

Бийбосунова Г.И.

КӨЧКҮЛҮҮ ЭҢКЕЙИШ ТОО БЕТТЕРИНИН ТУРУКТУУЛУГУ ЖАНА  
ГИДРОДИНАМИКАЛЫК АГЫМДАРДЫН ЭСЕПТЕЛИШИ

Бийбосунова Г.И.

УСТОЙЧИВОСТЬ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ И РАСЧЕТ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ

G.I. Biibosunova

STABILITY OF LANDSLIDE SLOPES AND CALCULATION OF  
HYDRODYNAMIC FLOWS

УДК 532.546

*Сан-анализдик, гидромеханикалык модель тоо бетинин фильтрациялык жана инфильтрациялык процесстерге байланыштуу туруктуулугун изилдөө инструменти катары каралат*

**Негизги сөздөр:** туруктуулук, фильтрациялык жана инфильтрациялык процесс.

*Рассматривается численно-аналитическая, гидромеханическая модель как инструмент исследования устойчивости склона в зависимости от фильтрационных и инфильтрационных процессов.*

**Ключевые слова:** устойчивость, фильтрационные и инфильтрационные процессы.

*The article focuses on numerical and analytical hydro mechanical model as an investigation instrument of the slope stability depending on filtration and infiltration processes.*

**Key words:** stability of slopes, filter ventilation and infiltration processes.

В теории и практике оползневых процессов рассматриваются три возможных случая для основного деформируемого горизонта (ОДГ) или линии скольжения оползней для плоского случая. Большое значение для развития оползневого процесса имеет положение уровня подземных вод по отношению к основному деформируемому горизонту (ОДГ) или поверхности скольжения.

Обычно рассматриваются три основных случая:

1) подземные воды залегают значительно ниже ОДГ и даже в период аномального подъема не достигают его и, соответственно, не оказывают существенного влияния на развитие оползней;

2) уровень подземных вод находится выше ОДГ, т.е. оползневые породы и породы скольжения находятся в условиях постоянного обводнения, испытывают гидродинамическое давление, в этом случае развитие оползней определяется в основном гидрогеологическими условиями и их изменением;

3) ОДГ находится в зоне колебания уровня подземных вод, т.е. породы испытывают регулярное изменение влажности в результате переменного увлажнения - высушивания, что способствует активному их выветриванию, разуплотнению, разрушению структурных связей. Как правило, активизация

оползней в этом случае связана с периодом поднятия уровня подземных вод.

Отсюда следует, что в двух случаях из трех возможных для плоскости или линии скольжения оползней мы наблюдаем непосредственное воздействие гидродинамических течений на устойчивость оползневых склонов. Естественным образом возникают задачи об устойчивости горных оползневых склонов и воздействию на их устойчивость гидродинамических процессов.

**Расчет устойчивости.** На сегодняшний день известно большое количество методов расчета устойчивости склонов, которые учитывают в своих расчетных схемах многообразие типов оползней и используют различные допущения, связанные с формой поверхности скольжения, местоположением областей грунта, находящихся в предельном состоянии, с определением коэффициента устойчивости и т.д. При этом, как правило, расчеты устойчивости ведутся в условиях плоской задачи. Приведем следующие методики расчета устойчивости, которые являются наиболее известными в советской литературе и часто применяемыми в практике исследования и прогнозирования оползневых процессов.

1. Метод круглоцилиндрических поверхностей смещения. Данный метод расчета устойчивости предполагает, что смещение массива происходит путем вращения оползневого монолитного тела вокруг центра. Условием предельного равновесия будет равенство моментов всех действующих на оползневое тело сил относительно точки «О». При этом оползневое тело разбивается на ряд отсеков и с учетом всех объемных масс  $\gamma$  всех слоев, слагающих оползневое тело, вычисляется вес каждого отсека  $P_i$ , который прикладывают к центру линии скольжения  $i$ -го отсека. Далее раскладывая  $P_i$  на составляющие, направленные по радиусу  $N_i$  и по касательной к линии смещения  $T_i$ , составляют уравнение равновесия:

$$\sum T_i \cdot R - \sum N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_i \cdot R - \sum c_i \cdot l_i \cdot R = 0$$

здесь  $R$  - радиус вращения оползневого тела;  $\varphi_i$  и  $c_i$  - угол внутреннего трения и сцепление грунта,

выраженные через эффективное напряжение;  $L$  - длина дуги скольжения:

$$T_i = P_i \cdot \sin \alpha_i; \quad N_i = P_i \cdot \cos \alpha_i$$

$\alpha$  – угол наклона вектора  $T_i$  к горизонту.

При этом внутренние силы взаимодействия по вертикальным стенкам отсеков в расчете не учитываются. Коэффициент устойчивости склона определяется соотношением суммы моментов сил, удерживающих оползневое тело, к сумме моментов сил, стремящихся его сдвинуть:

$$K_{ycm} = \frac{\sum M_{y\partial}}{\sum M_{c\partial}} = \frac{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot \cos \alpha_i \cdot tg \varphi_i + c_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^N P_i \cdot \sin \alpha_i}$$

2. Метод прислоненного откоса. Здесь оползневое тело также разбивается на отсеки, число которых определяется обычно числом прямолинейных отрезков поверхности смещения. Рассматривается условие равновесия для  $i$  - го отсека. На вертикальные грани отсека приложены силы оползневого давления  $E_{i-1}$  и  $E_i$ , направленные под углами  $\beta_{i-1}$  и  $\beta_i$  от нормалей к граням отсека. Составляющие веса  $P_i$  определяются аналогично предыдущему методу расчета. Составляются следующие уравнения равновесия путем проекции всех сил на нормаль к основанию отсека и на направление поверхности скольжения:

$$R_i = N_i + E_i \cdot \sin(\alpha_i - \beta_i) - E_{i-1} \cdot \sin(\alpha_i - \beta_{i-1})$$

$$T_i = c_i \cdot l_i + R_i \cdot tg \varphi_i + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \beta_i) - E_{i-1} \cdot \cos(\alpha_i - \beta_{i-1})$$

где  $R_i$  - нормальная составляющая реакции основания  $i$  - го отсека. Из этих уравнений находится выражение для определения величины оползневого давления  $E_i$ , умножая величину сдвигающей силы на коэффициент запаса устойчивости, и вычисление оползневых давлений производят последовательно, начиная с верхнего отсека, для которого  $E_{i-1} = 0$ .

Коэффициент запаса устойчивости определяют подбором таким образом, чтобы оползневое давление самого нижнего отсека  $E_n = 0$ .

3. Метод Ю.И. Соловьева. Здесь также склон или откос разбивается на системы вертикальных элементов - схемы отсеков. Считается, что  $N = P \cdot \cos \alpha$  и  $T = P \sin \alpha$ . И согласно принципу Лагранжа для возможных перемещений отсеков, коэффициент запаса устойчивости склона определяется следующей формулой ( где  $j_i$  - объемная масса грунта):

$$K_c = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{\sum_{i=1}^N D_i}$$

$$S_i = P_i tg \varphi + C \cdot b_i \cdot q_i$$

$$D_i = P_i \cdot tg \alpha_i$$

$$P_i = \frac{1}{2} j_i (h_i + h_{i-1}) \cdot b_i; \quad h_i = y_i - y_{i-1}$$

$$q_i = 1 + tg^2 \alpha; \quad tg \alpha_i = \frac{y_i - y_{i-1}}{b_i}$$

К исходной информации вычислений относятся величины:  $y_i, y_{i-1}, b_i, c, tg \varphi$  (при всех значениях  $i$ ). Таким образом, здесь вместо силы  $N_i$  и  $T_i$  учитывается сила давления  $P_i$ . Отсеки (элементы) предполагаются недеформируемыми.

Как утверждают авторы этих методов, устойчивость склонов во многом определяется условиями их обводнения. Потоки подземных вод оказывают силовое гидродинамическое воздействие и влияют на прочностные показатели пород. Поэтому в нашей работе предлагается своя методика расчета устойчивости и определения линии скольжения, основанная на гидродинамическом подходе. В самом общем виде постановка задачи заключается в исследованиях фильтрационных и инфильтрационных процессов в горных породах с учетом их сложного геологического строения. Формулируется новая задача: требуется определить устойчивость горных склонов на их возможное оползание, так как потоки подземных вод оказывают силовое гидродинамическое воздействие и влияют на прочностные показатели пород и найти неизвестную линию скольжения оползней. Для этого предлагается следующая схема приложенных сил, на основе которой вычисляется коэффициент запаса устойчивости:

$$K_y = \frac{\sum F_{-co}}{\sum F_{-yo}}$$

Следовательно, коэффициент устойчивости  $K_y$  определяется как отношение сдвигающих сил  $F_{сд}$  к силам удерживающим  $F_{уд}$ . При этом возможны следующие два случая:

1)  $K_y > 1$  и тогда оползнеопасный склон будем считать неустойчивым;

2)  $K_y < 1$  и тогда рассматриваемый оползнеопасный склон считается устойчивым.

Основными сдвигающими силами будем считать такие силы, как собственный вес оползней, обозначим его через  $G$ ; гидродинамическое давление жидкости в теле оползня -  $P$ . К удерживающим силам отнесем силы внутреннего трения и силы сцепления - сумму этих двух сил обозначим через  $F_r$  и

будем называть силой сопротивления сдвигу. Тогда коэффициент устойчивости будет определяться как отношение следующих сил:

$$K_y = \frac{(G + P)}{F_r} \quad (1)$$

Собственный вес оползней состоит из двух слагаемых: тангенциального и нормального составляющего, которые можно определить следующим образом:

$$T = G \cdot \sin \alpha ;$$

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$F_r = -K_0 \cdot G \cdot \cos \alpha ,$$

$$K_0 = \operatorname{tg} \phi$$

где  $\alpha$  - угол наклона склона. Здесь  $K_0$  - коэффициент сдвига, состоит из суммы коэффициента внутреннего трения и коэффициента сцепления. Из соотношения (1) видно, что склон устойчив, если обеспечивается следующее неравенство относительно гидродинамического давления подземных вод:

$$P < F_r - G$$

и в этом случае мы имеем устойчивый объект. В случае же, когда:

$$P > F_r - G$$

тогда теряется устойчивость склонов, а плоскость скольжения оползней (или линия скольжения оползней в двумерном случае) представляет собой при этом непроницаемую границу или линию тока.

Далее, предполагаемая линия смещения, как правило, неизвестна, но, задавая условие относительно давления подземных вод вдоль линий тока в исследуемой области, мы можем найти неизвестную

границу, вдоль которой нарушается условие устойчивости (как известно, гидродинамическое давление направлено по касательной к линиям тока) и по которой возможно произойдет оползание. Таким образом, не только исследуется динамика подземных вод, как фактор развития и активизации оползневых процессов, но и оценивается устойчивость и вычисляется положение наиболее вероятной плоскости или линии скольжения оползней.

Итак, устойчивость горных склонов во многом определяется в зависимости от фильтрационных и инфильтрационных процессов.

*Инфильтрационные процессы* – климатические и метеорологические условия, поверхностный сток, сезонное промерзание и оттаивание горных пород и обусловленные и порождаемые ими процессы влаго- и массопереноса жидкости. Процессы инфильтрации в оползневых склонах порождает и снеготаяние в весенний период. Проникновение жидкости в оползневые склоны за счет поверхностных вод порождает как фильтрационные течения с неизвестной кривой депрессии или уровнем грунтовых вод, так и инфильтрационные процессы в ненасыщенной среде.

Таким образом, одним из эффективных инструментов исследования устойчивости склонов является численно-аналитическая, гидромеханическая модель, которая позволяет рассчитывать коэффициенты запаса устойчивости склона в зависимости от фильтрационных и инфильтрационных процессов.

#### Литература:

1. Гулакян К.А., Кюнтцель В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов. – М.: Изд. Наука, 1977. – 212 с.
2. Дранников А.М. Оползни. Типы, причины, образования, меры борьбы. - М.: Изд. СССР, 1956. – 197 с.
2. Изучение режима оползневых процессов / под ред. А.И. Шеко. - М.: Изд. Недра, 1982. – 412 с.
3. Варнес Д. Движение склонов, типы и процессы // Оползни, исследования и укрепления. - М.: Изд. Мир, 1981. – С. 32-85.

Рецензент: к.ф.-м.н., профессор Табышов Р.Т.