

На правах рукописи

Тарасов Евгений Борисович

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ
УСТОЙЧИВОСТИ НАСЫПНЫХ И НАМЫВНЫХ ДАМБ**

Специальность

25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная
аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2007 г.

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор
Зотеев Олег Вадимович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Зубков Альберт Васильевич

кандидат технических наук, доцент
Яковлев Вячеслав Николаевич

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов.

Защита состоится « 24 » мая 2007 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 004.010.01 при Институте горного дела УрО РАН в зале заседаний Ученого совета по адресу: 620219, г. Екатеринбург, ГСП-936, ул. Мамина-Сибиряка, 58.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института горного дела УрО РАН.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2007г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

В.М. Аленичев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. На 80 % хвостохранилищ в качестве водоподпорных сооружений применяются насыпные и намывные грунтовые дамбы. При существующих схемах обогащения извлечение руд сопровождается образованием большого объема мелкодисперсных отходов. На подавляющем большинстве горнодобывающих предприятий для транспортировки этих мелкодисперсных отходов обогащения применяется гидротранспорт, а для их размещения используются специальные накопители – хвостохранилища.

Несмотря на достаточно большой объем работ по оценке устойчивости дамб и обязательный мониторинг в ходе эксплуатации, нередко случаются аварийные ситуации, основными причинами возникновения которых являются:

- несоответствие геометрических параметров сооружения физико-механическим свойствам слагающих грунтов и грунтов основания;
- неполный учет влияния обводненности на устойчивость сооружения;
- несоответствующий физической картине явления учет внешних факторов, например сейсмического.

Таким образом, задача оценки и обеспечения устойчивости грунтовых дамб и грунтовых плотин является актуальной в настоящее время.

Объект исследования – намывные грунтовые ограждающие дамбы с пологими откосами на различных типах оснований.

Предмет исследования – взаимосвязь геометрических параметров грунтовых дамб, физико-механических свойств слагающих их грунтов, обводненности и внешних факторов с устойчивостью откосов.

Цель работы – исследование взаимосвязи параметров устойчивости откосов ограждающих дамб на различных типах оснований с физико-механическими свойствами слагающих их грунтов, геометрическими параметрами сооружения, обводненностью и внешними силовыми факторами.

Идея работы состоит в учете излома поверхности скольжения на контактах дамбы с грунтами основания.

Задачи исследования:

- исследование и выбор методов оценки физико-механических свойств грунтов, слагающих тело дамб и их оснований;
- исследование и выбор метода оценки положения поверхности депрессии в теле дамбы;
- выбор и обоснование математической модели грунтовых ограждающих дамб;
- разработка методики оценки устойчивости откоса и построения наиболее опасной поверхности скольжения в теле дамбы;
- создание программного обеспечения для расчета устойчивости откосов грунтовых ограждающих дамб.

Методы исследования – в диссертационной работе использован комплексный метод научных исследований, включающий анализ и теоретическое обобщение закономерностей устойчивости техногенных сооружений с откосами в физических полях; математическое моделирование поведения объекта исследований; сопоставление теоретических результатов с результатами фактических наблюдений.

Научные положения, выносимые на защиту:

- наиболее опасной поверхностью скольжения является поверхность, описываемая в плоском сечении логарифмической спиралью;
- при пологих (до 15°) откосах наиболее вероятными являются оползни с выдавливанием пород основания или оползни, развивающиеся по контакту тела дамбы и пород основания;
- для контактных оползней при пологих откосах с увеличением высоты дамбы растет ее устойчивость.

Научная новизна работы заключается:

- в учете излома поверхности скольжения на контакте с породами основания грунтовых сооружений с пологими откосами;
- в разработанной методике построения поверхности скольжения для различных типов оползней;
- в установленных закономерностях изменения устойчивости откосов дамб при изменении высоты сооружения и заложения откосов.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций диссертационной работы обеспечивается:

- применением фундаментальных законов физики и основных положений геомеханики;
- сходимостью результатов теоретических исследований с результатами практических наблюдений;
- положительными результатами внедрения рекомендаций на промышленных предприятиях.

Практическая ценность работы заключается в повышении надежности расчетов параметров устойчивости откосов грунтовых ограждающих дамб.

Личный вклад автора:

- обоснование расчетных схем, используемых при оценке устойчивости откосов техногенных сооружений на различных типах оснований;
- разработка алгоритма расчета устойчивости откосов;
- разработка программы расчета устойчивости техногенных сооружений с откосами.

Реализация результатов работы. Результаты исследования послужили теоретической основой при разработке рекомендаций, используемых на ОАО «Ванадий» и ОАО «Гайский ГОК».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались на Международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология: масштабы и перспективы применения» (Магнито-

горск, Учалы, 2005 г.) На 10-й Юбилейной международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья» (16-21 мая 2005 г.), г. Екатеринбург, а также на научных семинарах кафедры РРМ УГГУ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 125 страницах машинописного текста, списка литературы из 138 наименований, а также включает 25 рисунков и 8 таблиц.

Основное содержание работы

В первой главе приведен анализ ранее выполненных в этой области исследований. Основы теории устойчивости техногенных грунтовых сооружений с откосами были заложены К. Кулоном. Базисные положения теории сформулированы на основе практических наблюдений, лабораторных исследований и математических представлений того времени.

Большой вклад в становление и развитие этого научного направления внесли работы: Г. Крея, Ф. Кетлера, Л. Прандтля, Г. Рейснера, К. Терцаги, В. Новотворцева, Н.М. Герсеванова, В.В. Соколовского, Г.Л. Фисенко, В.Г. Зотеева, А.М. Гальперина, В.А. Флорина, В.Н. Попова, Б.Н. Байкова, О.В. Зотеева, В.Д. Морозова, В.И. Пушкарева, В.Т. Сапожникова, Р.Г. Окатова, Б.Г. Афанасьева, В.А. Гордеева, Г.Н. Петрова и многих других исследователей.

Анализ основных положений научных работ и направлений исследования позволил сформулировать круг задач, рассмотренных в данной работе.

Во второй главе диссертации изложены основные факторы, оказывающие влияние на устойчивость грунтовых техногенных сооружений с пологими откосами, в поле силы тяжести, а именно: физико-механические свойства грунтов, высота дамбы, заложение откосов, обводненность дамбы, сейсмические и прочие внешние воздействия на массив сооружения. Установлено, что физико-механические свойства грунтов, слагающих насыпные и намывные дамбы могут быть определены по их гранулометрическому составу; в качестве основных

факторов для расчета устойчивости сооружений с пологими откосами должны быть взвешивающий эффект и фильтрационное давление (случай контактного оползня). Сейсмический фактор следует учитывать в двух вариантах: как расчет сдвигающей силы в соответствии со СН и ПП-7-81* и как расчет устойчивости с учетом порового давления.

Выбрана математическая модель, достоверно описывающая исследуемое природное явление.

В третьей главе на основе положений, полученных в предыдущих разделах диссертации, разработана компьютерная методика построения поверхности скольжения при расчете устойчивости ограждающих дамб.

В диссертационной работе рассмотрены параметры поверхностей скольжения для двух типов оползней, локализующихся в теле откоса ограждающих грунтовых дамб, и для двух типов оползней, захватывающих породы основания. При этом использованы следующие положения, введенные в работах В.В. Соколовского, Г.Л. Фисенко и др.:

1. Возникновение площадок скольжения возможно лишь в том случае, когда действующие в грунте напряжения превышают его прочность. Применительно к откосам ограждающих дамб и плотин площадки скольжения могут возникнуть лишь на глубине от гребня, превышающей мощность упругого слоя H_{90} :

$$H_{90} = \frac{2C}{\gamma} \operatorname{ctg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right), \quad (1)$$

где C , φ и γ – соответственно, сцепление, угол внутреннего трения и объемный вес грунта, слагающего откос.

2. Применительно к плосконапряженному состоянию площадки скольжения вырождаются в линии, представленные двумя семействами, которые образуют с осью максимального сжимающего напряжения постоянные углы (рис.1):

$$\varepsilon = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}. \quad (2)$$

3. С приближением к поверхности откоса поверхность скольжения переходит в логарифмическую спираль с переменной длиной радиус-вектора r_i , определяемого по формуле

$$r_i = r_0 \exp(v_i \operatorname{ctg} \varepsilon), \quad (3)$$

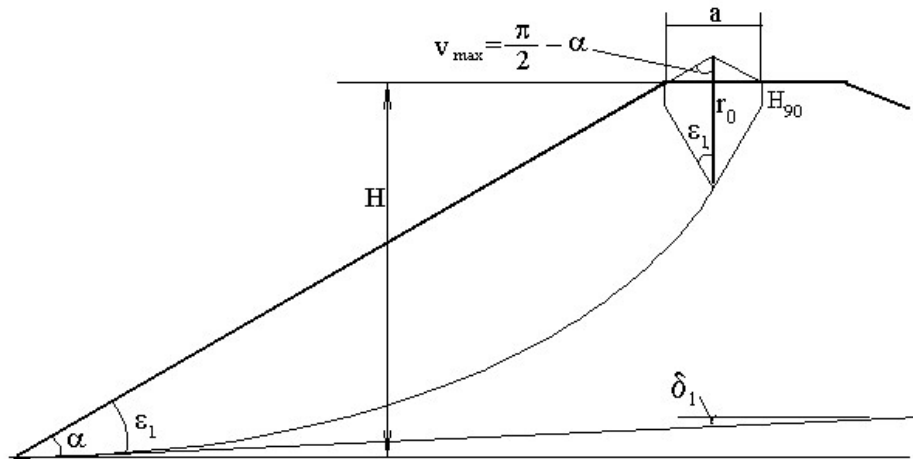
где r_0 – длина начального (вертикального) радиус-вектора; v_i – угол отклонения r_i от вертикали, рад. см. рис. 1; e – основание натурального логарифма ($e \approx 2,73$).

4. Если угол наклона откоса $\alpha < \varepsilon$, то поверхность скольжения будет заглубляться в грунты основания с последующим ее выходом на земную поверхность под углом ε , а при высокой прочности грунтов основания она сохранит криволинейную форму только до контакта плотина – основание, а далее будет совпадать с контактом (ломаная поверхность скольжения).

5. Предельная ширина оползневой призмы определяется следующим образом:

$$a_{\text{пред}} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2H \\ a_{\text{г}} + (H - H_{\text{НПУ}}) m_{\text{в}} \end{array} \right. , \quad (4)$$

где H – высота откоса; $H_{\text{НПУ}}$ – уровень воды в верхнем бьефе; $a_{\text{г}}$ – ширина гребня плотины; $m_{\text{в}}$ – заложение верхового откоса.



H – высота откоса; α – угол откоса; a – ширина оползневой призмы; H_{90} – мощность упругого слоя; r_0 – начальный радиус-вектор; ε_1 – угол между площадкой скольжения и максимальным сжимающим напряжением; δ_1 – угол наклона основания

Рисунок 1 – Поверхность скольжения в крутом однородном откосе

Рассмотрим параметры поверхностей скольжения при оползнях, локализующихся в теле откоса. Если угол между поверхностью откоса и поверхностью его основания больше угла ε_1 ($\alpha - \delta_1 > \varepsilon_1$), поверхность скольжения полностью реализуется в теле откоса и выходит в его нижнюю бровку (рис. 1). Параметры поверхности скольжения в этом случае определяются однозначно:

$$\begin{aligned} v_{\max} &= \frac{\pi}{2} - \alpha; \\ r_{01} &= \frac{H \operatorname{ctg} \alpha (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \varepsilon_1) - H_{90}}{\cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \varepsilon_1) \exp(v_{\max} \operatorname{ctg} \varepsilon_1) - 1}, \end{aligned} \quad (5)$$

где v_{\max} – максимальное значение зенитного угла, при котором поверхность скольжения выходит в нижнюю бровку откоса.

Ширина оползневой призмы может быть определена через r_{01} :

$$a = 2 \frac{r_{01} - H_{90}}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \varepsilon_1}. \quad (6)$$

В тех случаях, когда расчетная ширина оползневой призмы превышает пределы, определяемые соотношением (4), поверхность скольжения выходит в откос под углом ε_1 к его поверхности выше нижней бровки. При этом необходима корректировка параметров логарифмической спирали:

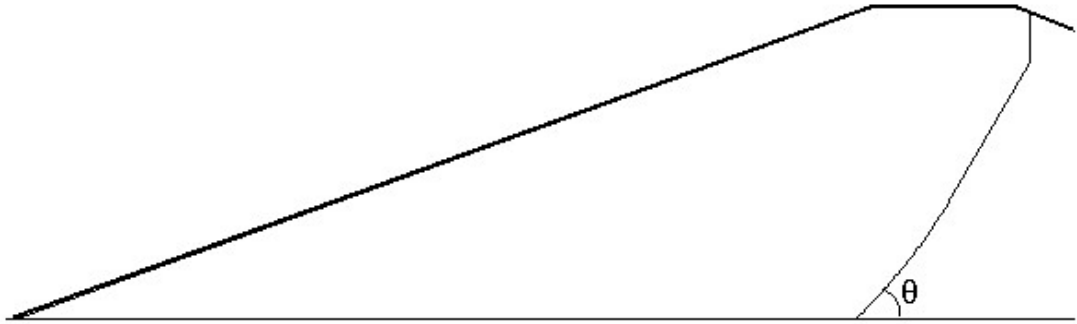
$$\begin{aligned} a &= a_{\text{пред}}; \\ r_{01} &= H_{90} + \frac{a}{2} (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \varepsilon_1), \end{aligned} \quad (7)$$

где $a_{\text{пред}}$ определяется соотношением (4).

В случаях, когда дамба отсыпана на прочном основании, а контакт между грунтами основания и откоса имеет низкие прочностные характеристики, возможно образование контактного оползня, при котором поверхность скольжения претерпевает резкий излом (рис. 2). Это может произойти, если угол θ между поверхностями скольжения и контакта в точке их касания не превышает предельной величины $\theta_{\text{кр}}$, определенной В.В. Соколовским следующим образом:

$$\theta_{кр} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(\varphi_1 - \varphi_1') - \frac{1}{2} \arcsin \left[\frac{\sin \varphi_1'}{\sin \varphi_1} \left(1 - \frac{C_1 \operatorname{ctg} \varphi_1 - C_1' \operatorname{ctg} \varphi_1'}{0,5(\sigma_1 + \sigma_3) + C_1 \operatorname{ctg} \varphi} \right) \right], (8)$$

где σ_1 и σ_3 – соответственно, максимальное и минимальное сжимающие напряжения (сжимающие напряжения в этой работе считаются положительными).



θ – угол между поверхностью скольжения и основанием в точке их касания

Рисунок 2 – Поверхность скольжения при образовании контактного оползня

Так как поверхность скольжения может образовываться лишь при напряжениях, превышающих прочность пород на сжатие, выражение (8) может быть упрощено

$$\theta_{кр} \approx \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2}(\varphi_1 - \varphi_1') - \frac{1}{2} \arcsin \frac{\sin \varphi_1'}{\sin \varphi_1}. (9)$$

Подстановка реальных прочностных характеристик грунтовых откосов показывает, что значение $\theta_{кр}$, определяемое по выражениям (8) и (9), отличается не более чем на $1,5^\circ$, что является пренебрежимо малой погрешностью по сравнению с точностью определения исходных данных и ошибкой расчета среднего давления.

Случай, когда поверхность скольжения выходит к контакту пород откоса и основания под углом $\theta_{кр}$, является предельным положением кривой, при которой ширина призмы обрушения достигает максимума. При этом связь ширины оползневой призмы и нулевого радиус-вектора определяется соотношением (6), а значение r_{01} может быть определено в явном виде:

$$v_{\max} = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_1 - \delta_1 - \theta_{\text{кр}},$$

$$r_{01} = \frac{H(1 - \text{ctg } \alpha \text{ tg } \delta_1)(\text{tg } \alpha + \text{ctg } \varepsilon_1) - H_{90}(\text{tg } \alpha - \text{tg } \delta_1)}{(\text{tg } \alpha + \text{ctg } \varepsilon_1)(\cos v_{\max} - \sin v_{\max} \text{ tg } \delta_1) \exp(v_{\max} \text{ ctg } \varepsilon_1) - (\text{tg } \alpha - \text{tg } \delta_1)}, \quad (10)$$

где v_{\max} – величина зенитного угла, при котором поверхность скольжения пересекает основание.

В тех случаях, когда ширина оползневой призмы превышает предельное значение, определяемое соотношением (4), параметры поверхности скольжения корректируются с учетом выражений (6) и (7). Величина зенитного угла $v_{\text{п}}$, при котором поверхность скольжения пересечет основание откоса, может быть определена решением трансцендентного уравнения следующего вида:

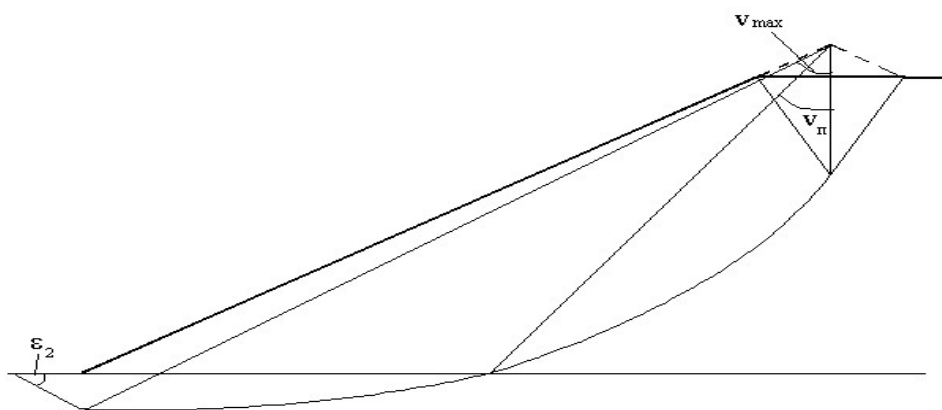
$$\begin{aligned} (\cos v_{\text{п}} - \sin v_{\text{п}} \text{ tg } \delta_1) \exp(v_{\text{п}} \text{ ctg } \varepsilon_1) = \\ = \frac{2H(1 - \text{ctg } \alpha \text{ tg } \delta_1) + a(\text{tg } \alpha - \text{tg } \delta_1)}{2r_{01}} = \text{const}. \end{aligned} \quad (11)$$

Минимальная ширина оползневой призмы, при которой возможно образование контактного оползня для крутых откосов, определяется соотношениями (5) и (6). В случае пологих откосов, когда $\alpha < \varepsilon_1$, параметры поверхности скольжения с минимальной шириной призмы определяются из условия, что угол между логарифмической спиралью и основанием откоса составляет 0° . При этом можно воспользоваться соотношениями (10) и (6), задав величину зенитного угла, при котором поверхность скольжения пересекает основание v_{\max} следующим соотношением:

$$v_{\max} = \frac{\pi}{2} - \varepsilon_1 - \delta_1. \quad (12)$$

Проведенные расчеты с перебором возможных вариантов поверхностей скольжения показали, что коэффициент запаса устойчивости достигает минимума при угле между поверхностью скольжения и контактом с основанием, несколько меньшим, чем $\theta_{\text{кр}}$. Однако это отклонение коэффициента запаса от минимума не превышает 0,01—0,03.

В тех случаях, когда грунты основания имеют низкие прочностные характеристики, поверхность скольжения может развиваться с заглублением в них в виде монотонной кривой (рис. 3). При пересечении контакта тела дамбы с основанием логарифмическая спираль претерпевает излом и угол наклона поверхности скольжения уменьшается на величину $0,5(\varphi_1 - \varphi_2)$. После выхода логарифмической спирали под нижнюю бровку откоса поверхность скольжения вновь претерпевает резкий излом, вырождаясь в прямую линию, ориентированную под углом ε_2 к дневной поверхности.



v_{π} – зенитный угол, при котором поверхность скольжения пересекает основание откоса; v_{\max} – максимальный зенитный угол, при котором существует логарифмическая спираль

Рисунок 3 – Поверхность скольжения, захватывающая грунты основания откоса

Уравнение логарифмической спирали в основании (ниже точки пересечения контакта) может быть определено следующим образом:

$$\begin{aligned} r_i &= r_{02} \exp(v_i \operatorname{ctg} \varepsilon_2); \\ r_{02} &= r_{01} \exp[v_{\pi} (\operatorname{ctg} \varepsilon_1 - \operatorname{ctg} \varepsilon_2)], \end{aligned} \quad (13)$$

где v_{π} – зенитный угол, при котором логарифмическая спираль пересекает основание откоса (рис. 3).

Определение в явном виде всех параметров наиболее опасной поверхности скольжения, к сожалению, невозможно: она может быть найдена лишь перебором вариантов. Проведенные расчеты показали, что для таких поверхностей скольжения связь коэффициента устойчивости и ширины оползневой призмы может являться нелинейной функцией, имеющей один локальный ми-

нимум. На положение поверхности скольжения, соответствующей этому минимуму, влияют угол откоса и его высота, предельная ширина оползневой призмы, угол падения основания, а также прочностные характеристики грунтов откоса и основания. Например, для крутых откосов ($\alpha - \delta_1 > \varepsilon_1$) при отсутствии сцепления в грунтах откоса и основания минимум коэффициента запаса будет соответствовать случаю, когда поверхность выходит в нижнюю бровку откоса (минимальной ширине оползневой призмы). При увеличении сцепления минимальное значение коэффициента запаса будет достигаться при увеличенном размере призмы, когда поверхность скольжения выходит на земную поверхность за пределами нижней бровки откоса. Для пологих откосов при низком угле внутреннего трения основания и отсутствии в них сцепления поверхность скольжения будет выходить под нижней бровкой откоса при зенитном угле, превышающем угол максимального проникания спирали ($\pi/2 - \varepsilon_2$), т.е. минимум коэффициента запаса будет соответствовать наибольшей ширине оползневой призмы.

Таким образом, единственный путь отыскания наиболее опасной поверхности скольжения, захватывающей грунты основания, - это перебор возможных вариантов ее положения. Признаком окончания перебора является прекращение уменьшения коэффициента запаса при очередном увеличении ширины оползневой призмы. Для сокращения рассматриваемых вариантов можно ввести минимально возможную величину оползневой призмы, при которой произойдет захват грунтов основания: в этом случае поверхность скольжения выходит в нижнюю бровку откоса.

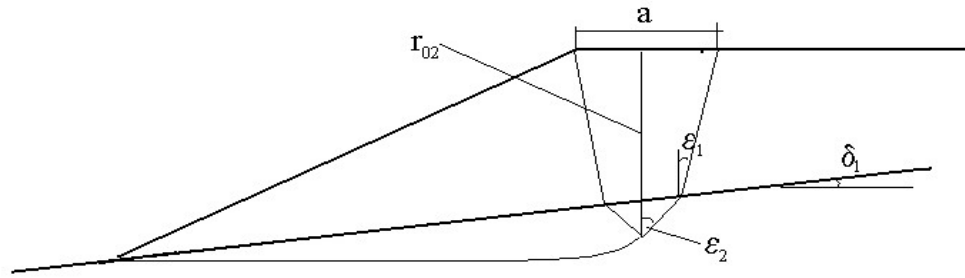
В тех случаях, когда угол между поверхностью откоса и поверхностью его основания меньше угла ε_1 ($\alpha - \delta_1 < \varepsilon_1$), ширина минимально возможной оползневой призмы и длина нулевого радиус-вектора могут быть определены по выражению (6) при условии $v_{\max} = \pi/2 - \alpha$ и

$$r_{01} = \frac{H \operatorname{ctg} \alpha (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \varepsilon_1) - H_{90}}{\cos \alpha (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \varepsilon_1) \exp[v_{\max} \operatorname{ctg} \varepsilon_2 + v_n (\operatorname{ctg} \varepsilon_1 - \operatorname{ctg} \varepsilon_2)] - 1}, \quad (14)$$

где ν_{π} – угол, при котором логарифмическая спираль пересекает основание откоса, который может быть определен из рекуррентного уравнения

$$\begin{aligned} & (\cos \nu_{\pi} - \sin \nu_{\pi} \operatorname{tg} \delta_1) \exp(\nu_{\pi} \operatorname{ctg} \varepsilon_2) = \\ & = (\sin \alpha - \cos \alpha \operatorname{tg} \delta_1) \exp(\nu_{\max} \operatorname{ctg} \varepsilon_2) = \operatorname{const}. \end{aligned} \quad (15)$$

При очень пологих откосах, залегающих на наклонном основании, возможны случаи, когда клин давления, ограниченный прямолинейными площадками скольжения, проникает в основание (рис. 4).



a – ширина оползневой призмы; r_{02} – начальный радиус-вектор; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – угол между площадкой скольжения и максимальным сжимающим напряжением; δ_1 – угол наклона основания

Рисунок 4 - Поверхность скольжения, выходящая в нижнюю бровку откоса при клине давления, заканчивающемся в грунтах основания

Ширина оползневой призмы в этом случае может быть определена следующим образом:

$$\begin{aligned} a &= 2 \frac{H \left[\frac{E}{\sin \alpha} - B(1 - A) \right] - H_{90} A}{C + D - \frac{E}{\cos \alpha}}; & A &= \frac{\cos(\varepsilon_2 + \delta_1) \sin \varepsilon_1}{\cos(\varepsilon_1 + \delta_1) \sin \varepsilon_2}; \\ B &= 1 - \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \delta_1; & C &= \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \delta_1; & \nu_m &= \frac{\pi}{2} - \alpha; \\ D &= \frac{\cos(\varepsilon_2 + \delta_1) \cos(\varepsilon_1 - \delta_1)}{\cos(\varepsilon_1 + \delta_1) \sin \varepsilon_2 \cos \delta_1}; & E &= \exp(-\nu_m \operatorname{ctg} \varepsilon_2). \end{aligned} \quad (16)$$

Связь нулевого радиус-вектора и ширины оползневой призмы определяется следующим уравнением:

$$r_{02} = HB(1 - A) + H_{90} A + \frac{a}{2}(C + D), \quad (17)$$

где A, B, C и D – промежуточные переменные, определенные выше.

Таким образом, построение очередной поверхности скольжения состоит в задании ширины оползневой призмы, расчете с помощью (7) величины началь-

ного радиус-вектора в теле откоса r_{01} , поиске с помощью (11) зенитного угла $\nu_{п}$, при котором логарифмическая спираль пересекает основание откоса, и определении с помощью (13) начального радиус-вектора во втором слое r_{02} .

Случаи, когда величина r_{01} , соответствующая текущей ширине оползневой призмы, превышает высоту откоса с поправкой за наклон основания, описываются неравенством вида

$$r_{01} \geq H(1 - \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \delta_1) + \frac{a}{2}(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \delta_1). \quad (18)$$

При выполнении этого неравенства сразу же должен производиться расчет r_{02} с помощью выражения (17).

После вычисления констант, определяющих участки логарифмической спирали, обычным образом производится вычисление координат ее точек и последующий расчет коэффициента запаса устойчивости по кривой.

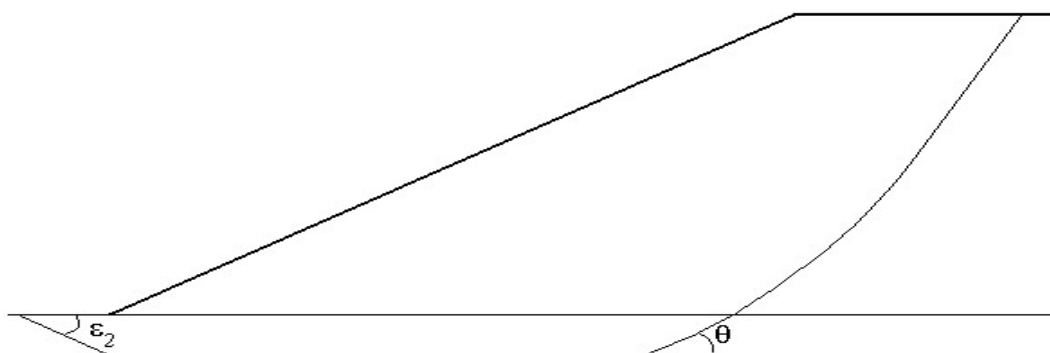
В тех случаях, когда мощность слабых пород в основании ограничена, при вычислении координат точек спирали следует производить проверку на пересечение поверхностью скольжения границы слоя:

$$r_{02}(\cos \nu_1 - \sin \nu_1 \operatorname{tg} \delta_2) \exp(\nu_1 \operatorname{ctg} \varepsilon_2) \geq \left(H + \frac{a}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) (1 - \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \delta_2) + \frac{m}{\cos \delta_2}, \quad (19)$$

где m – мощность слабого слоя.

При выполнении неравенства (19) счет прекращается, так как развитие поверхности скольжения в прочных грунтах невозможно. Однако в этом случае появляется вероятность развития контактного оползня с выдавливанием слабого слоя основания, который может произойти только в том случае, если угол между логарифмической спиралью и подошвой слабого слоя θ не превышает критической величины $\theta_{кр}$ (рис.5). Для выполнения этого требования зенитный угол $\nu_{п}$, при котором произошло пересечение подошвы слабого слоя поверхностью скольжения, не должен превышать величины

$$\nu_{п} \leq \frac{\pi}{2} - \varepsilon_2 - \delta_2 - \theta_{кр}. \quad (20)$$



ε_2 – угол между площадкой скольжения и максимальным сжимающим напряжением; θ – угол между поверхностью скольжения и основанием в точке их касания

Рисунок 5 - Контактный оползень с выдавливанием слабого слоя в основании

Для определения величины $\theta_{кр}$ можно воспользоваться соотношением (9), заменив в нем величины φ_1 и φ'_1 соответствующими им φ_2 и φ'_2 . Параметры наиболее опасной поверхности скольжения при этом типе контактного оползня также не удастся получить в явном виде, т.е. для решения этой задачи необходимо провести перебор возможных вариантов. При этом минимальная ширина оползневой призмы определяется случаем, когда соотношение (19) переходит в равенство. Максимальная же ширина призмы определяется случаем нарушения неравенства (20). При этом величину v_n для любой заданной величины оползневой призмы можно получить решением рекуррентного уравнения

$$\begin{aligned} (\cos v_n - \sin v_n \operatorname{tg} \delta_2) \exp(v_n \operatorname{ctg} \varepsilon_2) = \\ = \frac{2H(1 - \operatorname{ctg} \alpha \operatorname{tg} \delta_2) + a(\operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} \delta_2)}{2r_{02}} = \operatorname{const} . \end{aligned} \quad (21)$$

Получение величины начального радиус-вектора в основании r_{02} с помощью соотношений (7), (11), (13) и (17) описано при рассмотрении поверхностей скольжения, являющихся монотонной кривой.

Необходимо также отметить, что и в случае контактного оползня, захватывающего грунты основания, связь ширины оползневой призмы и величины коэффициента запаса устойчивости также может быть аппроксимирована нелинейной функцией, имеющей один минимум. Поэтому дополнительным условием прекращения перебора вариантов может служить неуменьшение коэффици-

ента запаса устойчивости при очередном приращении ширины оползневой призмы.

Естественно, что перебор возможных вариантов в ходе оценки устойчивости откосов при оползнях, захватывающих грунты основания, является достаточно тяжеловесным решением проблемы. Однако мощности современной вычислительной техники позволяют снизить трудозатраты на поиск наиболее опасной поверхности скольжения до разумных пределов. Так, при использовании программы по описанному выше алгоритму расчет устойчивости откосов для всех четырех схем не превышает 1 мин для каждого разреза. При этом перебор ширины оползневых призм в возможном диапазоне производится с шагом в 0,1 м, а при расчете устойчивости производится учет как основного, так и особого сочетания нагрузок, в том числе и сейсмических. С учетом полученных ранее положений приведем блок-схему алгоритма расчета устойчивости пологих откосов (рис. 6).

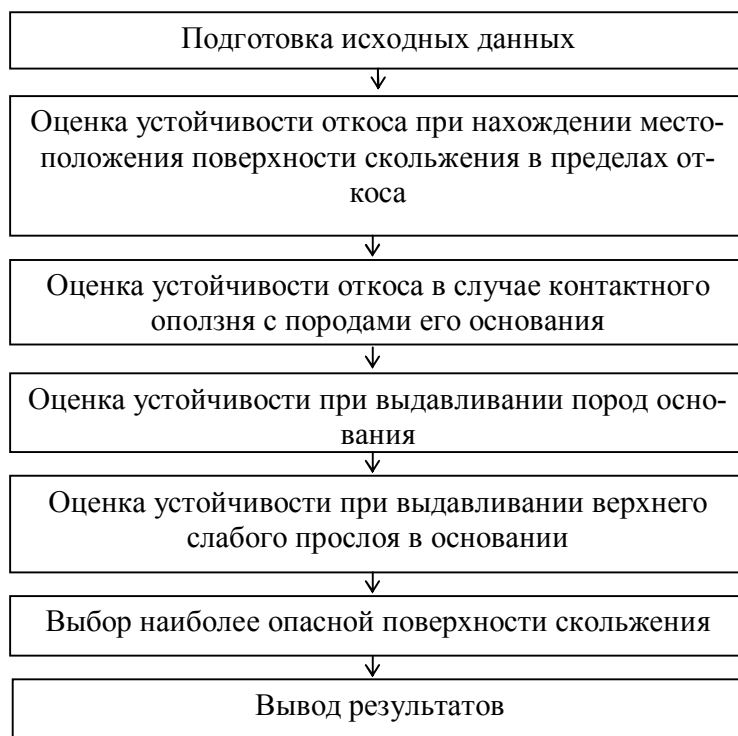


Рисунок 6 – Блок - схема алгоритма расчета устойчивости пологих откосов

В четвертой главе исследованы закономерности изменения устойчивости пологих откосов в зависимости от их высоты, заложения откоса. При этом

рассматривались только контактные оползни и изучалась зависимость устойчивости от угла откоса дамбы, ее высоты и от угла трения по контакту грунтов дамбы и основания. Полученные результаты отображены в виде графиков (рис.7).

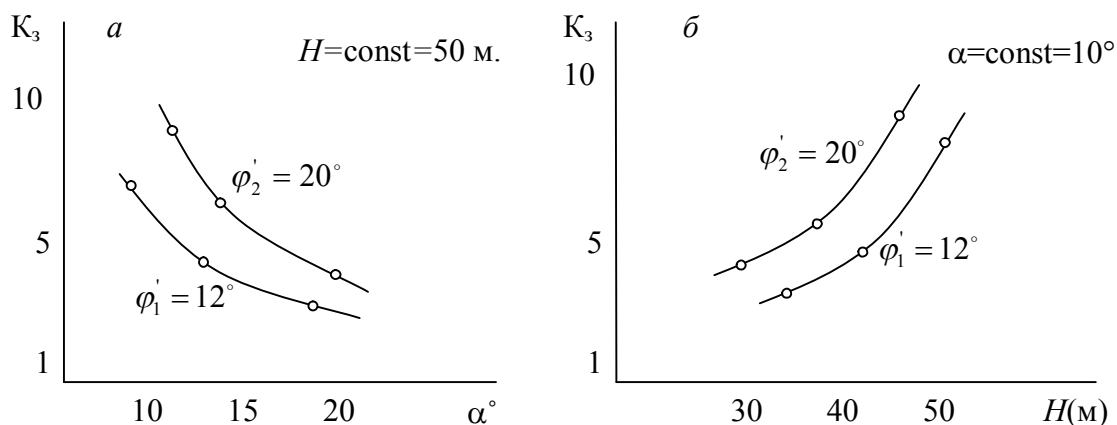


Рисунок 7 - Зависимости величины коэффициентов запаса устойчивости откосов от их угла (а) и высоты (б).

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать выводы:

- при увеличении угла откоса значение коэффициента запаса уменьшается, как это отмечается и в крутых откосах;
- при увеличении высоты пологих откосов значение коэффициента запаса возрастает за счет увеличения призмы упора.

Также приведены результаты расчетов устойчивости пологих откосов техногенных сооружений с использованием предлагаемого в данной работе программного продукта.

Проведен сравнительный анализ расчетных параметров с реально наблюдаемыми природными явлениями на действующих объектах – дамбах Качканарского ГОКа.

Заключение

В диссертационной работе в результате проведенных исследований дано решение актуальной научно-практической задачи – повышения надежности

расчета устойчивости насыпных и намывных дамб на основании различных типов.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Разработана методика поиска наиболее опасной поверхности скольжения, позволяющая оценить устойчивость грунтовых откосов, в том числе при развитии контактных оползней и оползней с выдавливанием пород основания.
2. Разработан алгоритм расчета устойчивости грунтовых откосов, позволяющий учесть как основное, так и особое (сейсмическое) сочетание нагрузок.
3. Установлена закономерность устойчивости откосов дамб при изменении высоты сооружения и угла заложения.
4. Доказано, что связь расчетных величин коэффициента устойчивости и ширины оползневой призмы описывается нелинейной функцией имеющей, единственный локальный минимум.
5. Разработана программа расчета устойчивости пологих грунтовых откосов для насыпных и намывных дамб, позволяющая повысить скорость и точность расчетов.
6. Проанализированы и выбраны способы экспресс-оценки физико-механических свойств несвязных грунтов, основанные на использовании связи гранулометрического состава, угла внутреннего трения, пористости, модуля деформации и коэффициента Пуассона.

Результаты исследований были использованы при расчете устойчивости дамб Качканарского ГОКа, а также при выборе параметров мониторинга заполнения карьера № 2 ОАО «Гайский ГОК» флотохвостами.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

Статья, опубликованная в ведущем рецензируемом научном журнале, определенном Высшей аттестационной комиссией.

1. Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Тарасов Е.Б. Методика построения поверхности скольжения при расчете устойчивости ограждающих дамб накопителей жидких промышленных отходов. // Известия вузов. Горный журнал. – 2005. - №3. С. 33-38.

Статьи, опубликованные в материалах конференций:

2. Тарасов Е.Б. Анализ методик построения кривой депрессии в теле грунтовых плотин // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», 16-21 мая, 2005 г.- Екатеринбург: Изд. АМБ, 2005.- С. 326-334.
3. Тарасов Е.Б. Современное состояние вопроса построения поверхностей скольжения в теле грунтовых плотин // Материалы международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья», 16-21 мая, 2005 г.- Екатеринбург: Изд. АМБ, 2005.- С. 334-339.
4. Зотеев В.Г., Зотеев О.В., Евсюков Г.Л., Лаптев В.М., Тарасов Е.Б. Способы подавления водопритокков в подземные горные выработки из хвостохранилищ в отработанных карьерах и зонах обрушения // Материалы международной научно-технической конференции «Комбинированная геотехнология, масштабы и перспективы применения», 24-27 мая, 2005 г. - Магнитогорск: Изд. Башкирского государственного университета, 2005. - С. 32-33.

Подписано в печать _____ 07г. Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ _____

Отпечатано с оригинал-макета в лаборатории множительной техники издательства УГГУ. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30.

Уральский государственный горный университет.