

MODELING OF UPWELLING AND COLLAPSE IN THE SEEPAGE FLOW OUTLET ZONE ON THE SLOPE OF THE CHIMKURGAN RESERVOIR

Eshkuvatov Kuvonchbek Shavkatovich

(PhD) Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers -
National Research University

Abstract

This article examines water seepage processes in the dam body and on the slope of the Chimkurgan Reservoir, as well as modeling upwelling and potential soil collapse in the seepage outlet zone. Based on theoretical principles of hydrodynamics and soil mechanics, an analysis of the conditions for the formation of seepage pressure and critical hydraulic slope is provided.

Using mathematical modeling and geoinformation technologies, seepage flow distribution patterns are investigated, and potentially hazardous zones of upwelling and reduced slope stability are identified. The stability coefficient is estimated taking into account the influence of pore pressure and hydraulic loads.

The obtained results allow us to predict the development of seepage deformations and justify engineering measures to improve the reliability of the hydraulic structure. The practical significance of this work lies in the potential use of the proposed method for monitoring and preventing emergency situations at reservoirs.

Key words: seepage flow, soil uplift, slope stability, hydraulic structures, hydraulic slope, pore pressure, seepage coefficient.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫПОРА И ОБРУШЕНИЯ В ЗОНЕ ВЫХОДА
ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА НА ОТКОСЕ ЧИМКУРГАНСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

Эшкуватов Қувончбек Шавкатович

(PhD) Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства - Национальный исследовательский университет

Аннотация.

В статье рассматриваются процессы фильтрации воды в теле плотины и на откосе Чимкурганского водохранилища, а также моделирование выпора и возможного обрушения грунта в зоне выхода фильтрационного потока. На основе теоретических положений гидродинамики и механики грунтов выполнен анализ условий формирования фильтрационного напора и критического гидравлического уклона.

С применением методов математического моделирования и геоинформационных технологий исследованы закономерности распределения фильтрационного потока, определены потенциально опасные зоны выпора и снижения устойчивости откоса. Выполнена оценка коэффициента устойчивости с учетом влияния порового давления и гидравлических нагрузок.

Полученные результаты позволяют прогнозировать развитие фильтрационных деформаций и обосновать инженерные мероприятия по повышению надежности гидротехнического сооружения. Практическая значимость работы заключается в возможности использования предложенной методики для мониторинга и предотвращения аварийных ситуаций на водохранилищах.

Ключевые слова. фильтрационный поток, выпор грунта, устойчивость откоса, гидротехнические сооружения, гидравлический уклон, поровое давление, коэффициент фильтрации.

Введение. При оценке напряжений вдоль выбранной береговой поверхности Чимкурганского водохранилища обычно приходится делать различные предположения о характере деформирования в пределах участка массива, ограниченного этой поверхностью. Чаще всего такой участок рассматривается несвязное грунтовое тело, что такое тело может смещаться вдоль криволинейных поверхностей.

Рассчитанные таким образом напряжения вдоль поверхности деформирования суммируются в соответствии с дополнительными допущениями - геометрически или (чаще) алгебраически. При этом обычно три основных условия гидравлической статики удается соблюсти лишь с какой-то долей приближения. Полезно также заметить, что понятие степени устойчивости на выпора и обрушения является в данном случае весьма условным, так как входящие в него силы оцениваются, исходя из предельного соотношения.

Постановка вопроса. Вследствие относительно высоких градиентов ветровых волн и фильтрации на участке высачивания гидродинамические силы вызывают здесь деформации, при которых приходит в движение весь объем грунта вблизи поверхности откоса; обычно эти деформации носят характер местного обрушения (оползания), а на отдельных участках затопленного откоса наблюдается также выпор (Рис.1.)



Картинки-1. Водохранилище Чимкурган

Рассмотрим, например, равновесие элементарного объема несвязного грунта на поверхности затопленного откоса. Составим уравнение для действующих сил: силы веса, силы трения и гидродинамического давления. Учитывая, что гидродинамическое давление в этом случае направлено перпендикулярно откосу, получим:

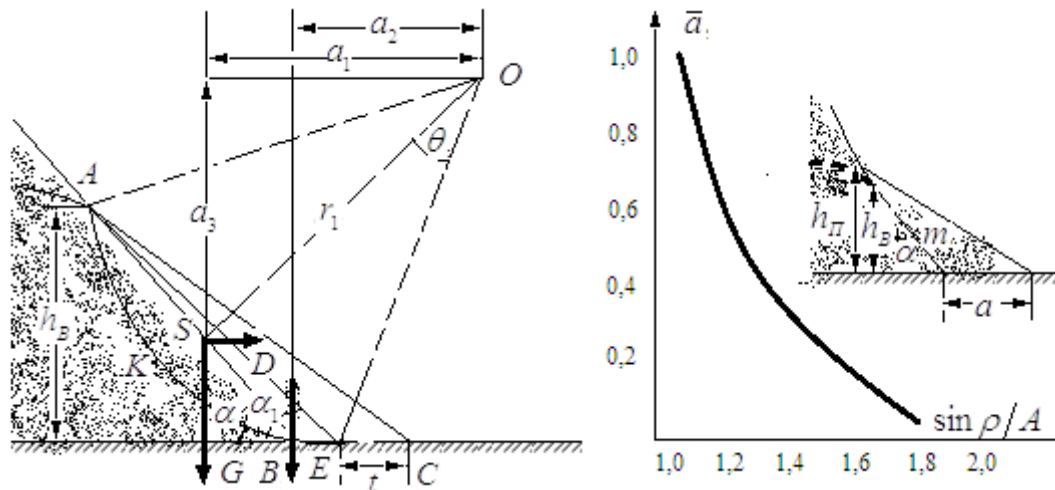
$$(\gamma_B \cos \alpha - \mathcal{H}) \rho = \gamma_B \sin \alpha, \quad (1)$$

Где ρ - угол трения; α - предельный угол откоса, устойчивого на выпор: I - выходной градиент, определяемый согласно [1,3].

Из расчетов следует, что обычно градиенты I оказываются существенными в небольшой зоне подтопленного откоса, прилегающей к линии уреза воды (мощностью порядка высоты промежутка высачивания). Наблюдения показывают, что в этой зоне имеет место локальный выпор грунта, в результате которого откос уменьшается на небольшом участке.

В пределах промежутка высачивания - на незатопленной части откоса - возможность обрушения следует учитывать при расчете толщины дренажной

призмы', предохраняющей фильтрующую часть откоса от деформаций. Исходя из условия предельного равновесия, можно получить [4,5,6] расчетный график для определения необходимой толщины дренажной призмы.



Картинки-2. Схема к расчету пригруженного откоса

Схеме для определения параметров пригрузочной призмы: q_0 - удельный расход потока; k и $k_{пр}$ - коэффициенты фильтрации грунта и материала пригрузки;

$$A = \sin \alpha \left(1 - \frac{k}{k_{пр}} \cos \alpha \right); h_B = (m + 0,5) \frac{q_0}{k}; a = \frac{h_B}{A} \left(\frac{\bar{a}}{2\gamma_{пр} A} + \frac{k}{k_{пр}} \right); h_{II} = 1,1 \leftrightarrow 1,2 h_B$$

Рассмотрим, например, задачу об устойчивости откоса, пригруженного треугольной дренажной призмой (рис.9.). Опыты показывают [2, 4,5], что поверхность скольжения в таком откосе начинаются в верхней части промежутка высачивания и проходит через нижнюю точку обводненного откоса. Без существенных погрешностей можно считать, что уровень воды в пределах пригрузки меняется по прямой линии EA .

Рассмотрим равновесие следующих сил, действующих в пределах блока *СЕКАС*, ограниченного гипотетической кругло цилиндрической поверхностью скольжения

сила веса обводненного сегмента *ЕКАЕ*:

$$G = \gamma_B F_c$$

где F_c - площадь сегмента:

противном случае обрушение «перекрывается» процессами оплывания.

$$F_c = r^2 \left(\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right);$$

сила веса необводненной части пригрузки:

$$G_{\text{пр}} = \gamma_{\text{пр}} \frac{1}{2} h_B t$$

сила гидродинамического давления:

$$D = \gamma F_c \text{tg} \alpha$$

Так как градиент можно принять с некоторым запасом, равным $\text{tg} \alpha$ направление этой силы принимается горизонтальным. Суммарный момент сил сопротивления сдвигу (сил трения) вдоль поверхности АЕ, отвечающий состоянию предельного равновесия, определяется формулой:

$$M = Rr \sin \rho$$

где R - равнодействующая сил. Приравнивая величину M суммарному моменту всех действующих сил, опуская некоторые величины малого порядка и полагая; $\gamma \approx \gamma_B \approx 1 \text{ тс/м}^3$, получим уравнение:

$$\frac{\sin \rho}{\sin \alpha_1} = \frac{\frac{4}{3} \sin \theta + \bar{a} \cos \theta}{\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta + \bar{a} \sin^2 \theta}$$

Где

$$\bar{a} = \frac{2\gamma_{\text{пр}}}{h_B} t \sin^2 \alpha$$

Из данного уравнения определяются те величины θ , при которых правая его часть максимальна для заданного \bar{a} ; найденные значения θ характеризуют «наиболее опасные поверхности скольжения». Построенный график (рис.9.) зависимости:

$$\bar{a} = f\left(\frac{\sin \rho}{\sin \alpha_1}\right)$$

позволяет легко определить характерный параметр пригрузки (a).

Своеобразно протекают процессы обрушения (оползания) в связных фильтрующих породах. После вскрытия таких пород горной выработкой они претерпевают интенсивное набухание в зоне, непосредственно прилегающей к поверхности откоса. Под влиянием гидродинамического давления приповерхностный слой ослабленных пород оползает, нагрузка на обнажившиеся участки вследствие оползания уменьшается, набухание этого участка соответственно усиливается и через некоторое время оползает новый объем пород. Процесс идет циклически, причем, несмотря на малость объема, участвующего в одном цикле (обычно захватывается полоса шириной от нескольких десятков сантиметров до 2 -3 м), в конечном счете в процесс вовлекаются значительные массы горных пород. Оползающие массы с течением времени могут насыщаться водой: до текучего состояния и переходить в оплывины.

Для оценки угла откоса, устойчивого по отношению к циклическим деформациям, можно проводить варианты расчеты по гипотетическим поверхностям скольжения. Для такого расчета необходимо иметь сетку движения грунтовых вод вблизи откоса. В приближенных оценках можно (с запасом) считать, что напоры

отвечают отметкам поверхности откоса, а линии тока параллельны поверхностям напластования. Кроме того, в расчетах должно учитываться набухание пород.

Описанные циклические деформации получили распространение на большей части в откосах уступов, сложенных суглинками и песчаными глинами, на берегах Чимкурганского водохранилища. Здесь бортом вскрываются песчано-глинистые отложения, исходное сопротивление сдвигу которых характеризуется в среднем следующими параметрами: $c = 0,5 \frac{\text{кГс}}{\text{см}^2}$, $\rho = 26^\circ$. Повторные испытания на образцах тех же разновидностей, отобранных из откоса нерабочего борта спустя два года после его оформления, показали, что в интервале глубин 0 - 1,5 м от поверхности откоса сцепление понижается до $0,2 \frac{\text{кГс}}{\text{см}^2}$. Оценим приближенно устойчивость слоя набухших пород

мощностью 1,5м, считая, что начальный угол откоса $\alpha = 45^\circ$, а объемный вес пород с учетом взвешивания $\gamma_B = 1,1 \frac{\text{Тс}}{\text{м}^3}$. При отсутствии гидродинамических сил коэффициент запаса согласно равен:

$$\eta'_{\text{уст}} = \frac{\gamma_B m \cos \alpha \text{tg} \rho + c}{\gamma_B m \sin \alpha} \approx 2,2$$

т. е. откос вполне устойчив. С учетом гидродинамических сил, полагая $I = \text{tg} \alpha$:

$$\eta''_{\text{уст}} = \frac{(\gamma_B m \cos \alpha - \gamma m \text{tg} \alpha \sin \alpha) \text{tg} \rho + c}{\gamma_B m \sin \alpha + \gamma m \text{tg} \alpha \cos \alpha} \approx 0,93$$

т. е. откос оказывается неустойчивым. Из этого простейшего примера хорошо видно, насколько важно учитывать гидродинамическое давление при оценке местной устойчивости откосов не только песчаных, но и глинистых пород.

Выводы:

1. Процесс обрушения в зоне выхода идет циклически, причем, несмотря на малость объема, участвующего в одном цикле (обычно захватывается полоса шириной от нескольких десятков сантиметров до 2 -3 м), в конечном счете в процесс вовлекаются значительные массы пород. Оползающие массы с течением времени могут насыщаться водой: до текучего состояния и переходить в оплывины.

2. Для оценки угла откоса, устойчивого по отношению к циклическим деформациям, можно проводить вариантыные расчеты по гипотетическим поверхностям скольжения. Для такого расчета необходимо иметь сетку движения грунтовых вод вблизи откоса. В приближенных оценках можно (с запасом) считать, что напоры отвечают отметкам поверхности откоса, а линии тока параллельны поверхностям напластования. Кроме того, в расчетах должно учитываться набухание пород.

3. Описанные циклические деформации получили распространение на большей части в откосах уступов, сложенных суглинками и песчаными глинами, на берегах Чимкурганского водохранилища.

Использованная литература

1. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики. Москва «НЕДРА» 1974. 300с.
2. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. М., Стройиздат1967, 238с.
3. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Т.2. М., Стройиздат. 1961, 543с.
4. Цытович Н.А.,ЗарецкийЮ.К. Развитие теории консолидации глинистых грунтов.-Почность и пластичность.М., «Наука»,1971. С.430-435.
5. Хайдаров Ш.Э., Х. А. Жураев , С. И. Худайкулов. Моделирование течения вязкой жидкости систем гидроприводов и гидроавтоматики. Гидротехника Гидроэнергетика № 2. 2023. 46-48.
6. Худайкулов. С.И., Хайдаров Ш.Э., Худайбердиев Н.Т. Моделирование и оценки несущей способности основания, Резаксайского водохранилища. W.W.W.IJARETM. ISSN:2349- 0012. . 2023. 36-52стр.