

## РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ НИЗКОНАПОРНЫХ ПЛОТИН

Э.Ж. Махмудов, Д.Т. Палуанов

(Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, г. Ташкент, Республика Узбекистан)

*Keywords:* hydraulics, hydraulic engineering, water, ground, base, percolation, deformation, soil uplift, quicksand, construction, low-head dam, reservoir.

*Summary:* In this article is considered the safety of concrete hydraulic engineering constructions, as a criterion of safety is accepted a soil movement mix formed in its basis body. The beginning of soil movement of mix in basis body occurs under the influence of concrete construction weight, a force of hydrodynamic pressure, a force of friction and other jet forces. The soil movement of mix causes an uplift ground from the basis and destruction of its construction.

Нормативные и другие исследовательские материалы не содержат достаточного обоснования, позволяющего проектировщикам создавать безопасные условия работы низконапорных плотин. Анализ некоторых аварий плотин показал, что в последнее время участились случаи их разрушения из-за отсутствия научно обоснованных рекомендаций по установлению критериев безопасности их оснований, в частности для плотин, основания которых сложены из аллювиальных отложений. Наличие в составе отложения плавбуна создает большой риск для безопасности плотин. Меры по укреплению фундамента сваями, шпунтами или удаления объема плавбунов из основания приводят к резкому удорожанию сооружений, особенно низконапорной плотины. Для обеспечения безопасности плотин от возможного разрушения, когда в основании есть плавбуны, возникает необходимость установления допустимых нагрузок, создаваемых собственным весом сооружения и гидродинамическим фильтрационным давлением воды, на исследование вопросов равновесия и движения плавбуна направлена настоящая работа.

*Постановка задачи.* Предполагается, что в слое грунта  $G_1$  проницаемость  $k$ . Поэтому этот слой быстро промокает. Под действием силы тяжести плотины и гидродинамического давления фильтрационного потока воды происходит перемещение грунтовой массы в горизонтальном направлении на слое  $G_1$  (рис. 1).

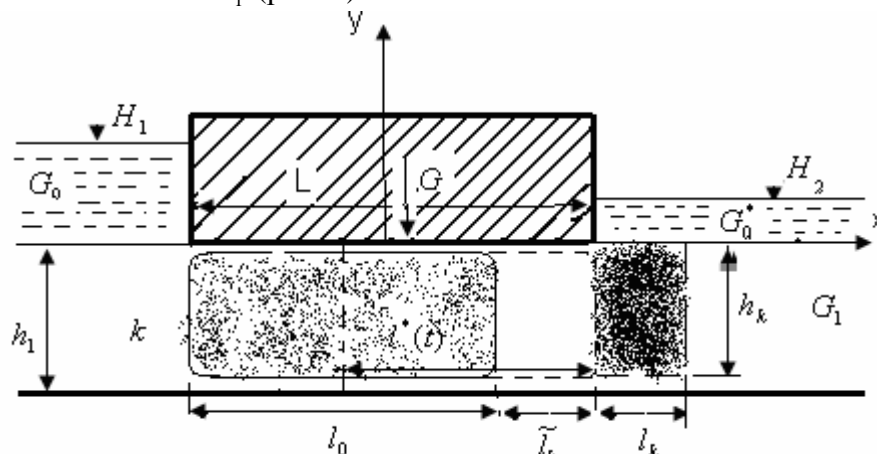


Рис. 1. Расчетная схема движущегося слоя

Предполагается, что водонасыщенный грунт в области  $G_1$  является упругой средой и, пользуясь решениями задачи о штампе (плотины), решение которой приведено в [1], определяют: напряженное состояние грунтовой массы, компоненты тензора напряжения и тензора деформации, а также перемещения каждой частицы грунтовой массы. Расчеты показывают, что нормальное напряжение  $P_{yy} \gg \{P_{xx}, P_{xy}\}$  намного больше, чем напряжение по оси  $x$  и касательное напряжение в плоскости  $x, y$ .

Рассмотрим простейшую модель сжатия и перенос слоя водонасыщенного грунта под плотиной. В задаче о штампе определены перемещения частиц грунтовой массы, когда она неподвижна. Проведенные числовые расчеты показывают, что изменение объемадвигающегося грунтового слоя практически не деформируется ( $\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{12} < 10^{-5}$ ) [2]. В связи с этим будем рассматривать движение несжимаемой водонасыщенной грунтовой массы в области  $G_1$ , с длиной слоя  $l(t)$  [3].

Составим уравнение движения для центра массы водонасыщенного слоя грунта толщиной  $h_1$ , шириной  $b$  и длиной  $l(t) = l_0 + l^*(t)$ . Тогда уравнением движения грунтовой массы будет

$$\frac{1}{2} \rho_r l(t) b h \frac{d^2 l(t)}{dt^2} = b h \rho_e (H_1 - H_2) g - f_{mp} P_{yy} b L - (L - l(t)) \rho_r b h g - \rho_r l_k h_k g b - \tau_{xy} b l \quad (1)$$

где:  $\rho_e, \rho_r$  – плотности воды и грунта.

Полностью водонасыщенная грунтовая масса не сжимается, и в левой части уравнения (1) можно положить  $l(t) \approx l_0$ . Тогда уравнение примет вид:

$$\frac{l(t)}{2} \frac{d^2 l(t)}{dt^2} = g \left[ l(t) + \frac{\rho_e}{\rho_r} (H_1 - H_2) + f_{mp} \frac{P_{yy}}{\rho_r g} \frac{L}{h} - \left( L - l_k h_k \frac{\rho_e}{\rho_r} \right) - \frac{\tau_{xy} L}{\rho_r g} \right] \quad (2)$$

Введем безразмерные величины в виде:  $\tau, \xi(t), l(t) = l_0 \xi(t), t = \sqrt{\frac{l_0}{g}} \tau, l_0 = h l_0^{\xi},$

$l_k = l_0 \xi_k, h_k = l_0 \xi_k, H_1 = l_0 \xi_1, H_2 = l_0 \xi_2.$

Тогда уравнение (2) примет следующий вид:

$$\frac{d^2 \xi(t)}{d\tau^2} = \frac{\rho_e}{\rho_r} \xi_1 + f_{mp} \frac{P_{yy}}{\rho_r g l_0} \frac{L}{b} + \xi(\tau) - \left( L + \xi_2 \frac{\rho_e}{\rho_r} + \xi_k \frac{\xi_k}{\xi} \right) + \xi(\tau) \quad (3)$$

Уравнение (3) разделяется на две части, т.е. движущихся силы (гидродинамическое давление  $D_1$ ) и сопротивляющихся силы  $D_2$  на  $D_1$ .

$$D_1 = \frac{\rho_e}{\rho_r l_0} \xi_1 + \frac{f_{mp} P_{yy} L}{\rho_r g l_0^2}; \quad D_2 = \frac{L}{l_0} + \xi_k \cdot \xi_k \frac{\rho_e}{\rho_r} \frac{1}{\xi} \quad (4)$$

Тогда уравнение (3) имеет следующий вид:

$$\frac{d^2 \xi(t)}{d\tau^2} = a_0 \xi(t) + (D_1 - D_2). \quad (5)$$

Для решения уравнения (5) используем уравнение для скорости движения центра массы в виде:

$$\frac{d^2 \xi(t)}{d\tau^2} = \frac{d}{dt} \left( \frac{d\xi}{d\tau} \right) = \frac{d\xi(\tau)}{d\tau} = \frac{d\xi}{d\xi d\tau} = \xi \frac{d\xi}{d\xi} = \frac{1}{2} \frac{d(\xi^2)}{d\xi} \quad (6)$$

Проведем преобразование уравнения, введя новую функцию  $\xi$ , тогда имеем равенство

$$\xi(\tau) = \frac{d\xi(\tau)}{d\tau}.$$

Тогда уравнение (6) примет вид:

$$\frac{d^2 \xi(\tau)}{d\tau^2} = \frac{1}{2} \frac{d(\xi(\tau)^2)}{d\xi(\tau)}.$$

Уравнение (5) примет вид:

$$\frac{1}{2} \frac{d\xi}{d\xi} = 2a_0 \xi + 2(D_1 - D_2)$$

разделяя по переменным, получим уравнение в виде:

$$d(i)^2 = [2a_0 l(\tau) + 2(D_1 - D_2)] dl(\tau)$$

$$(i)^2 = 2a_0 l^2(\tau) + 4(D_1 - D_2)l(\tau) - 4(D_1 - D_2)a_0 l_0 - 2a_0 l_0^2$$

Полученное уравнение можно написать в виде:

$$l(\tau) = \pm \sqrt{a_0} \sqrt{l^2(\tau) + 2(D_1^* - D_2^*)l(\tau) - l_0^2 - 2(D_1^* - D_2^*)l_0} \quad (7)$$

Здесь введены безразмерные, переменные и параметры в виде:

$$D_1^* = \frac{D_1}{a_0}, \quad D_2^* = \frac{D_2}{a_0}$$

Уравнение (7) можно написать в виде:

$$l(\tau) = \frac{dl(\tau)}{d\tau} = \pm \sqrt{(l(\tau) - l_0)[l(\tau) + l_0 + 2(D_1^* - D_2^*)]} =$$

$$= \pm \sqrt{(l(\tau) + (D_1^* - D_2^*))} \sqrt{2a_0 - l_0(D_1^* - D_2^*)^2}$$

Введем переменную

$$\eta(\tau) = l(\tau) + (D_1^* - D_2^*)$$

$$\text{Тогда } \eta(0) = l_0 + (D_1^* - D_2^*).$$

Уравнение (9) примет вид:

$$dl(\tau) = \pm \sqrt{\eta^2(\tau) - \eta_0^2} d\tau \sqrt{2a_0}. \quad (10)$$

Для интегрирования полученных уравнений проведем разделение переменных.

$$d\tau = \pm \sqrt{2} \sqrt{a_0} \frac{d\eta(\tau)}{\sqrt{\eta^2(\tau) - \eta_0^2}} \quad (11)$$

Так как из уравнения (3) получены критерии безопасности основания низконапорных плотин, то:

$$a_0 = \left( 1 - \frac{\tau_{xy} L}{\rho_{\Gamma} g h l_0} \right) \quad (12)$$

Достижение поставленных целей с использованием уравнения (12) позволило установить следующие обстоятельства:

1. Если  $a_0 > 0$ , то  $\rho_{\Gamma} g h l_0 > \tau_{xy}$ , тогда  $\eta^2(\tau) > \eta_0^2$  и  $l(\tau) > l_0$ . В этом случае наблюдается поступательное движение водонасыщенной грунтовой массы в сторону нижнего бьефа сооружения, что в последующем приведет к выпору грунта основания плотины.

2. Если  $a_0 < 0$ , то  $\rho_{\Gamma} g h l_0 < \tau_{xy}$ , тогда  $\eta^2(\tau) < \eta_0^2$  и  $l(\tau) < l_0$ ,  $\eta_0^2 - \eta^2(\tau) > 0$ . В данном случае давление штампа и гидродинамическое давление воды приведет к колебательному состоянию водонасыщенной грунтовой массы основания плотины.

3. Если  $a_0 = 0$ , то  $\rho_{\Gamma} g h l_0 = \tau_{xy}$ , тогда  $\eta^2(\tau) = \eta_0^2$  и  $l(\tau) = l_0$ . В этом случае наблюдается устойчивое состояние грунтовой массы основания плотины.

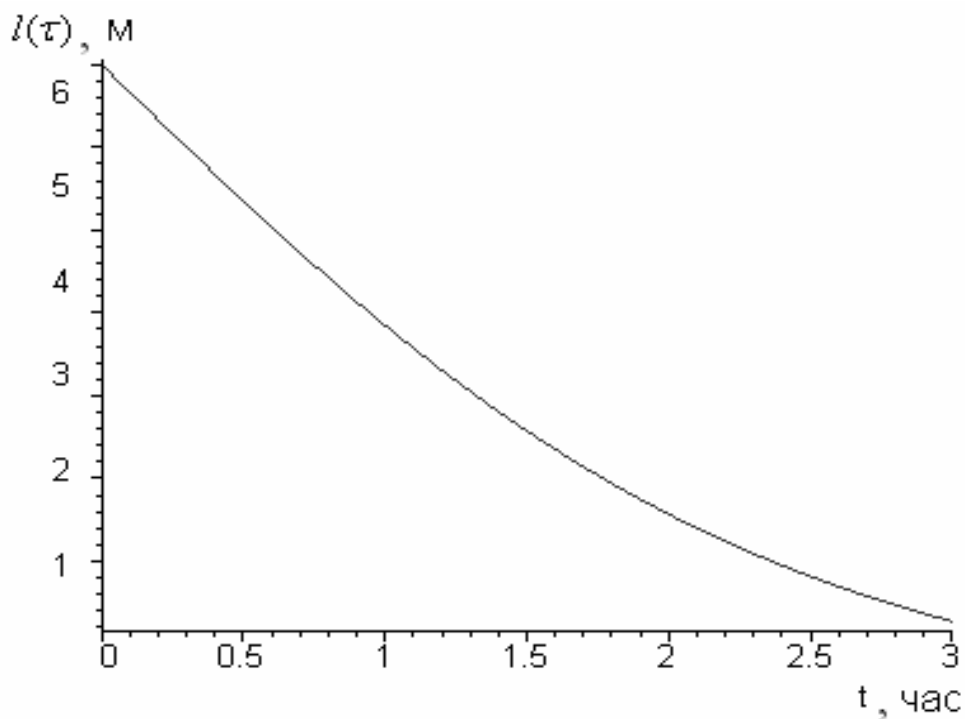
Для решения первого обстоятельства имеем следующие условия:

При  $D_1 > D_2$ , т.е.  $l(\tau) > l_0$ , имеем решения в виде

$$l(\tau) = l_0 - (D_2^* - D_1^*) t h(\tau \sqrt{a_0}). \quad (13)$$

Результат представлен на рис. 2.

**Вывод.** На основе проведенных теоретических исследований получены зависимости, на основе которых можно произвести качественную оценку движения пльвуна в основании плотины.



**Рис. 2.** Изменение грунтовой массы в течение времени

**Литература**

1. *Седов Л.И.* Механика сплошной среды: в 2 т. М.: Наука, 1976. 574 с.
2. *Махмудов Э.Ж., Палуанов Д.Т.* Задача о несущей способности оснований низконапорной плотины // Проблемы механики. 2010. № 1. С. 27–31.
3. *Палуанов Д.Т.* Задача о фильтрационной деформаций основания гидротехнических сооружений // Материалы Респ. науч.-практ. конф., посв. Году молодежи. Ташкент, 2008. С. 206–210.