

БУДІВНИЦТВО, РЕКОНСТРУКЦІЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ  
КОНСТРУКЦІЙ І СПОРУД ЗАЛІЗНИЧНОГО  
ТРАНСПОРТУ

УДК 627.824.04

*Оглоблин В.Ф., к.т.н., доцент (ДонИЖТ)  
Бадекин Ю.Н. (Донецкий филиал УкрНИИИТИЗ)*

**РЕКОНСТРУКЦИЯ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН**

*Постановка проблемы.* Современное проектирование грунтовых плотин сопряжено с углубленным анализом статической и динамической их работы. Создание математических моделей грунтовых плотин, использующих теорию пластичности, не учитывают влияние на деформируемость тела плотины продолжительности действия и скорости приложения нагрузки. На работу грунтовой плотины оказывает влияние фильтрационный поток, имеющий в начальный период эксплуатации ее неустановившийся характер. Расчет движения фильтрационного потока в теле плотины осложняется в силу некоторой неопределенности граничных условий и фильтрационной анизотропности свойств грунтов (1).

Грунтовые плотины являются довольно широко распространенным типом водоподпорных сооружений в различных климатических зонах. Их возведение приводит к образованию огромных водохранилищ, аварии которых могут иметь катастрофические последствия. Различия климатических, геологических, топографических, гидрогеологических, сейсмических условий определяют особенности конструкций этих сооружений.

При реконструкции существующих грунтовых плотин (увеличение зеркала водохранилища, подъем и уширение гребня плотины, устройства экрана и т.д.) весьма актуальным вопросом является оценка технического состояния. Эта оценка сопровождается изучением геологического строения основания, тела плотины и примыканий плеч плотины. При этом следует учитывать, что многие из них возводились без надлежащей

проектной документации. Практика эксплуатации таких сооружений указывает на то, что они ненадежны и недолговечны.

Целью настоящей работы явилась оценка технического состояния существующей грунтовой плотины, анализ напряженно-деформируемого состояния ее, что позволило бы определить необходимый комплекс защитных мероприятий для обеспечения ее эксплуатационной пригодности.

***Характеристика объекта и методика исследований.***

Поставленная цель реализовывалась по существующей грунтовой плотине в с. Мемрик Красноармейского района Донецкой области. Общее состояние этого гидротехнического сооружения требовало принятия ряда защитных мероприятий по усилению тела грунтовой плотины и повышению ее устойчивости.

Плотина возведена в 85-90 гг. По принятой в гидротехнике классификации рассматриваемая плотина грунтовая, насыпная, однородная, без ядра, экранов и диафрагм. По высоте гребня она относится к низким ( $H < 25$  м). Сведений о конструктивных особенностях плотины, методах ее возведения, составе грунтов в теле плотины, основании и примыкании плеч, способах уплотнения грунтов в теле плотины не имеется.

Приведенные обстоятельства существенным образом влияли на выбор методики исследований и анализ факторов, влияющих на работоспособность сооружения, выбор различных критериев оценки.

Для расчета устойчивости откосов требуется построение гидродинамической сетки движения фильтрационного потока и депрессионной поверхности; определение параметров фильтрационного потока; определение фильтрационных расходов через тело плотины. Этому этапу предшествует целый комплекс топогеодезических, инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрологических и обмерочных работ.

***Основное содержание исследований.*** Для образования тела плотины протяженностью около 100м был использован местный материал вблизи створа. Грунты тела плотины представлены желто-бурыми лесовидными супесями и легкими суглинками мощностью 12-14 м, подстилаемые на указанной глубине, по всей вероятности, отложениями каменноугольной системы. Промеры глубин водохранилища указывают на то, что максимальные глубины его приурочены к центральной части и не превышают 5-5,5 м. Ширина по гребню плотины составляет 6-10 м. Высота плотины со стороны нижнего бьефа составляет 12 м. Общий вид плотины приведен на рисунке 1.

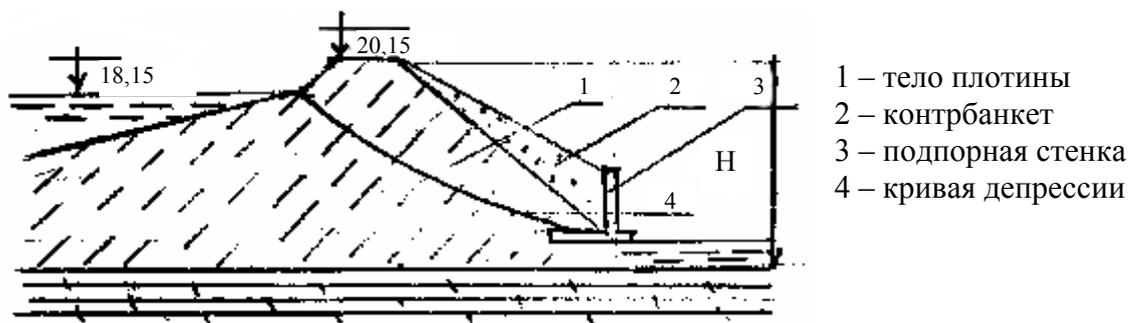


Рисунок 1 - Общий вид плотины

В процессе проведения исследований и обмерочных работ было установлено, что как со стороны верхнего бьефа, так и со стороны нижнего бьефа имеют место фильтрационные деформации тела плотины в виде так называемого фильтрационного выпора (выноса) со стороны нижнего бьефа и фильтрационного размыва вследствие волновой деятельности со стороны верхнего бьефа. По результатам проведенных наблюдений величина фильтрационного размыва (интенсивность) составляет 0,3-0,6 м в год, что требует немедленного закрепления верхнего откоса. Заложение нижнего откоса плотины составляет 1-1,5. Опыт же строительства и проектирования земляных насыпных плотин из песчаных и глинистых грунтов указывает на то, что заложение нижнего откоса следует принимать более пологим для плотин указанной высоты.

Для оценки фильтрационного режима в грунтовых плотинах используются как расчетные, так и экспериментальные методы. Расчетные методы разделяются на гидравлические и механические. Гидравлический метод расчета основан на использовании ряда приемов, упрощающих задачу. Эти приемы основываются на следующих положениях (2).

1. Фильтрационный поток предполагается плавноизменяющимся, криволинейные очертания эквипотенциалов в низовой призме однородной плотины могут быть заменены вертикальными линиями. Для фильтрационного потока в двух вертикальных сечениях применяется известная в гидравлике формула Дюпюи. Для простейшего прямоугольного сечения (рисунок 2а) кривая депрессии является кривой спада, а расход определяется формулой

$$q = K_{\phi} \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L}, \quad (1)$$

а глубина фильтрационного потока находится из выражения

$$H_y = \sqrt{H_2^2 + (H_1^2 - H_2^2)x / L}, \quad (2)$$

где  $L$  – расстояние между рассматриваемыми сечениями.

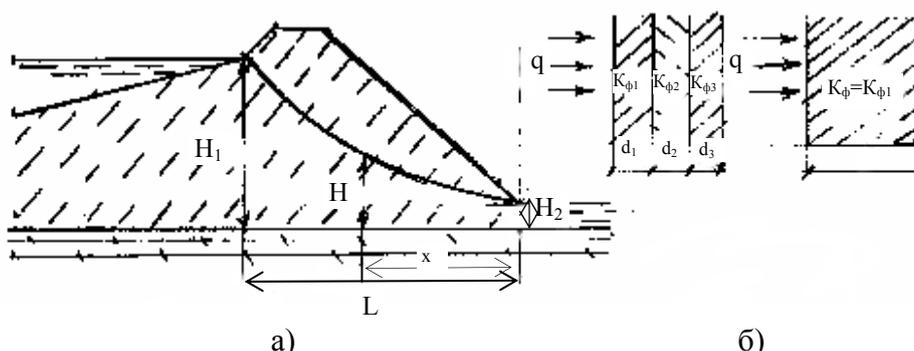


Рисунок 2 - Схема фильтрации

2. При фильтрации потока через слои разной проницаемости можно ввести некоторые виртуальные области фильтрации. При этом ряд вертикальных слоев различной мощности можно заменить одним слоем толщиной  $d$  (рис. 2б). Это условие принимается и для ряда горизонтальных слоев.

3. Верховой клин плотины может быть заменен эквивалентным прямоугольным массивом (рис. 3). В случае, если плотина и основание имеют одинаковый коэффициент фильтрации, ширина эквивалентного массива  $b_{эк}$  с достаточной степенью точности может быть принята равной  $0,4 H_1$ . При крутом верховом откосе ( $m_1 < 2$ )

$$b_{эк} = \frac{m_1}{1 + 2m_1} H_1, \quad (3)$$

где  $m_1$  – заложение верхового откоса.

4. Промежуток высачивания  $\Delta$  в области низового клина (при  $k_\phi$  плотины =  $k_\phi$  основания) приближенно рассчитывается по формуле:

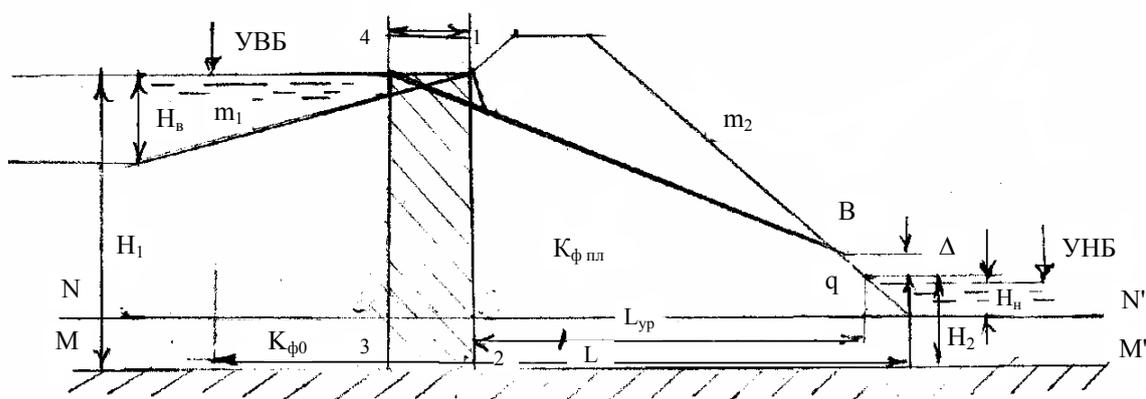
$$\Delta = 12 \left[ A + \sqrt{A^2 + 0,4gH_2} \right], \quad (4)$$

где

$$A = 0,5 \left[ qm_2 - \left( 1 + \frac{0,4}{m_2} \right) h_2 \right]. \quad (5)$$

$$q = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(L_{yp} + 0,4H_1)}, \quad (6)$$

где  $q$  – удельный расход;  $m_2$  – заложение низового откоса.



**Рисунок 3 - Схема фильтрации в однородной плотине при замене верхового клина эквивалентным прямоугольным клином**

Поперечный профиль плотины определяется заложением верхового и низового откоса, наличием берма, отметкой и шириной гребня плотины. Отметка гребня плотины определяется от нормального и форсированного уровня воды в водохранилище, а также исходя из расчетных значений элементов ветровых волн и конструктивных особенностей гребня плотины. Превышение отметки гребня плотины над статическим уровнем в водохранилище определяется выражением

$$d = \Delta h + h_H + a, \quad (7)$$

где  $\Delta h$  – высота ветрового нагона волны;

$h_H$  – высота наката волны на откос;

$a$  – запас принимаемый не менее 0,5 м

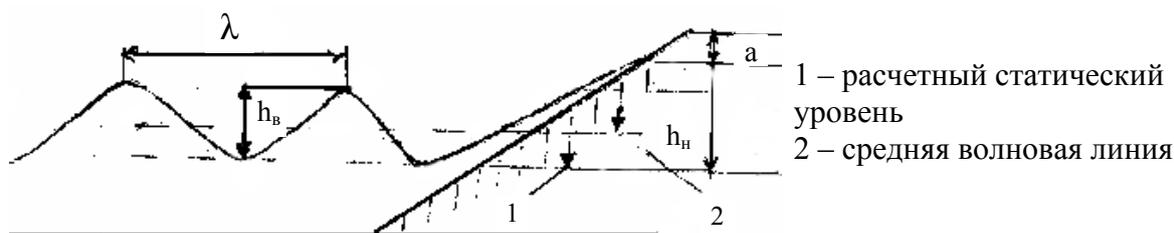


Рисунок 4 - Схема к определению отметки гребня плотины

Проектом реконструкции плотины предусмотрено крепление откосов плотины для защиты их от волнового воздействия. Крепление откосов устраивается в зоне колебания воды. Верхняя граница основного крепления из бетонных или железобетонных плит должна соответствовать отметке наката. Нижняя граница основного крепления должна располагаться ниже отметки УМО на расстоянии двух-трех размеров высоты волны.

В качестве материала наброски предусмотрен природный камень значительной прочности ( $\delta_{сжс} > 50$  МПа,  $F > 50$ ,  $\gamma = 24$  кН/м<sup>3</sup>). Расчетный вес камня, устойчивого против разрушающего действия, рассчитывался из выражения

$$G = \frac{M \gamma_k h_в^2 \lambda}{(\gamma_k / \gamma_o - 1) \sqrt[3]{1 + m^3}}, \quad (8)$$

где  $M$  – коэффициент принимаемый для бетона равным 0,021, для каменной наброски – 0,025;

$\gamma_k$  – удельный вес камня;

$m$  – заложение откоса;

$h_в$  и  $\lambda$  – расчетные значения высоты и длины волны.

Приняв  $L = 30$  м,  $x = 10$  м и  $K_\phi = 0,4$  м/сут из выражения (1) находим единичный расход

$$q = 0,4 \frac{13,5^2 - 2,5^2}{2 \cdot 30} \approx 1 \text{ м}^3 / \text{сут}.$$

Из выражения (2) глубина фильтрационного потока составит

$$H_y = \sqrt{2,5^2 + (182,25 - 6,25)10 / 30} \approx 8 \text{ м.}$$

Ширину эквивалентного массива  $e_{\text{эк}}$  находим из выражения (3), приняв  $m_1 = 2,5$ :

$$e_{\text{эк}} = \frac{2,5}{1 + 2 \cdot 2,5} 13 \approx 5,5 \text{ м.}$$

Промежуток высачивания  $\Delta$  в области низового клина ( $K_{\text{ф нл}} = K_{\text{ф о}}$ ) находим из выражений (4-6)

$$\Delta = 12[1,25^2 + \sqrt{1,25^2 + 0,4 \cdot 3,8 \cdot 2,5}] \approx 4,2 \text{ м,}$$

где 
$$A = 0,5 \left[ 3,8 \cdot 1,5 - \left( 1 + \frac{0,4}{1,5} \right) \cdot 2,5 \right] = 1,25,$$

$$q = \frac{82,25 - 6,25}{2(17,5 + 0,4 \cdot 13,5)} = 3,8 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Превышение отметки гребня плотины над расчетным статическим уровнем воды из выражения (7) составит

$$d = 0,25 + 1,5 + 0,5 = 2,25 \text{ м.}$$

Таким образом, существующая отметка гребня плотины ниже расчетной на 0,25 м.

Расчетный вес камня, устойчивого против разрушающего действия из выражения (8) составит

$$G = \frac{0,021 \cdot 24 \cdot 0,5^2 \cdot 1,5}{(24/19 - 1)^3 \sqrt{1 + 2,5}} = 0,5 \text{ кг.}$$

Расчетом устойчивости плотины, произведенным ранее, было установлено, что коэффициент устойчивости составил 0,9-1. Для увеличения устойчивости плотины был разработан проект подпорной стенки уголкового типа с анкерными тягами. Засыпка грунтом пазух подпорной стенки, выполняющей роль контрбанкета, позволила увеличить заложение откоса со стороны нижнего бьефа. В качестве защитных

мероприятий было предложено устройство в центральной части плотины противодиффузионной грунтоцементной диафрагмы длиной 40 м переменной глубины.

Со стороны верхнего бьефа при производстве геодезических работ были произведены промеры дна по поперечным створам плотины, которые позволили построить гипсометрические кривые и определить объем необходимых материалов для восстановления первоначального откоса.

**Выводы.** Выполненные исследования и аналитические расчеты позволили дать более обоснованную оценку технического состояния грунтовой плотины, на основе которой были разработаны и частично реализованы защитные мероприятия по повышению устойчивости тела плотины.

### *Список литературы*

1. Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. – М., Энергоатомиздат, 1987. – С. 303.
2. СНиП 2.06.05-84 Плотины из грунтовых материалов. – М., Стройиздат, 1984. – С. 31.