

болевский Ю.А. Деформации откосов и мероприятия по их предотвращению. — В сб.: Устойчивость фильтрующих откосов. Минск, 1969. 8. Флорин В.А. Основы механики грунтов. Т. 1. М., 1959. Т. П. М., 1961. 9. Флорин В.А. К вопросу о гидродинамических напряжениях в грунтовой массе. М., 1938.

УДК 624.137.2:624.131.6

Н.Н.Баранов, канд.техн. наук

## ОЦЕНКА ОБЩЕЙ УСТОЙЧИВОСТИ ФИЛЬТРУЮЩИХ ОТКОСОВ

В настоящей работе рассматривается вопрос оценки общей устойчивости фильтрующего откоса, исходя из условия взвешивания, на основе допущения плоских поверхностей скольжения, проходящих через подошву. Схема фильтрации по всей высоте справедлива при разработке выемок и котлованов ниже уровня грунтовых вод, для плотин, дамб и каналов при быстрых сработках уровней воды, при возведении упорных призм специальных гидротехнических сооружений и т.п. Под фильтрующим подразумевается такой откос, в порах которого вода передвигается под действием сил тяжести (гравитационная).

В предлагаемой схеме используется прием поворота откоса, и решение задачи устойчивости основано на построении математической модели фильтрующей откосной области. Модель строится с помощью конформного преобразования откосного поля фильтрационных сил (физической области) в полуплоскость (вспомогательная область). В каждой точке массива, ограниченного сверху горизонтальной линией, напряженное состояние точно оценивается действием веса слоя грунта, т.е.  $\sigma_1 = \gamma h$ . Архимедовы силы  $W$  как на модели, так и в физической области направлены вверх, а их действие в обоих случаях проявляется во взвешивании частиц грунта.

Примем способ учета фильтрационных сил по уравнению Н.Н. Павловского [2], которое является гармоническим. т.е. удовлетворяет уравнению Лапласа. Исследуемую откосную область сводим к простейшей канонической — полуплоскости. Свойство инвариантности, т.е. неизменности преобразований, осуществляемых аналитическими функциями комплексного переменного, и является математическим обоснованием спра-

ведливости решения. Таким образом, решение задачи устойчивости фильтрующего откоса сведено к задаче нахождения функции, конформно отображающей исследуемую физическую область (полигональный откосный профиль) с дальнейшим определением углов наклона эквипотенциалей результирующих сил.

Аналитическая функция комплексного переменного для отображения откосной области в полуплоскость имеет вид (по В.Коппенфельсу - Ф.Штальману)

$$Z(W) = \frac{H}{\pi} \left[ -\frac{1}{D} \frac{t^\lambda}{t^2 - 1} + \sum_{\nu=0}^{q-1} t^\nu \ln\left(1 - \frac{t}{t^\nu}\right) \right], \quad (1)$$

где  $Z=x+iy$  - физическая область (рис. 1,а);  $W=u + iv$  -

вспомогательная область;  $t_\nu = e^{\frac{2\nu}{q}\pi i}$  ( $\nu=0,1, 2, \dots, q-1$ );

$$t = \left(\frac{W-1}{W}\right)^{1/q}.$$

В работе [1] решение уравнения (1) для случая  $\alpha=45^\circ$  ( $D=\frac{1}{4}$ ,  $\lambda=1$ ,  $q=4$ ) представлено в табличной форме.

Уравнение Н.Н.Павловского [2] для построения потенциальной функции результирующих сил  $\Phi$  в области  $W$  записывается в виде

$$\Phi = -\gamma_B H(u, v) + \gamma_{взв} y + A, \quad (2)$$

где  $\gamma_B$  - объемный вес воды;  $H(u, v)$  - напорная функция;  $\gamma_{взв}$  - объемный вес взвешенного в воде грунта;  $y=v+h_0$ ;

$h_0 = \frac{\gamma_{взв}}{\gamma_B} H_{\max}$ ;  $v$  - ордината рассматриваемой точки

вспомогательной области;  $h_0$  - расстояние от границы полуплоскости до начала вертикальной оси;  $A$  - постоянная интегрирования, при отсутствии внешней нагрузки  $A=0$ .

Для грунта, у которого  $\varphi \neq 0$  и  $C \neq 0$ , уравнение Н.Н.Павловского запишется в виде

$$\Phi = -\gamma_B H(u, v) + \gamma_{взв} (y + h_{усл}) + A, \quad (2^1)$$

где  $h_{усл} = \frac{C}{\gamma_{взв}}$ .

Таким образом, учет сил сцепления в данном решении выполняется с помощью действия эквивалентного слоя грунта, пригружающего массив сверху.

Расчет общей устойчивости фильтрующих откосных областей выполняется в следующей последовательности (рис. 1, а, б, в).

1. Методом электрогидродинамических аналогий на модели из электропроводной бумаги находятся линии  $H = \text{const}$  для исследуемой фильтрующей откосной области (рис. 1, а).

2. Производится конформное отображение откосного поля фильтрационных сил из области  $Z = x + iy$  в полуплоскость  $W = u + iv$  с помощью функции (1).

Задаваясь значениями координат точек  $(x, y)$  на каждой эквипотенциале в области  $Z = x + iy$ , в соответствии с (1) получим координаты их образов  $(u, v)$  (рис. 1, а б). Полуплоскость в дальнейшем рассматривается как математическая модель откоса.

3. На базе отображенных линий  $H = \text{const}$  в области  $W = u + iv$  выполняется построение эквипотенциалей согласно уравнению (2) или (2'). Для этого начало вертикальной оси выбирается так, чтобы для линии  $H(u, v) = H_{\text{max}}$  сила  $\Phi = 0$  (рис. 1, б). При таком условии расстояние до горизонтальной оси  $O'_w$   $B'_w$ , на которой будет располагаться точка  $O_w$ , определится по формуле (рис. 1, б):  $h_o = \gamma_B / \gamma_{взв} H_{\text{max}}$ . После этого рассматриваем поочередно все линии  $H = \text{const}$ . При различных значениях  $v_1, v_2, \dots, v_m$  определяем  $\Phi_1, \Phi_2,$

$\Phi_m$  по формулам (2) или (2') для каждой линии, после чего по найденным расчетом точкам проводим линии  $\Phi = \text{const}$ .

Эквипотенциали представляют собой в общем случае некоторые кривые. Здесь следует отметить, что для математической модели откоса построение функции  $\Phi$  является точным.



Известные расчетные схемы [3, 5] основаны на построении линий  $\Phi$  в откосной области.

4. Определяем максимальные углы наклона линий  $\Phi$  к горизонту ( $\theta_{W'}^I, \theta_{W'}^{II}, \dots, \theta_{W'}^n$ ). Далее линию откоса  $\theta_{W'} B_{W'}$  разбиваем на отдельные участки ( $S_{W'}^I B_{W'}, S_{W'}^I S_{W'}^{II}, \dots$ ), в пределах которых углы наклона  $\theta_{W'}$  эквипотенциалей одинаковы. В этом случае получится условный откос с разными величинами коэффициента запаса устойчивости по высоте, а его высота окажется больше, чем действительная. Если  $\theta_{W'}^I = \theta_{W'}^{II} = \dots = \theta_{W'}^m$ , то устойчивость откоса характеризуется по высоте одним значением  $K_{\text{зап}}$ .

5. После осуществления поворота верхней границы (или ее участков) полуплоскости на угол  $\theta_{Z'}$  (или соответственно  $\theta_{W'}, \theta_{W'}^{II}, \dots, \theta_{W'}^m$ ) линии  $\Phi = \text{const}$  будут иметь вид эквипотенциалей от сил собственного веса грунта, т.е. параллельных горизонтальных линий.

6. Исходя из модели откоса, устанавливается угол  $\theta_{Z'}$ , на который следует повернуть исследуемый откос или его участки, т.е.  $\theta_{W'} = \theta_{Z'}$ .

7. Исследуемый фильтрующий откос с углом  $\alpha$  поворачиваем на угол  $\theta_{Z'}$  (или его участки на  $\theta_{Z'}^I, \theta_{Z'}^{II}, \dots, \theta_{Z'}^m$ ), в результате чего получим условный расчетный откос, сложенный сыпучим грунтом. Напряженное состояние его определяется эквипотенциалами  $\Phi = \text{const}$ , имеющими вид потенциалей сил тяжести (рис. 1, в), т.е. горизонтальных прямых.

Средний объемный вес грунта расчетного откоса будет равен

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{\Phi_{m+1} - \Phi_m}{\Delta l} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta l}.$$

Рис. 1. Расчетная условная схема оценки общей устойчивости фильтрующего откоса: а - исследуемая область; б - математическая модель откоса; в - расчетный условный профиль исследуемой откосной области (1 - линии  $H = \text{const}$ ; 2 - линии  $\Phi = \text{const}$ ; 3 - спрямленные линии  $\Phi$ ; 4 - условный расчетный профиль).

8. В дальнейшем рассматриваем условный расчетный откос (высотой  $H_{\text{усл}}$ ), сложенный неводонасыщенным сыпучим грунтом с объемным весом  $\gamma_{\text{ср}}$  и углом внутреннего трения  $\varphi$ .

9. Коэффициент запаса устойчивости расчетного откоса определяется по преобразованной известной формуле [4]:

$$K_{\text{зап}} = \frac{\text{tg } \varphi_{\text{расч}}}{\text{tg}(\alpha + \theta_z)},$$

Резюме. Рассматривается расчетная схема оценки общей устойчивости, основания на конформном отображении откосного поля фильтрационных сил в полуплоскость.

### Л и т е р а т у р а

1. Баранов Н.Н. Расчет динамической устойчивости водонасыщенного откоса методом конформного преобразования областей. - В сб.: Водное хозяйство Белоруссии. Вып. 2. Минск, 1972.
2. Павловский Н.Н. Приток грунтовой воды к каналам и рекам и возникающие при этом фильтрационные силы. Собр. соч., т. 2. М.-Л., 1956.
3. Соболевский Ю.А. Криволинейные очертания однородных откосов. Минск, 1969.
4. Указания по расчету устойчивости земляных откосов. ВСН 04-71. Л., 1971.
5. Чугаев Р.Р. Земляные гидротехнические сооружения (теоретические основы расчета). Л., 1961.

УДК 627.83:532.55

В.М.Ларьков, канд.техн.наук

### ФОРМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ И РЕЖИМЫ ДВИЖЕНИЯ ПОТОКА ЗА ДОННЫМИ ТРУБЧАТЫМИ ВОДОСБРОСАМИ

Сопряжение бьефов за водосбросными гидротехническими сооружениями осуществляется, как правило, в условиях пространственной задачи. Пространственное сопряжение бьефов отличается от плоской задачи характером движения потока, особенностью форм сопряжения и условиями их возникновения.