

«Железнодорожный путь»

курс лекций для студентов 3 курса 2

семестра

специальности

«Строительство железных дорог, мостов и
транспортных тоннелей»

**Лекция 6 Устойчивость откосов земляного
полотна. Расчет коэффициента устойчивости
земляного полотна.**

Расчеты устойчивости откосов и склонов

- Оценка устойчивости откосов и склонов выполняется с помощью инженерных методов.
- Откосы это искусственные, а склоны – естественные наклонные поверхности.
- Устойчивость откоса или склона количественно оценивается коэффициентом устойчивости k .
- **В общем виде k представляет собой отношение факторов, сопротивляющихся смещению, к факторам, его вызывающим.**
- Расчеты устойчивости производят при проектировании земляного полотна или противодеформационных мероприятий.
- **Оценка устойчивости выполняется из условия равновесия массива смещающегося грунта (блока возможного смещения) с некоторым запасом, который и является коэффициентом устойчивости k .**

Модель для расчета устойчивости

(предпосылки и допущения)

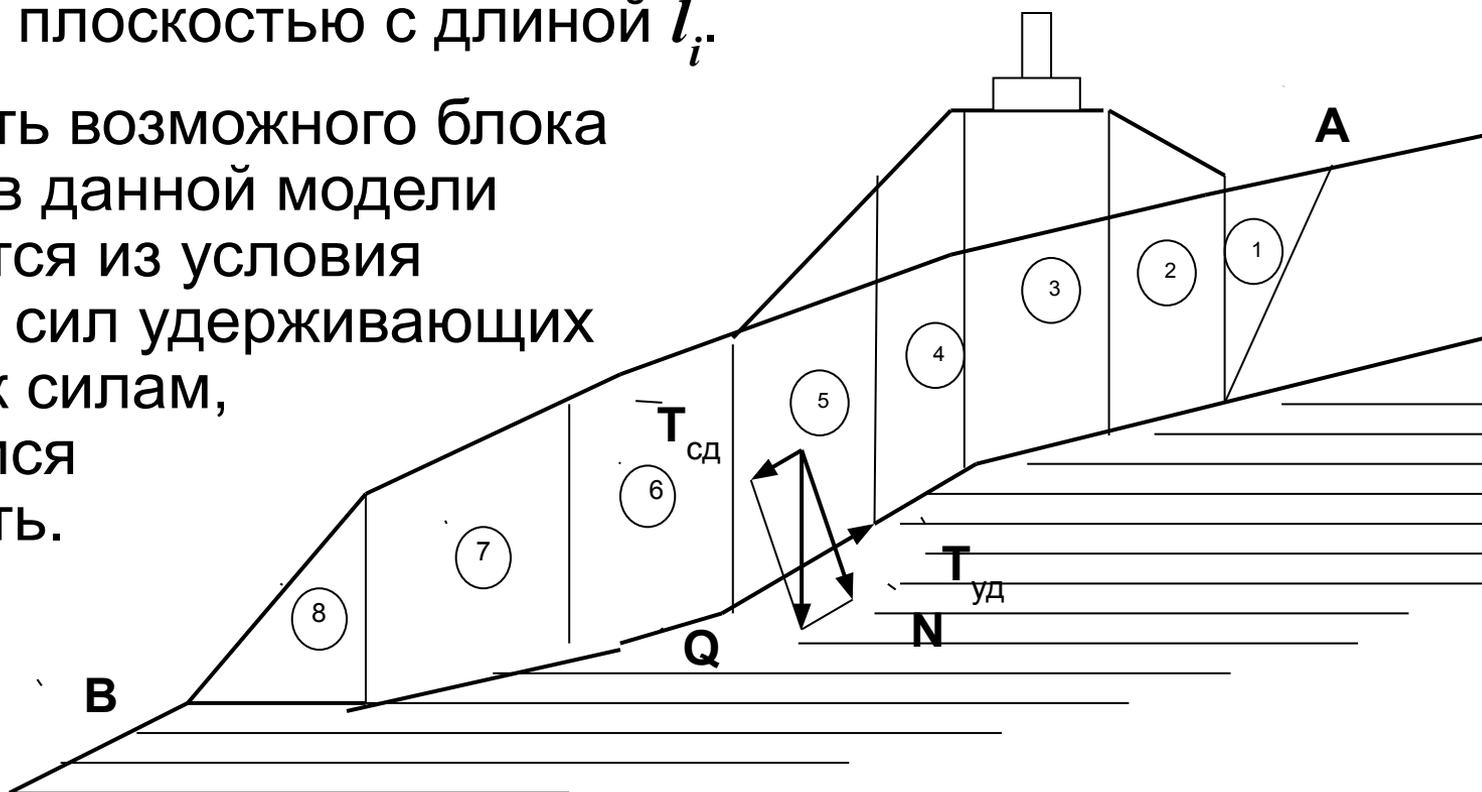
- 1) Задача, исходя из линейности земляного полотна, решается как плоская, в двухмерной постановке.
- 2) Все формы поверхностей возможного смещения в расчетных схемах сводятся к трем основным:
 - а) произвольной формы, определяемой литологическим строением (**предопределённая поверхность**) - наиболее общая модель и применяется для оценки устойчивости на оползневых склонах;
 - б) **круговая кривая (круглоцилиндрическая)** - принимается при расчете устойчивости откосов, из глинистых грунтов, имеющих силы сцепления;
 - в) **линейная (плоская)** - возникает в сыпучих грунтах.
- 3) Предполагается, что массив смещающегося грунта при деформации перемещается как единое целое, без разделения на части и образования трещин (гипотеза «затвердевшего клина»).
- 4) Внешние нагрузки от веса ВСП $p_{вс}$ и подвижного состава $p_{п}$ заменяются фиктивными столбами грунта расчетного удельного веса γ высотой .

$$z_{вс} = \frac{p_{вс}}{\gamma} \quad \text{и} \quad z_{п} = \frac{p_{п}}{\gamma}$$

Общий случай расчета устойчивости (модель проф. Шахунянца)

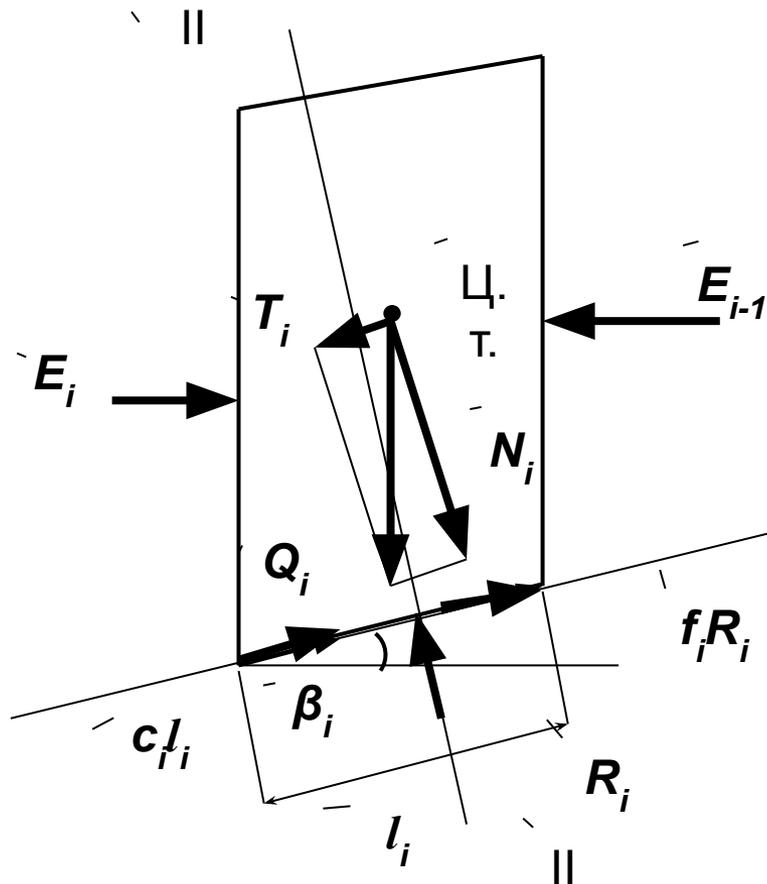
- Массив грунта блока смещения с внешними нагрузками условно вертикальными плоскостями делится на отдельные части (отсеки) так, чтобы в пределах отсека поверхность возможного смещения можно было бы заменить плоскостью с длиной l_i .

Устойчивость возможного блока смещения в данной модели определяется из условия равновесия сил удерживающих от сдвига к силам, стремящимся его сдвинуть.



Равновесие одного i -го отсека блока смещения.

Схема действующих на отсек внешних и внутренних сил



Q_i – сила веса i -го отсека (с учетом внешней нагрузки); в простейшем случае $Q_i = \omega_i \cdot 1 \cdot \gamma_i$ (1)

где ω_i и γ_i – площадь и удельный вес грунта i -го отсека; сила веса Q_i раскладывается на две силы: нормальную N_i и тангенциальную T_i к плоскости основания отсека

$$N_i = Q_i \cos \beta_i; T_i = Q_i \sin \beta_i \quad (2)$$

где β_i – угол наклона основания i -го отсека к горизонту; E_{i-1} и E_i – силы, заменяющие действие на i -й отсек соответственно вышележащей и нижележащей части массива блока смещения;

R_i – нормальная реакция основания; $c_i l_i$ – сила сцепления (c_i – удельное сцепление грунта основания отсека, l_i – длина основания отсека), $f_i R_i$ – сила внутреннего трения (f_i – коэффициент внутреннего трения, $f_i = \operatorname{tg} \phi_i$, ϕ_i – угол внутреннего трения грунта).

Уравнения равновесия в схеме Шахунянца

Уравнения предельного равновесия отсека: равенство нулю сумм проекций всех сил на поверхность возможного смещения I-I и на нормаль к ней II-II

$$\bullet T_i = c_i l_i + f_i R_i + (E_i - E_{i-1}) \cos \beta_i \quad (3.1);$$

$$\bullet N_i = R_i - (E_i - E_{i-1}) \sin \beta_i \quad (3.2).$$

Выразив R_i во втором уравнении и подставив его в первое, после несложных преобразований можно получить

$$\bullet T_i = c_i l_i + f_i N_i + (E_i - E_{i-1}) \frac{\cos(\beta_i - \varphi_i)}{\cos \varphi_i} \quad (4)$$

Данное уравнение является условием предельного равновесия отсека, а для того, чтобы имело место устойчивое равновесие, необходимо, чтобы правая часть уравнения, представляющая собой сумму удерживающих сил, была бы в k раз больше левой его части – сдвигающей силы T_i .

Поэтому в условии предельного равновесия (4) необходимо увеличить сдвигающую силу T_i в k раз и тогда

$$\bullet k T_i = c_i l_i + f_i N_i + (E_i - E_{i-1}) \frac{\cos(\beta_i - \varphi_i)}{\cos \varphi_i} \quad (5)$$

Уравнения равновесия в схеме Шахунянца (продолжение)

Уравнение (5) является условием устойчивого равновесия для i -го отсека блока смещения. В нем неизвестна сила E_i . Сила E_{i-1} определяется из равновесия предыдущего блока. Эта сила называется оползневой и находится из уравнения устойчивого равновесия

- $$E_i = (k T_i - c_i l_i - f_i N_i) \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)} + E_{i-1} \quad (6)$$

Величина силы для последнего отсека получается, если записать уравнения последовательно для всех отсеков, с подстановкой значения E_{i-1} из предыдущего уравнения и считая, что $E_0 = 0$

- $$E_n = \sum_{i=1}^{i=n} (k T_i - c_i l_i - f_i N_i) \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)} \quad (7)$$

Если откос свободный, то $E_n = 0$ и тогда искомый коэффициент устойчивости определяется из уравнения (7)

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c_i l_i + f_i N_i + T_{y\partial-i}) \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)}}{\sum_{i=1}^{i=n} T_{c\partial-i} \frac{\cos \varphi_i}{\cos(\beta_i - \varphi_i)}} \quad (8)$$

Нормативные коэффициенты устойчивости

Полученное в расчетах устойчивости минимальное значение коэффициента k_{min} сравнивается с допускаемым значением $[k]$, нормирование которого производится в СП 238.132600.2015

$$[k] = \frac{\gamma_n \gamma_{fc}}{\gamma_c}$$

где γ_n – коэффициент надёжности по назначению сооружения (коэффициент ответственности сооружения); для линий: скоростных и особогрузонапряженных $\gamma_n = 1,25$, для I и II категорий – $\gamma_n = 1,20$, для III категорий – $\gamma_n = 1,15$, для IV категорий – $\gamma_n = 1,10$;

γ_{fc} – коэффициент сочетания нагрузок; при основном сочетании $\gamma_{fc} = 1,00$, при особом (сейсмика) – $\gamma_{fc} = 0,90$, для строительного периода – $\gamma_{fc} = 0,95$;

γ_c – коэффициент условий работы; при использовании методов расчета, удовлетворяющих условиям равновесия, $\gamma_c = 1,00$, при использовании упрощенных методов – $\gamma_c = 0,95$.