       | 5,46                       | 34,00 | 0,67 | 1,78                                  | 2   | 6,24  | 12,48 |
| 8  | 0,80          | 0,60          | 6,70 | 6,04  | 0,00 | 10,53           | 6,32                       | 8,42                       | 35,00 | 0,70 | 4,42                                  | 2   | 15,4  | 30,8  |
| 7  | 0,70          | 0,71          | 6,36 | 9,06  | 0,00 | 12,09           | 8,63                       | 8,46                       | 27,00 | 0,51 | 4,39                                  |     |       |       |
| 6  | 0,60          | 0,80          | 5,68 | 11,17 | 0,00 | 12,74           | 10,19                      | 7,64                       | 27,00 | 0,51 | 5,19                                  |     |       |       |
| 5  | 0,50          | 0,87          | 5,00 | 9,48  | 3,17 | 12,82           | 11,10                      | 6,41                       | 27,00 | 0,51 | 5,65                                  | 3,5 | 44,92 | 157,2 |
| 4  | 0,40          | 0,92          | 4,32 | 8,82  | 4,80 | 12,66           | 11,60                      | 5,06                       | 29,00 | 0,55 | 6,43                                  |     |       |       |
| 3  | 0,30          | 0,95          | 3,67 | 8,12  | 6,02 | 12,27           | 11,71                      | 3,68                       | 29,00 | 0,55 | 6,48                                  |     |       |       |
| 2  | 0,20          | 0,98          | 3,18 | 7,26  | 6,85 | 11,72           | 11,49                      | 2,34                       | 29,00 | 0,55 | 6,36                                  |     |       |       |
| 1  | 0,10          | 0,99          | 3,02 | 6,08  | 7,34 | 11,10           | 11,05                      | 1,11                       | 29,00 | 0,55 | 6,12                                  |     |       |       |
| 0  | 0,00          | 1,00          | 0,00 | 4,50  | 7,51 | 7,18            | 7,18                       | 0,00                       | 25,00 | 0,47 | 3,35                                  |     |       |       |
| -1 | -0,10         | 0,99          | 0,00 | 0,00  | 7,34 | 4,24            | 4,22                       | -0,42                      | 25,00 | 0,47 | 1,96                                  |     |       |       |
| -2 | -0,20         | 0,98          | 0,00 | 0,00  | 6,85 | 3,95            | 3,87                       | -0,79                      | 25,00 | 0,47 | 1,81                                  |     |       |       |
| -3 | -0,30         | 0,95          | 0,00 | 0,00  | 6,02 | 3,47            | 3,31                       | -1,04                      | 25,00 | 0,47 | 1,54                                  |     |       |       |
| -4 | -0,40         | 0,92          | 0,00 | 0,00  | 4,80 | 2,77            | 2,54                       | -1,11                      | 25,00 | 0,47 | 1,18                                  |     |       |       |
| -5 | -0,50         | 0,87          | 0,00 | 0,00  | 3,17 | 1,83            | 1,58                       | -0,91                      | 26,00 | 0,49 | 0,77                                  |     |       |       |
| Σ  |               |               |      |       |      | 117,5           | 103,2                      | 39,77                      |       |      | 54,89                                 |     |       | 200,5 |

$$K = \frac{\Sigma(C_i + l_i) + b \cdot \gamma_1 \cdot \Sigma(h_{np} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{b \cdot \gamma_1 \cdot \Sigma(h_{np} \cdot \sin \alpha) + \Omega I(r/R)} = \frac{200,5 + 3,24 \cdot 2,03 \cdot 54,89}{3,24 \cdot 2,03 \cdot 39,77 + 422 \cdot 0,29 \cdot \frac{25,3}{32,4}} = 1,57$$

Вывод: Так как  $K > \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{lc}}{\gamma_{cd}} \rightarrow 1,57 > 1,21$ , значит условие устойчивости низового откоса плотны обеспечивается.

#### 4 РАСЧЕТ ОСАДКИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

Осадка плотины складывается из осадки тела плотины и осадки грунтов основания.

В процессе возведения плотины насыпь уплотняется до объемной массы скелета  $\gamma = 1,6 - 1,7 \text{ т/м}^3$ . Поэтому, считается, что дальнейшее уплотнение под действием собственного веса не происходит. Основные деформации возникают из-за уплотнения грунтов основания весом плотины. Величина этой осадки (см) определяется по формуле

$$S = T \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1}, \quad (4.1)$$

где,  $T$  – толщина сжимаемого слоя в основании плотины, см;

$\varepsilon_1$  – коэффициент пористости грунта основания плотины в естественном состоянии;

$\varepsilon_2$  – коэффициент пористости грунта основания плотины после возведения насыпи.

$$\varepsilon = \frac{n}{m}, \quad (4.2)$$

где,  $n$  – объем пор;

$m$  – объем скелета в единице объема ненарушенного грунта.

Определить величину осадки грунта основания земляной плотины, если по результатам геологических изысканий в основании имеют место следующие грунты:

Грунты основания:

Почвенный слой  $\gamma_1 = 1,60 \text{ т/м}^3$  ;  $T_1 = 0,5 \text{ м}$

Суглинок  $\gamma_2 = 1,90 \text{ т/м}^3$  ;  $T_2 = 4,0 \text{ м}$

Песок  $\gamma_3 = 1,88 \text{ т/м}^3$ ;  $T_3 = 5,5 \text{ м}$

Мощность сжимаемого грунта основания  $T_1 + T_2 + T_3 = 0,5 + 4,0 + 5,5 = 10 \text{ м}$ .

Ниже грунт практически несжимаем.

Грунт тела плотины по заданию выполняется из суглинка с объемным весом  $\gamma_{пл} = 1,89 \text{ т/м}^3$ .

$H_{пл} = 17,5 \text{ м}$ ,  $B_{гр} = 12 \text{ м}$ ,  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 2$ .

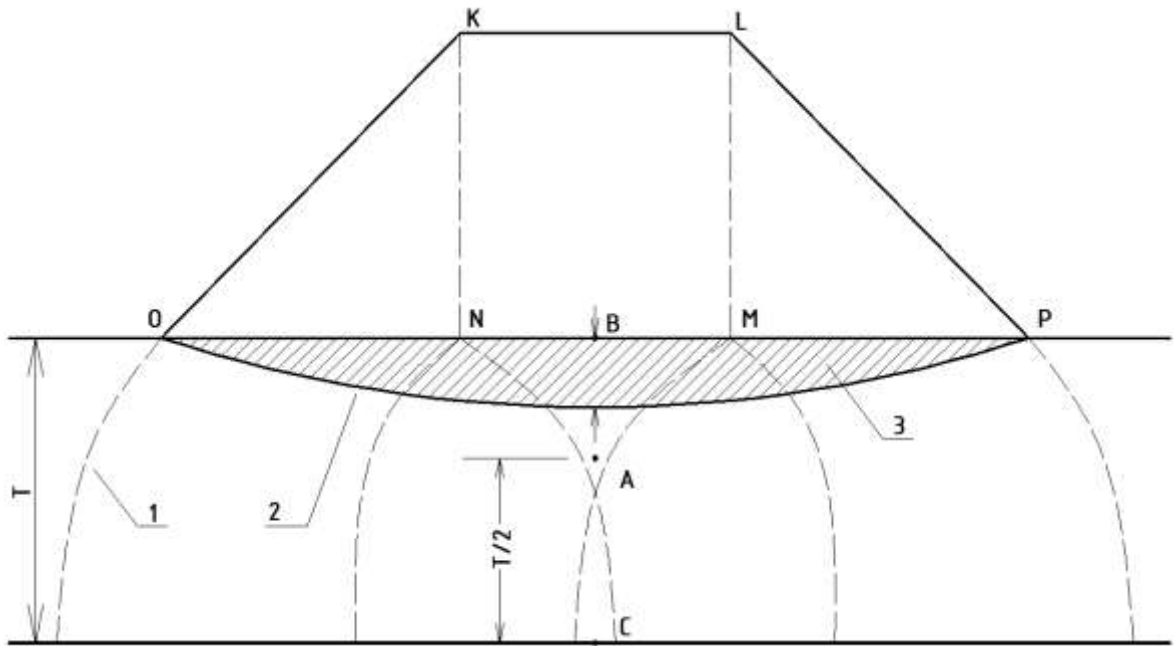


Рисунок 4.1 – Схема к расчету осадки основания

1 – граница распространения давления, передаваемого плотной; 2 – граница осевшей поверхности основания; 3 – площадь, учитываемая при определении объема земляных работ.

Определяем средневзвешенную плотность грунта основания

$$\gamma_{ср.взв.} = \frac{\gamma_1 \cdot T_1 + \gamma_2 \cdot T_2 + \gamma_3 \cdot T_3}{T_1 + T_2 + T_3}, \quad (4.3)$$

$$\gamma_{ср.взв.} = \frac{1,6 \cdot 0,5 + 1,9 \cdot 4,0 + 1,88 \cdot 5,5}{0,5 + 4,0 + 5,5} = 1,87 \text{ т/м}^3$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{ср.взв.} \cdot T, \quad (4.4)$$

$$P_1 = \frac{1}{2} \cdot 1,87 \cdot 10 = 0,0937 \text{ МПа}$$

Находим средневзвешенный коэффициент пористости грунта основания плотины:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_{1\text{сун}} \cdot (T_1 + T_2) + \varepsilon_{1\text{сyz}} \cdot T_3}{T_1 + T_2 + T_3}, \quad (4.5)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{0,68 \cdot (0,5 + 4,0) + 0,60 \cdot 5,5}{0,5 + 4,0 + 5,5} = 0,636$$

Определяем напряжение в точке В на поверхности сжимаемого слоя основания:

$$P_B = \gamma_{\text{гр.т.п.}} \cdot H_{\text{пл}}, \quad (4.6)$$

$$P_B = 1,89 \cdot 17,5 = 33,1 \text{ т/м}^3 = 0,331 \text{ МПа}$$

Определяется напряжение в середине сжимаемого слоя после возведение плотины:

$$P_C = P_{\text{л.тр-ка}} + P_{\text{ср}} + P_{\text{пр.тр-ка}}, \quad (4.7)$$

Поперечный профиль плотины делим на три фигуры: левый треугольник; средняя часть прямоугольник; правый треугольник. Для расчета используем таблицы Цитовича.

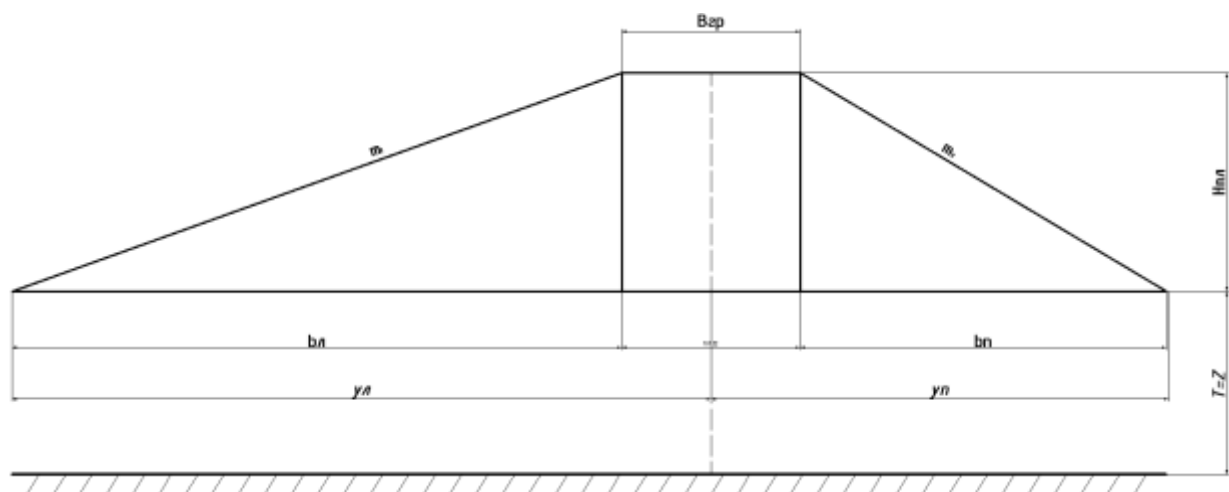


Рисунок 4.2 – схема распределения нагрузки от насыпи

**Для левого треугольника** вычисляем отношения

$$\begin{aligned}z/b &= \frac{T}{m_1 \cdot H_{nl}} = \frac{10}{3 \cdot 17,5} = 0,190 \\y/b &= \frac{m_1 \cdot H_{nl} + 1/2 \cdot B_{cp}}{m_1 \cdot H_{nl}} = \frac{3 \cdot 17,5 + 1/2 \cdot 12}{3 \cdot 17,5} = 1,11 \\\sigma_z &= 0,291\end{aligned}$$

**Для правого треугольника** вычисляем отношения

$$\begin{aligned}z/b &= \frac{T}{m_2 \cdot H_{nl}} = \frac{10}{2 \cdot 17,5} = 0,29 \\y/b &= \frac{m_2 \cdot H_{nl} + 1/2 \cdot B_{cp}}{m_2 \cdot H_{nl}} = \frac{2 \cdot 17,5 + 1/2 \cdot 12}{2 \cdot 17,5} = 1,17 \\\sigma_z &= 0,305\end{aligned}$$

**Для средней части профиля** вычисляем отношения

$$\begin{aligned}z/b &= \frac{T}{B_{cp}} = \frac{10}{12} = 0,83 \\y/b &= \frac{0}{12} = 0 \\\sigma_z &= 0,79\end{aligned}$$

Определяем напряжение в точке С (на границе сжимаемого слоя), обусловленные воздействием элементарных фигур

Напряжение от нагрузки левого треугольника:

$$P_{л.тр-ка} = 0,291 \cdot 0,331 = 0,096 МПа$$

Напряжение от нагрузки правого треугольника:

$$P_{пр.тр-ка} = 0,305 \cdot 0,331 = 0,101 МПа$$

Напряжение от нагрузки средней части:

$$P_{cp} = 0,79 \cdot 0,331 = 0,261 МПа$$

Полное напряжение в точке С определяется, как сумма отдельных трех нагрузок от левой, правой и центральной части.

$$P_c = 0,096 + 0,101 + 0,261 = 0,459 \text{ МПа}$$

В среднем в грунте основания под гребнем плотины напряжение с учётом первоначального напряжения  $P_1$

$$P_2 = \frac{(P_B + P_C)}{2} + P_1, \quad (4.8)$$

$$P_2 = \frac{(0,331 + 0,459)}{2} + 0,0937 = 0,490 \text{ МПа}$$

По компрессионной кривой при  $P_2$  определяем средневзвешенный коэффициент пористости  $\varepsilon_2$ .

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_{2\text{сун}} \cdot (T_1 + T_2) + \varepsilon_{2\text{цз}} \cdot T_3}{T_1 + T_2 + T_3}, \quad (4.9)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,48 \cdot (0,5 + 4,0) + 0,33 \cdot 5,5}{0,5 + 4,0 + 5,5} = 0,400$$

Величину полной осадки основания под гребнем плотины:

$$S = T \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{1 + \varepsilon_1} = 10 \cdot \frac{0,636 - 0,400}{1 + 0,636} = 146 \text{ см}$$

Вывод: Эта величина учитывается при строительстве плотины.

## 5 ВЫБОР ТИПА ВОДОСБРОСНОГО И ВОДОВЫПУСКНОГО СООРУЖЕНИЙ

### 5.1 Расчет трубчато-шахтного водосброса

**Трубчато-шахтный водосброс** состоит из входной части, напорных труб и устройства для гашения энергии потока в нижнем бьефе (рисунок 5.1).

Входная часть представляет собой неподтопленный водослив практического профиля большой ширины с подходом воды с со всех сторон. Если верх водослива находится на отметке нормального подпорного уровня воды, то он является водосбросом автоматического действия.

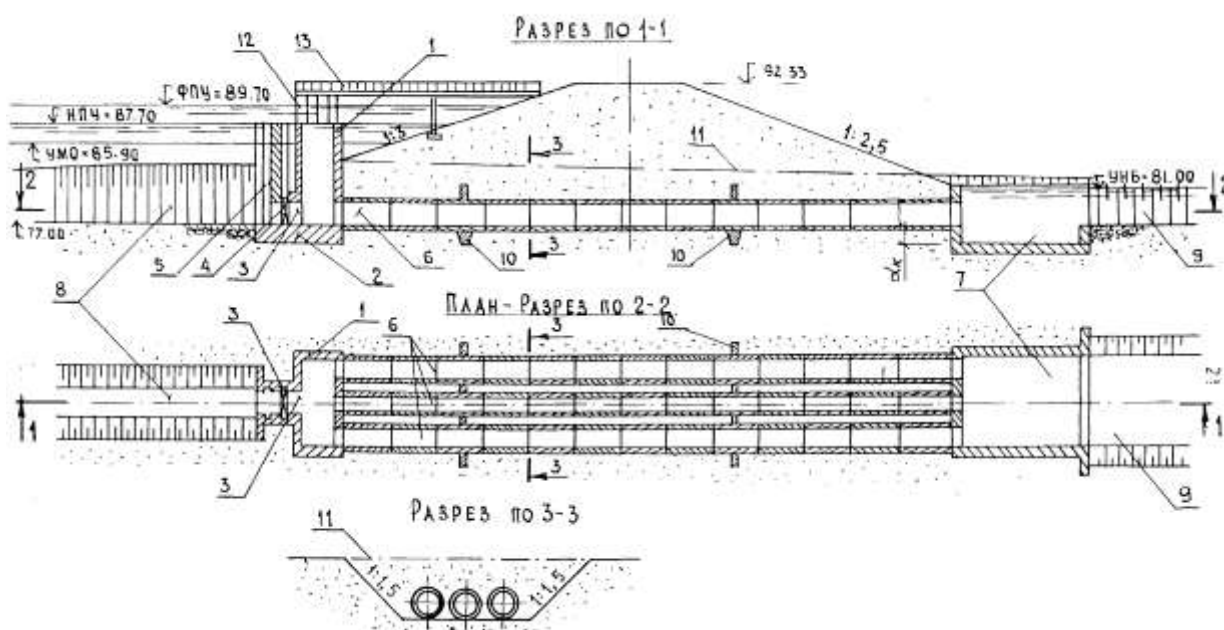


Рисунок 5.1 – Трубчато-шахтный водосброс

За водосливным порогом устраивают шахту, в нижней части которой размещаются входные отверстия труб.

Для водосброса обычно применяют железобетонные или асбестоцементные трубы. Трубы укладывают на подготовку из тощего бетона толщиной  $0,2 \div 0,4$  м. Чтобы предупредить возникновение

сосредоточенной фильтрации, вокруг труб укладывают глину или глинобетон.

Гидравлический расчет сводится к определению ширины водослива, потерь напора в трубах и размеров водобойного колодца.

Ширину водослива, обеспечивающую нормальный режим работы сооружения, находят по формуле:

$$b = \frac{Q}{\sigma_n m \sqrt{2g} \cdot H_1^{3/2}} \quad (5.1.1)$$

где  $\sigma_n$  – коэффициент подтопления, определяется по графику (принимается  $\sigma_n = 0,9$ );

$m$  – коэффициент расхода (принимается  $m = 0,358$ );

$H_1$  – напор на пороге водослива, м;

$$H_1 = Z_{\text{фпу}} - Z_{\text{нпу}} = 14 - 13 = 1,0 \text{ м};$$

$$b = \frac{50}{0,9 \cdot 0,358 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 1,0^{3/2}} = 35 \text{ м};$$

Имея общую ширину, устанавливаем ширину и 4 частей водослива. Ширина торцевой части должна быть равна или больше входного фронта трубы.

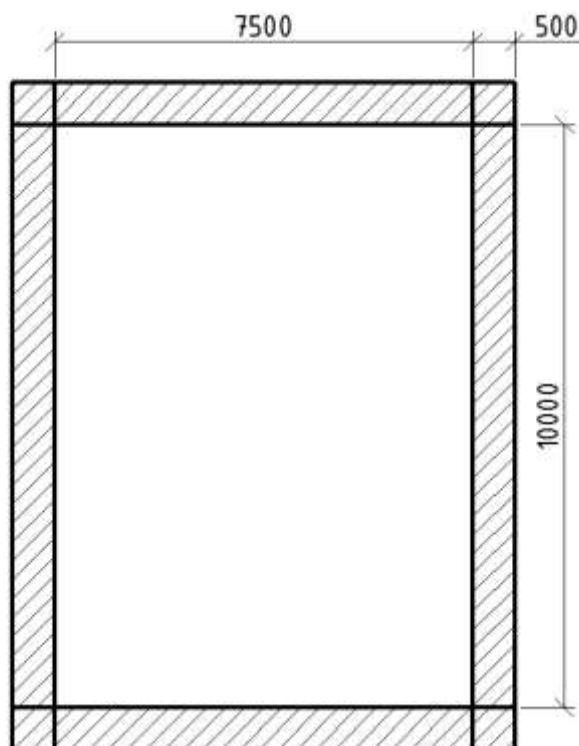


Рисунок 5.2 – Схема водослива шахтного водосброса

Задаваясь количеством труб и их размерами, определяют скорость. Допустимая скорость 7 – 10 м/с, если более то увеличиваем количество ниток труб.

$$v = \frac{Q}{w}, \quad (5.1.2)$$

где  $w$  – площадь живого сечения потока в трубах,  $\text{м}^2$ ;

$Q$  – расход через водосбросное сооружение,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Принимаем в первом приближении одну трубу диаметром  $d = 2000$  мм.

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{\pi d^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (5.1.3)$$

где  $\omega_{\text{тр}}$  – площадь живого сечения одной трубы,  $\text{м}^2$ ;

$d$  – диаметр трубы, м.

Для определения количества труб вычисляем расход, проходящий через 1 трубу:

$$Q_{\text{тр}} = \mu \omega \sqrt{2gZ} \quad (5.1.4)$$

где  $Z$  – разница уровней воды в верхнем и нижнем бьефе, м  
 $\mu$  – коэффициент трения;  
 $\omega$  – площадь живого сечения трубы, м<sup>2</sup>.

$$Z = Z_{фпу} - Z_{нбтах} = 38 - 24 = 14 \text{ м};$$

Коэффициент трения рассчитываем по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\Sigma \xi_{местн} + \xi_{дл}}}; \quad (5.1.5)$$

где  $\Sigma \xi_{местн}$  – сумма местных потерь;  
 $\xi_{дл}$  – потери по длине;

Сумма местных потерь:

$$\Sigma \xi_{местн} = \xi_{вх} + \xi_{вых} \quad (5.1.6)$$

где  $\xi_{вх}$  – коэффициент сопротивления при входе;  
 $\xi_{вых}$  – коэффициент сопротивления при выходе;

Принимаем  $\xi_{вх} = 0,5$ ;  $\xi_{вых} = 1$ ; ;

$$\Sigma \xi_{местн} = 0,5 + 1,0 = 1,5 \text{ м};$$

Потери напора по длине трубы круглого поперечного сечения:

$$\xi_{дл} = \lambda \frac{l}{d} \quad (5.1.7)$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления по длине в трубах для бетонных труб равен 0,02;

$l$  – длина трубы, м;

$d$  – диаметр трубы, м.

$$\xi_{дл} = 0,02 \cdot \frac{80}{2,0} = 0,80 \text{ м}$$

Полная потеря напора определяется по зависимости:

$$h_w = \sum \xi \frac{v^2}{2g} = (\xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вых}} + \xi_{\text{тр}} + \dots) \frac{v^2}{2g} \quad (5.1.8)$$

где  $\xi_{\text{вх}}$  – коэффициент сопротивления при входе;

$\xi_{\text{вых}}$  – коэффициент сопротивления при выходе;

$\xi_{\text{тр}}$  – коэффициент сопротивления на трение по длине труб.

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{3,14 \cdot 2,0^2}{4} = 3,14 \text{ м}^2$$

$$v = \frac{50}{3,14} = 15,9 \text{ м/с}$$

Так как скорость превышает допустимые величины, увеличиваем количество ниток труб. На этом основании принимаем количество труб  $n=2$ . Значит площадь живого сечения увеличивается в  $n$  раз. Определим новую площадь живого сечения:

$$\omega_{\text{нов}} = n \cdot \omega_{\text{тр}} = 2 \cdot 3,14 = 6,28 \text{ м}^2$$

Определим расход через одну трубу:

$$Q = \frac{50}{2} = 25 \text{ м}^3/\text{с}$$

Определяем скорость в одной трубе:

$$v = \frac{25}{3,14} = 7,9 \text{ м/с}$$

Определим потери напора через одну трубу:

$$h_w = (1,5 + 0,8) \cdot \frac{7,9^2}{2 \cdot 9,81} = 7,43 \text{ м}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1,5 + 0,80}} = 0,66$$

Определим расход который может пропустить одна труба.

$$Q_{\text{тр}} = 0,66 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 14} = 34,3 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{\text{тр}} = 34,3 \text{ м}^3/\text{с} > Q = 25 \text{ м}^3/\text{с} \text{ условие выполняется}$$

Так как полные потери напора в трубах меньше напора, то сечение и количество труб достаточно для пропуска расчетного расхода.  $h_w = 7,43 \text{ м} < Z = 13,00 \text{ м}$ , условие выполняется.

## 5.2 Расчёт сопряжения нижнего бьефа.

Крепление нижнего бьефа – это совокупность сооружений для обеспечения безопасного и надёжного отвода сбрасываемого потока в русло реки.

Бытовая глубина составляет:

$$h_b = \text{УВНБ}_{\text{max}} - Z_{\text{осн}} = 24 - 21 = 3,00 \text{ м};$$

При условии что  $h_b > h''$  гасители энергии не требуются.

Площадь русла:

$$\omega_{\text{русла}} = \frac{Q_{\text{сб}}}{V_{\text{доп}}}, \text{ м}^2 \quad (5.2.1)$$

где  $Q_{\text{сб}}$  – расход через водосбросное сооружение,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$V_{\text{доп}}$  – допустимая скорость на выходе, равная  $0,7 \text{ м/с}$ .

$$\omega_{\text{русла}} = \frac{50}{0,7} = 71,4 \text{ м}^2$$

Определяем первую сопряженную глубину:

Коэффициент сжатия  $\epsilon_{\text{сж}}$  зависит от диаметра трубы и глубины воды в нижнем бьефе принимаем равным  $0,69$ .

$$h' = h_{\text{сж}} = \epsilon_{\text{сж}} \cdot d, \text{ м} \quad (5.2.2)$$

где  $h_{\text{сж}}$  – сжатая глубина, м;

$\epsilon_{\text{сж}}$  – коэффициент сжатия;

$d$  – диаметр трубы, м.

$$h' = 0,69 \cdot 2,0 = 1,38 \text{ м}$$

Определяем критическую глубину:

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot B^2}}, \text{ м} \quad (5.2.3)$$

где  $\alpha$  – скоростной коэффициент, равный 1,1;

$Q$  – расход через водосбросное сооружение, м<sup>3</sup>/с;

$B$  – ширина выходного оголовка, принимаем равной 6,8 м.

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 50^2}{9,81 \cdot 7,3^2}} = 1,74 \text{ м}$$

Определяем вторую сопряжённую глубину  $h''$ :

$$h'' = \frac{h_{сж}}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot \frac{h_{кр}^3}{h_{сж}^3}} - 1 \right), \text{ м} \quad (5.2.4)$$

где  $h_{сж}$  – сжатая глубина, м;

$h_{кр}$  – критическая глубина, м.

$$h'' = \frac{1,38}{2} \cdot \left( \sqrt{1 + 8 \cdot \frac{1,74^3}{1,38^3}} - 1 \right) = 2,76 \text{ м}$$

Так как  $h_6 = 3,0 \text{ м} > h'' = 2,76 \text{ м}$ , то прыжок затоплен, гасителей не требуется.

Определим длину гидравлического прыжка

$$l_{пр} = 2,5 \cdot (1,9 \cdot h'' - h'), \text{ м} \quad (5.2.5)$$

где  $h''$  – вторая сопряженная глубина, м;

$h'$  – первая сопряженная глубина, м.

$$l_{пр} = 2,5 \cdot (1,9 \cdot 2,76 - 1,38) = 9,67 \text{ м}$$

Длину водобоя принимаем равной длине гидравлического прыжка.

Определяем удельный расход:

$$q = \frac{Q}{b} = \frac{50}{7,3} = 6,85 \text{ м}^3/\text{с на пог. м}$$

Определяем общую длину рисбермы

$$L_{рисб} = 8 \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot q^2}{g}}, \text{ м} \quad (5.2.6)$$

$$L_{рисб} = 8 \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 6,85^2}{9,81}} = 13,91 \text{ м}$$

Участок крепления будет составлять:

$$L_{кр} = L_{рисб} + L_{водоб} = 13,91 + 9,67 = 23,58 \text{ м.}$$

Скорости воды в отводящем канале должны быть меньше не размывающих. Допустимая скорость 0,7 м/с. Проверяем параметры канала.

Принимаем ширину по дну равную 12,9 м, заложение откосов 1:1, глубина в отводящем канале 3,0 м, тогда площадь сечения канала будет равна:

$$\omega = (b + mh) \cdot h = (12,9 + 1 \cdot 3,0) \cdot 3,0 = 47,7 \text{ м}^2$$

Тогда скорость течения в отводящем канале будет равна:

$$V = Q/\omega = 50/47,7 = 1,04 \text{ м/с} > V = 0,70 \text{ м/с}$$

Так как скорость превышает допустимую, требуется крепление дна и откосов канала бетонными плитами.

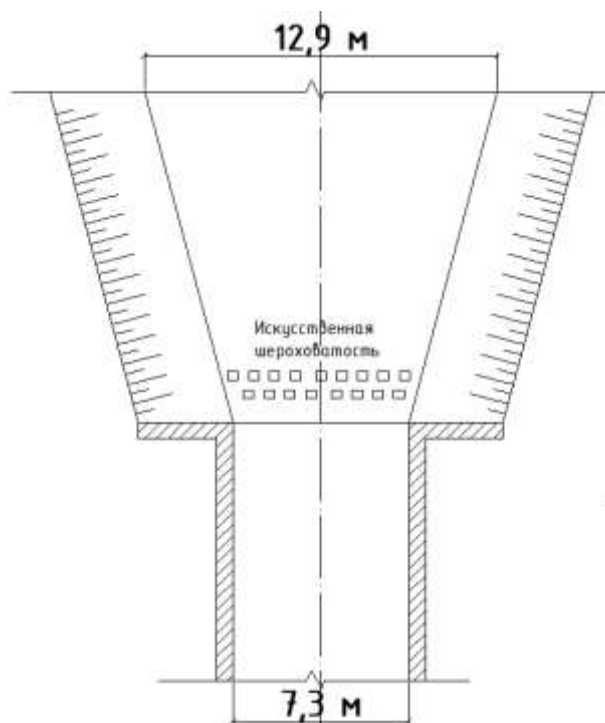


Рисунок 5.2.1 – План-схема сопряжения конечного лотка с отводящим каналом

## Список литературы

1. Лапшенков В.С. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям. – М: Агроиздат. 1989г. – 447 стр.
2. СНиП33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. – М.: 2004 – 25 стр.
3. СНиП 2.06.05-84\*. Плотины из грунтовых материалов. – М.: 1991 – 71 стр.
4. Справочник по гидравлическим расчетам /Под ред. П.Г. Киселева.– М.: Энергия, 1972. – 313 стр.
5. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Нормы проектирования – М.: - 1995. – 46 стр.