

Оценка устойчивости откоса высокой насыпи

Потеря общей устойчивости откосов насыпей и выемок является одним из наиболее распространенных видов деформаций земляного полотна автомобильных дорог.

Различают две схемы обрушения:

- если грунт земляного полотна однороден или отдельные его слои мало отличаются по прочностным показателям, смещение оползающего массива происходит по образующейся в грунте криволинейной поверхности скольжения;
- если грунт земляного полотна имеет неоднородные напластования, резко различающиеся по прочностным показателям, смещение грунтового массива может происходить по фиксированной поверхности между слоями.

Как показывают многочисленные наблюдения, откосы насыпей обрушиваются по поверхностям скольжения, близким по форме к кругло-цилиндрическим. При достаточно устойчивых грунтах основания поверхность обрушения обычно проходит через подошву откоса насыпи, а в случае слабого грунтового основания поверхность обрушения может заходить в пределы слабого слоя и распространяться за пределы подошвы откоса насыпи.

Дана насыпь высотой H метров отсыпана из грунта со следующими характеристиками:

- удельный вес грунта $\gamma_{гр}$, кН/м³;
- сцепление грунта c , МПа;
- угол внутреннего трения φ , °.

В соответствии с [1] при расчете устойчивости откосов насыпи земляного полотна в качестве временной подвижной нагрузки принимают нормативную нагрузку НК. Она представлена в виде одиночной четырехосной тележки с нагрузкой на каждую ось $18K$ (кН), где K - класс нагрузки, который для расчётов земляного полотна автомобильных дорог всех категорий принимается равным 8,3 кН. Ширина колеи нормативной нагрузки d принимается равной 2,7 м, база нормативной нагрузки D равна 3,6 м.

При расчётах устойчивости откоса временная нагрузка от транспортных средств приводится к эквивалентному слою грунта земляного полотна толщиной $H_э$, м. Её вычисляют по формуле

$$H_э = \frac{4 \cdot 18K}{(D + 0,2)(d + 0,8)\gamma_{гр}} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 8,3}{(3,6 + 0,2)(2,7 + 0,8)\gamma_{гр}} = \frac{44,93}{\gamma_{гр}}. \quad (1)$$

Эквивалентный слой грунта располагается по всей ширине земляного полотна. Вдоль земляного полотна эквивалентный слой грунта распространяется на неограниченную длину.

Рассмотрим расчётную схему [2]. На миллиметровой бумаге в масштабе 1:100 вычерчиваем конструкцию поперечного профиля насыпи. Она может иметь откос переменной крутизны, меняющейся через 6 метров по высоте или постоянной крутизны, но с устройством бERM через каждые 6 метров.

Заменяем нормативную нагрузку НК приведённым слоем грунта, толщина которого вычисляется по формуле (1).

Натурные наблюдения показали, что откосы насыпей обрушиваются по поверхностям, которые без существенных искажений могут быть приняты как круглоцилиндрические. Для проверки устойчивости откосов задаются положением ряда поверхностей скольжения и определяют коэффициенты устойчивости сползающих частей откосов насыпи. Поверхность скольжения проводят через подошву откоса, не заглубляя в подстилающий грунт, если насыпь возведена на плотном основании. Если основание под насыпью мягкое водонасыщенное и малосвязное ($\varphi < 8^\circ$), то должны быть исследованы также кривые, захватывающие основание и выходящие за подошву насыпи.

Наибольшим распространением в практике дорожных организаций пользуется метод Терцаги-Феллениуса, в котором принято, что центры кривых скольжения, соответствующих наименьшему коэффициенту устойчивости, располагаются вблизи от прямой линии AB , называемой прямой Феллениуса [3].

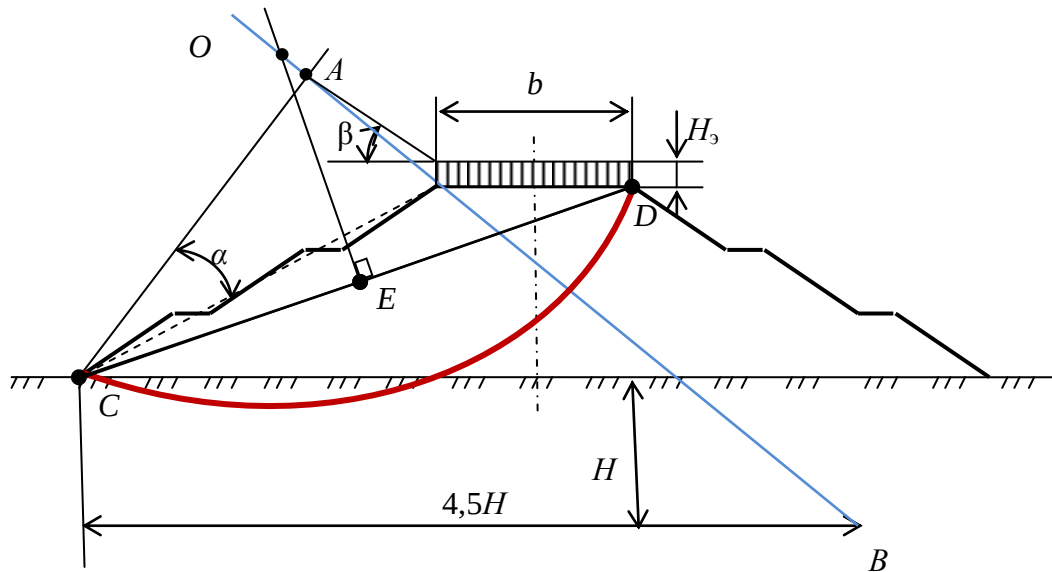


Рисунок 1 – Расчётная схема к определению центра окружности для кривой обрушения

Для определения положения точки B откладываем вниз от кромки откоса, устойчивость которого необходимо проверить, расстояние, равное высоте насыпи H , затем по горизонтали, в сторону насыпи расстояние $4,5H$.

Для определения точки A ломаный откос насыпи заменяем постоянным, соединяя бровку насыпи с кромкой её подошвы. Из нижнего конца спрямлённого откоса проводим линию под углом α , а из бровки земляного полотна - под углом β к горизонту. Величины этих углов определяются по табл. 1 в зависимости от угла наклона откоса насыпи. В пересечении этих линий получаем точку A .

Таблица 1 – Параметры α и β в зависимости от коэффициента заложения

Заложение откоса	Угол наклона откоса	α	β
1:5	$11^{\circ}19'$	25	37
1:3	$18^{\circ}26'$	25	35
1:2	$26^{\circ}34'$	25	35
1:1,5	$33^{\circ}40'$	26	35
1:1	45°	28	37
1:0,6	60°	29	40

Чтобы найти положение наиболее опасной кривой скольжения откоса намечают несколько возможных положений кривых скольжения. Например, может быть намечено семейство кривых, проходящих через подошву откоса и выходящих на поверхность земляного полотна, на расстоянии $0,25b$, $0,5b$; $0,75b$ и b от бровки насыпи. Чаще всего наименьшему значению коэффициента устойчивости соответствует центр кривой расположенный в пересечении перпендикуляра, восстановленного из середины хорды, стягивающей концы намеченной кривой скольжения, с прямой Феллениуса.

Далее рассмотрим алгоритм на примере кривой, проходящей через бровку правого откоса. Проведём хорду CD , стягивающую концы кривой скольжения, и отметим её середину – точку E . Из точки E восстановим перпендикуляр, пересечение которого с прямой AB даст центр окружности O .

Разбиваем отсечённый кривой скольжения участок земляного полотна вертикальными сечениями на ряд отсеков шириной по 3-4 м. Крайний отсек может получиться несколько меньшей ширины.

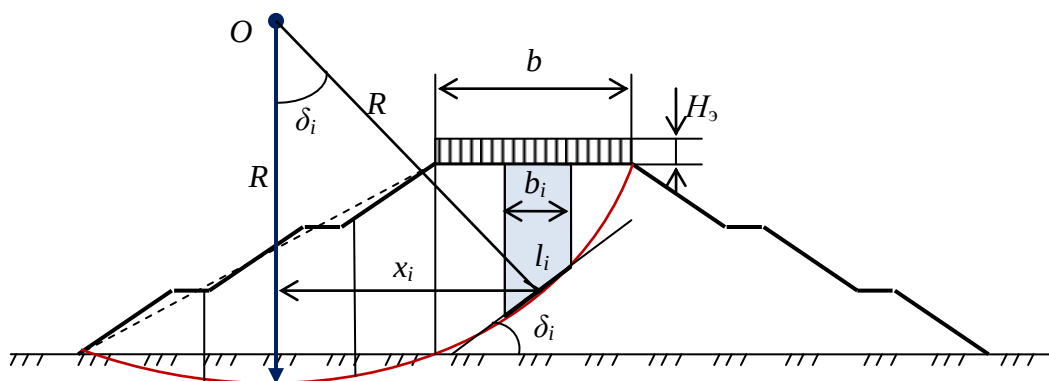


Рисунок 2 – Расчётная схема к определению параметров i -го отсека

Рассмотрим применение алгоритма к i -му отсеку. Вычисляем угол наклона отрезка кривой скольжения к вертикали в пределах i -го отсека δ_i , пользуясь соотношением

$$\sin \delta_i = \frac{x_i}{R}, \quad (1)$$

где x_i – расстояние от середины отрезка до вертикального радиуса, R – радиус кривой скольжения. Значения $\sin \delta_i$ заносим в таблицу.

Таблица 2 – Расчетная таблица

Номер отсека	x_i	$\sin \delta_i$	δ_i	$\cos \delta_i$	$\omega_i, \text{м}^2$	$l_i, \text{м}$	$Q_i, \text{кН}$	$N_i, \text{кН}$	$T_{уд,i}, \text{кН}$	$T_{сдв,i}, \text{кН}$
1										
2										
i										

В ней ω_i – площадь отсека, l_i – длина отрезка кривой скольжения, Q_i – вес отсека, N_i – нормальная к отрезку скольжения сила, $T_{уд,i}$ и $T_{сдв,i}$ удерживающие и сдвигающие отсек грунта касательные силы соответственно.

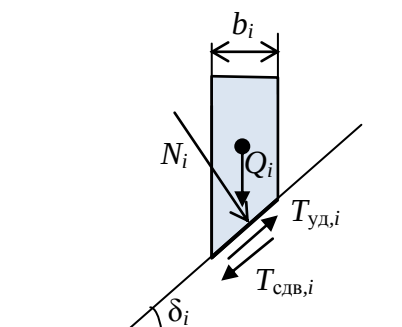


Рисунок 3 – Действующие на отсек грунта силы

Внося значения $\sin \delta_i$ в таблицу, принимаем их со знаком минус для расстояний x_i , отмеряемых влево от вертикали, и со знаком плюс – вправо.

Площадь живого сечения ω_i определяется как площадь криволинейной фигуры. Участки кривых в пределах каждого отсека заменяем прямыми отрезками. Для отсеков, на

которые действует временная нагрузка, добавляется ещё и площадь соответствующего участка эквивалентного слоя грунта.

Определяем вес каждого отсека, умножая площадь сечения на удельный вес грунта.

$$Q_i = \gamma_i \omega_i . \quad (1)$$

Длина отрезка скольжения

$$l_i = b_i \cos \delta_i , \quad (2)$$

где b_i – ширина i -го отсека.

Вычисляем нормальную к отрезку скольжения силу

$$N_i = Q_i \cdot \cos \delta_i \quad (3)$$

и касательную силу, сдвигающую отсек грунта

$$T_{сдв,i} = Q_i \cdot \sin \delta_i . \quad (4)$$

Удерживающая отсек грунта сила определяется по закону Кулона

$$T_{уд,i} = N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i . \quad (5)$$

Далее вычисляем коэффициент устойчивости по формуле

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n T_{уд,i}}{\sum_{i=1}^n T_{сдв,i}} , \quad (6)$$

где n – количество отсеков грунта и сравниваем с допустимым значением коэффициента устойчивости.

Нормативный коэффициент устойчивости определяют как [5]

$$k_n = k_1 k_2 k_3 k_4 k_5 k_m , \quad (7)$$

где k_1 – коэффициент, учитывающий степень достоверности данных о характеристиках грунтов; k_2 – коэффициент, учитывающий категорию дороги; k_3 – коэффициент, учитывающий степень ущерба для народного хозяйства в случае аварии сооружения; k_4 – коэффициент, учитывающий соответствие расчетной схемы естественным инженерно-геологическим условиям; k_5 – коэффициент, учитывающий вид грунта и его работу в сооружении; k_m – коэффициент, учитывающий особенности метода расчета.

Таблица 3 - Значения коэффициентов, определяющих нормативный коэффициент

Коэффициент	Значение	Условия
k_1	1	при большом количестве испытаний
	1,05	при испытании не менее 5 образцов грунта
	1,1	при испытании не менее 3 образцов грунта
k_2	1,03	для дорог I и II категорий
	1	для дорог III V категорий
k_3	1,2	если разрушение представляет опасность для движения, либо вызывает перерыв движения более чем на сутки
	1	если нарушение устойчивости вызывает снижение скоростей движения или нарушает работу водоотводных устройств
k_4	1,05	если расчет ведется методом попыток
	1	плоскость ослабления грунтового массива ясно выражена и грунт однороден
k_5	1,03	для песчаных грунтов
	1,05	для глинистых грунтов
k_m	1	При расчетах устойчивости откосов методом Терцаги-Крея и Шахунянца
	0,8	При расчетах устойчивости откосов методом Маслова-Берера

В этом случае нормативный коэффициент может меняться в пределах от 1 до 1,5.

Для каждой кривой определяют коэффициент устойчивости. Для нахождения центра наиболее опасной кривой скольжения, используя линию AB как ось абсцисс,

строят вспомогательный график коэффициентов устойчивости, откладывая их значения из центра кривых скольжения. Соединяя полученные точки плавной кривой, находят минимальное значение коэффициента устойчивости $K_{y,min}$.

Список источников

1. ГОСТ Р 52748–2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения. М.: Стандартинформ, 2008. 11 с.
2. Автомобильные дороги (примеры проектирования): учеб. пособие для вузов / под ред. В.С. Порожнякова. М.: Транспорт, 1983. 303 с.
3. Бабков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. Ч.1. учебн. для вузов М.: Транспорт, 368 с.
4. Берлинов М.В. Основания и фундаменты: учеб. для строит. спец. вузов. М.: Высшая шк., 1999. 319 с.
5. Федотов Г.А., Пospelов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.:Высш. шк., 2009. 646 с.