

УДК 624.131.51

О.А.РУБАН, канд. техн. наук

Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им.В.Лазаряна

К.В.БАТАШЕВА, Ю.Б.БАЛАШОВА, кандидаты техн. наук

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры, г.Днепропетровск

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ НА ДЕФОРМИРУЕМОМ ОСНОВАНИИ С УЧЕТОМ ИНЕРЦИОННОСТИ ГРУНТОВЫХ МАСС

Приводится методика расчета устойчивости грунтовых сооружений, находящихся на деформируемом основании. Рассматривается вопрос об определении поверхности скольжения вариационным методом. Определяется коэффициент устойчивости в зависимости от приращения скорости деформации основания.

Экономичность строительных конструкций в значительной степени зависит от адекватности расчетных схем и методик расчета при проектировании. Поэтому ресурсосбережение при строительстве грунтовых сооружений может быть осуществлено на стадии проектных разработок. При эксплуатации земляных сооружений в районах деформирования оснований возникают дополнительные трудности, вызванные сдвигами земной поверхности. Как правило, эти сдвиги изменяют проектное положение как в плане, так и в профиле. Критерием эксплуатационной оценки состояния сооружения, находящегося на деформированном основании, является коэффициент устойчивости [1].

Деформации основания вызывают перемещения грунтовых массивов. При этом происходит изменение геометрических параметров и величин инерционных нагрузок от передвижения грунтового массива. Устойчивость однородного грунтового массива, находящегося на деформированном основании, оценивается коэффициентом устойчивости $K_{уст}$ [2]:

$$K_{уст} = \frac{M_{уд}}{M_{сдв}}, \quad (1)$$

где $M_{уд}$ – удерживающее откос обобщенное усилие от сдвига;

$M_{сдв}$ – сдвигающее усилие, стремящееся сдвинуть откос.

Существование инерционной нагрузки в земляном сооружении может быть учтено при расчете устойчивости откосов [3], которые находятся в зоне деформирования основания. Величина дополнительных усилий от инерционной нагрузки в значительной степени зависит

от приращения скорости перемещения основания. Вследствие этого для обеспечения устойчивости земляных сооружений необходимо учитывать влияние фактора инерционной нагрузки.

Решение задачи устойчивости грунтовых сооружений на деформируемом основании сводится к отысканию поверхности скольжения, соответствующей предельному состоянию грунтового массива, и определению коэффициента устойчивости с учетом инерционных воздействий. При этом на грунтовое сооружение действует сила инерции от собственного веса, которая при соизмеримых ортогональных деформациях основания может быть определена как

$$I_{cp} = m_{cp} \sqrt{w_G^2 + w_B^2}, \quad (2)$$

где m_{cp} – масса грунтового массива; w_G, w_B – ускорение грунтового массива, вызванное горизонтальным и вертикальным смещением основания, может быть определено по геодезическим наблюдениям мониторинговых участков (рис.1).

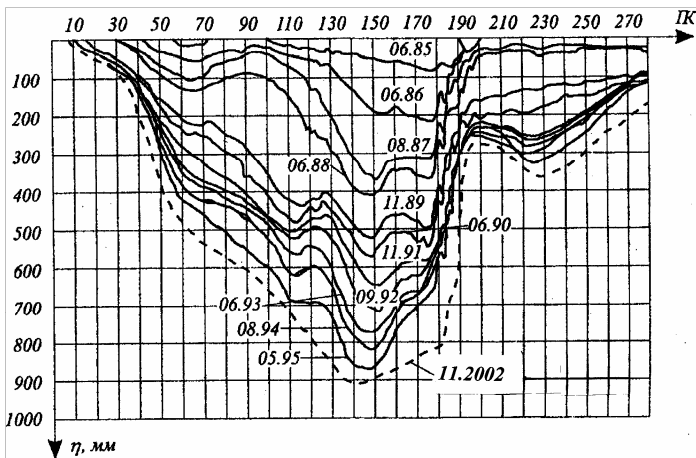


Рис.1 – Расчетные и реальные перемещения η деформированной поверхности в результате подработок участка железной дороги ПК 10 ... 280 в период 1985-2002 гг.

Рассмотрим расчетную схему, когда действует ортогональная сила от инерционной нагрузки I_{cp_i} . Распределим эту силу равномерно по линии скольжения. Тогда силы от инерционной нагрузки перемещения основания, которые приходятся на элемент ds , будут равны

$$I_{2p_i} = \frac{I_{2p}}{l}, \quad (3)$$

где l – длина поверхности скольжения.

Грунтовой массив принимается абсолютно жестким, поэтому силу инерции, которая приходится на один блок и расположена под углом β к горизонту, перенесем в центр линии скольжения элемента ds (рис.2).

Величину угла наклона β к горизонту силы инерции I_{2p_i} определяем как

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\varepsilon_{\Gamma}}{\varepsilon_B}, \text{ а } \beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{\varepsilon_{\Gamma}}{\varepsilon_B} \right), \quad (4)$$

где $\varepsilon_{\Gamma}, \varepsilon_B$ – соответственно горизонтальная и вертикальная составляющие полной деформации основания.

Рассмотрим расчетную схему в случае ортогонального действия нагрузки от инерционной силы (рис. 2).

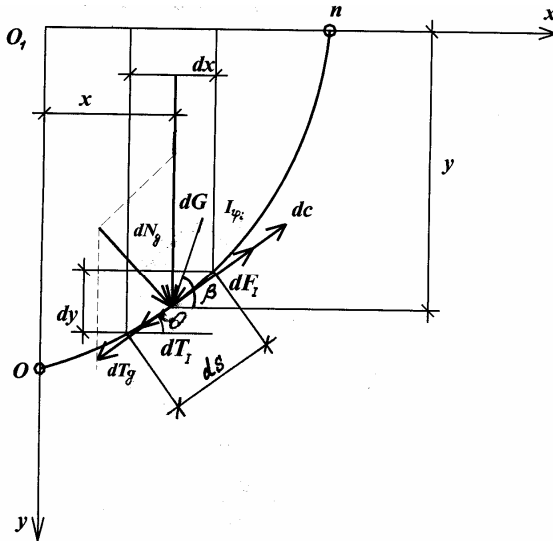


Рис.2 – Расчетная схема откоса в случае действия произвольно расположенной на плоскости инерционной нагрузки

В случае, когда $\varphi \neq 0, c \neq 0, w \neq 0$, функционал устойчивости откоса по кривой скольжения $y = y(x)$ примем в виде

$$R = \int_{x_0}^{x_n} (F - \Phi) dx, \quad (5)$$

где F и Φ – функции, которые соответственно определяют удерживающие и сдвигающие усилия по кривой скольжения.

Для отыскания уравнения поверхности скольжения целесообразно рассмотреть случай, когда грунтовый массив находится в состоянии предельного равновесия. При этом функционал $R=0$.

Функции F , Φ описываются в соответствии с расчетной схемой в следующем виде:

$$F = \frac{d(c + F_g + F_w)}{dx} = c\sqrt{1 + y'^2} + \frac{\gamma \cdot y \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{1 + y'^2}} + I_{zp_i} \cos \beta \frac{y' \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{1 + y'^2}} + I_{zp_i} \sin \beta \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\sqrt{1 + y'^2}}; \quad (6)$$

$$\Phi = \frac{d(T_g + T_w)}{dx} = \frac{\gamma \cdot y \cdot y'}{\sqrt{1 + y'^2}} + \frac{I_{zp_i} \sin \beta}{\sqrt{1 + y'^2}} + \frac{y' I_{zp_i} \cos \beta}{\sqrt{1 + y'^2}}. \quad (7)$$

Учитывая приведенные выше соображения, функционал устойчивости вертикального откоса по кривой скольжения $y = y(x)$ примет вид

$$R = \int_{x_0}^{x_n} \left[\frac{\gamma \cdot y \cdot \operatorname{tg} \varphi + I_{zp_i} (y' \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos \beta + \operatorname{tg} \varphi \cdot \sin \beta - \sin \beta - y' \cdot \cos \beta) - \gamma \cdot y \cdot y'}{\sqrt{1 + y'^2}} + c\sqrt{1 + y'^2} \right] dx. \quad (8)$$

Уравнение экстремалей для функционала R можно представить в виде уравнения Л.Эйлера, решение которого дает возможность определить коэффициент устойчивости и поверхность скольжения.

Имеем первый интеграл уравнения экстремалей в общем случае, когда $c \neq 0$, $\varphi \neq 0$, в виде

$$[c(1 + y'^2)^2 + (1 + y'^2) \cdot (\gamma \cdot y \cdot \operatorname{tg} \varphi + I_{zp_i} \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot y' + I_{zp_i} \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi - \gamma \cdot y \cdot y' - I_{zp_i} \sin \beta - I_{zp_i} \cos \beta \cdot y' - y'^2 c) + I_{zp_i} \cos \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot y' (1 + y'^2)]^2.$$

$$\begin{aligned} & \cdot (y''(1+y'^2) - y'^2) - y'^2 I_{ep_i} \sin \beta \cdot tg \varphi + tg \varphi \cdot \gamma \cdot y \cdot y'^2 - \gamma \cdot y \cdot y'(1+y'^2)^2 \cdot \\ & \cdot (y''(1+y'^2) - y'^2) + y'^2 I_{ep_i} \sin \beta - I_{ep_i} \cos \beta \cdot y'(1+y'^2)^2 (y''(1+y'^2) - \\ & - y'^2) \Big|_{x=x_n} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Решение дифференциального уравнения (9) удобнее проводить в численном виде. Для этого следует сначала подставить в него значения постоянных γ, c, φ, w , соответствующих конкретному рассматриваемому случаю вертикального откоса, а далее решить уравнение численным методом, который обеспечивает достаточную точность результатов.

Для данного случая коэффициент устойчивости может быть получен в виде

$$K_{уст} = \frac{\int_{x_0}^{x_n} (c\sqrt{1+y'^2} + \frac{\gamma \cdot y \cdot tg \varphi}{\sqrt{1+y'^2}} + I_{ep_i} \cos \beta \frac{y' \cdot tg \varphi}{\sqrt{1+y'^2}} + I_{ep_i} \sin \beta \frac{tg \varphi}{\sqrt{1+y'^2}}) dx}{\int_{x_0}^{x_n} (\frac{\gamma \cdot y \cdot y'}{\sqrt{1+y'^2}} + \frac{I_{ep_i} \sin \beta}{\sqrt{1+y'^2}} + \frac{I_{ep_i} y' \cos \beta}{\sqrt{1+y'^2}}) dx}. \quad (10)$$

Выводы

1. Предлагаемая методика расчета устойчивости откосов и склонов земляных сооружений, которые находятся в зоне сдвижения земной поверхности, позволяет оценить влияние инерционных сил на коэффициент устойчивости и дает возможность определить уравнение поверхности скольжения с учетом изменения скорости при ортогональном деформировании основания.

2. Мониторинг проблемных участков оптическими способами измерения деформаций поверхности в любой промежуток времени дает возможность мобильно реагировать в случае смещения земной поверхности на подработках или в других случаях деформаций основания, обеспечивая при этом достаточный запас устойчивости земляных сооружений.

1.Справочник по механике и динамике грунтов / Швец В.Б., Гинзбург Л.К., Гольдштейн В.М. и др. / Под ред. Швеца В.Б. – К.: Будівельник, 1987. – 232 с.

2.Гольдштейн М.Н., Царьков А.А., Черкасов И.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.

3.Рубан О.А., Балашова Ю.Б. Математическое моделирование процесса деформирования грунтовых массивов, вызванного ведением горных работ // Будівництво: Зб. наук. праць. Вип. 6. – Дніпропетровськ: Нова ідеологія, 1999. – С. 62-68.

Получено 07.02.2003