

7.2 ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА НАСЫПИ

Материал излагается по учебному пособию: «Проектирование автомобильных дорог. Основы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Жуков В.И., Гавриленко Т.В. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с. [1].

В соответствии с рекомендациями СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги [2], при проектировании насыпей высотой до 12 м и выемок глубиной до 12 м следует применять типовые решения (см. п. 5.1). При высоте насыпи или глубине выемки более 12 м необходимо прибегать к индивидуальному проектированию, т.е. требуется оценить устойчивость предлагаемой конструкции земляного полотна.

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

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

Ниже приведен алгоритм расчета высокой насыпи с учетом временной нагрузки, вида грунтов и категории дороги.

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

- удельный вес грунта $\gamma_{гр}$, кН/м³;

- сцепление грунта c , МПа;
- угол внутреннего трения грунта φ , °.

В соответствии с [4, п. 5.2.1] 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_3 , м. Её вычисляют по формуле

$$H_3 = \frac{4 \cdot 18K}{(D + 0,2)(d + 0,8)\gamma_{гр}} = \frac{4 \cdot 18 \cdot 8,3}{(3,6 + 0,2)(2,7 + 0,8)\gamma_{гр}} = \frac{44,93}{\gamma_{гр}} \quad (7.2.1)$$

Эквивалентный слой грунта располагается по всей ширине земляного полотна [1], рис. 7.2.1. Вдоль земляного полотна эквивалентный слой грунта распространяется на неограниченную длину.

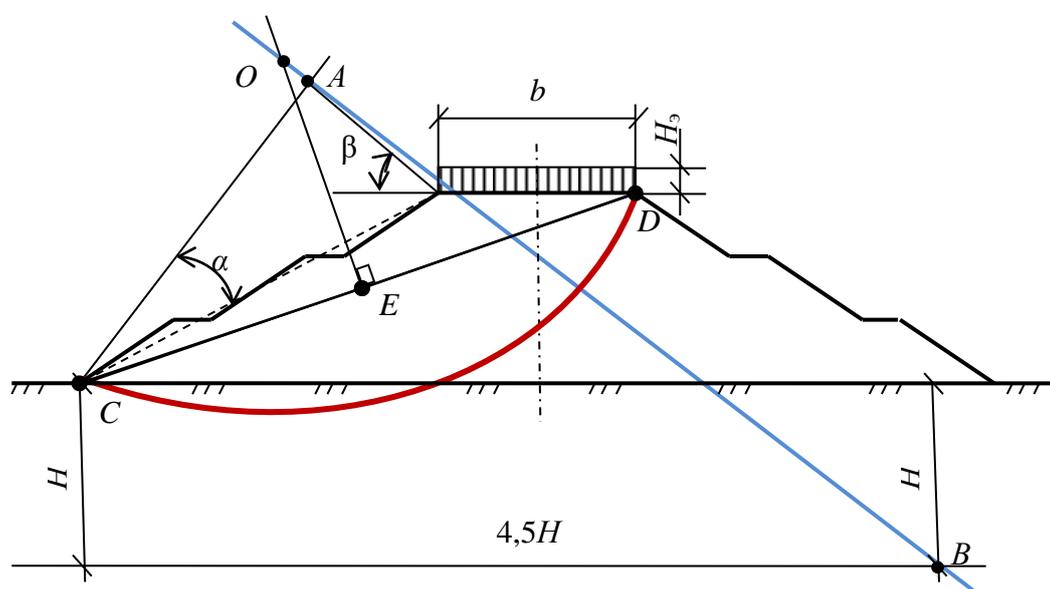


Рисунок 7.2.1 – Расчётная схема к определению центра окружности для кривой обрушения

Расчет ведут в такой последовательности [1,3]. На миллиметровой бумаге в масштабе 1:100 (или 1:50) вычерчивают поперечный профиль насыпи (рис. 7.2.1). Она может иметь откос переменной крутизны,

меняющейся через 6 метров по высоте или постоянной крутизны, но с устройством берм через каждые 6 метров. Ширина берм принимается равной 2-3 м.

Заменяют нормативную нагрузку НК приведённым слоем грунта, толщина которого вычисляется по формуле (7.2.1).

Для определения положения точки B откладывают 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 заменяют постоянным, соединяя бровку насыпи с кромкой её подошвы. Из нижнего конца спрямлённого откоса проводят линию под углом α , а из бровки земляного полотна – под углом β к горизонту. Величины этих углов определяют по табл. 7.2.1 в зависимости от угла наклона откоса насыпи. В пересечении этих линий получают точку A .

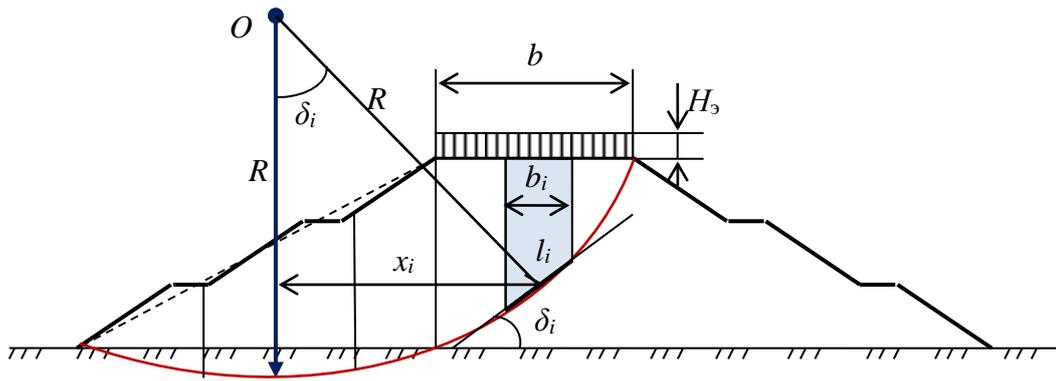
Таблица 7.2.1 – Параметры α и β в зависимости от коэффициента заложения

Заложение откоса	Угол наклона откоса	α	β
1:5	11°19'	25	37
1:3	18°26'	25	35
1:2	26°34'	25	35
1:1,5	33°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 7.2.2 – 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

$$\sin \delta_i = \frac{x_i}{R}, \quad (7.2.2)$$

где x_i – расстояние от середины отрезка до вертикального радиуса, R – радиус кривой скольжения. Значения $\sin \delta_i$ заносим в таблицу (см. табл. 7.2.2).

Таблица 7.2.2 – 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.

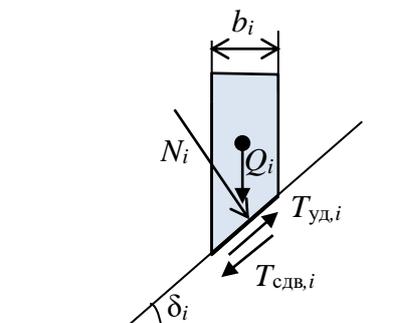


Рисунок 7.2.3 – Действующие на отсек грунта силы

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.

$$Q_i = \gamma_i \omega_i . \quad (7.2.3)$$

Длина отрезка скольжения

$$l_i = \frac{b_i}{\cos \delta_i} , \quad (7.2.4)$$

где b_i – ширина i -го отсека.

Вычисляют нормальную к отрезку скольжения силу

$$N_i = Q_i \cdot \cos \delta_i \quad (7.2.5)$$

и касательную силу, сдвигающую отсек грунта

$$T_{\text{сдв},i} = Q_i \cdot \sin \delta_i . \quad (7.2.6)$$

Удерживающую отсек грунта сила определяют по закону Кулона

$$T_{\text{уд},i} = N_i \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l_i . \quad (7.2.7)$$

Далее вычисляют коэффициент устойчивости по формуле

$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{уд},i}}{\sum_{i=1}^n T_{\text{сдв},i}} , \quad (7.2.8)$$

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

Нормативный коэффициент устойчивости определяют, как [5]:

$$k_n = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_m , \quad (7.2.9)$$

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. Коэффициенты принимают по табл. 7.2.3.

Таблица 7.2.3 - Значения коэффициентов, определяющих нормативный коэффициент

Коэффициент	Значение	Условия применения
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

Нормативный коэффициент может меняться в пределах от 1 до 1,5 [5,6].

Для каждой кривой определяют коэффициент устойчивости. Чтобы найти центр наиболее опасной кривой скольжения, используют 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. Проектирование автомобильных дорог. Основы [Электронный ресурс]: учебное пособие / Жуков В.И., Гавриленко Т.В. – Красноярск: Сиб. Федер. ун-т, 2014. – 144 с.
2. СП 34.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 2.05.02-85* / Мин-во регионального развития Российской Федерации. – М., 2013. – 139 с.
3. Автомобильные дороги (примеры проектирования): учеб. пособие для вузов / под ред. В.С. Порожнякова. М.: Транспорт, 1983. – 303 с.

4. ГОСТ Р 52748–2007 Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчётные схемы нагружения и габариты приближения. М.: Стандартиформ, 2008. – 11 с.
5. Федотов Г.А., Поспелов П.И. Изыскания и проектирование автомобильных дорог. В 2 кн. Кн.1: Учебник. – М.: Высш. шк., 2009. – 646 с.
6. Берлинов М.В. Основания и фундаменты: учеб. для строит. спец. вузов. М.: Высшая шк., 1999. – 319 с.