

Давление грунтов на объекты на неустойчивом склоне

Турчек П.
(СТУ)

1. Введение

В связи с планируемой застройкой микрорайона в Братиславе на склоне, большая часть покровных слоев которого представлена лёссовыми грунтами мощностью до 10,5 м с просадочностью более 3%, возникла проблема определения давления грунта на временные и постоянные конструкции. Изучаемую территорию разделили на полосы с примерно одинаковыми геотехническими характеристиками, уклоном поверхности и толщинами покровных слоев. Такая районизация предназначалась для проектирования фундаментных конструкций, откосных выемок и врезок, ограждающих и подпорных стен.

На ответственных стесненных были предусмотрены подпорные стены, размеры которых потребовалось определить исходя из обеспечения их устойчивости при действующих нагрузках.

2. Теоретические предпосылки

Для подсчета нагрузок на подпорные стены использовался метод Брандла (1979), который оправдал себя на оползневых территориях. Его расчетная схема представлена на рис.1. Принимаются во внимание наклоны дневной поверхности и основания, по которому происходит сползание покровных слоев.

Действительная поверхность сдвига АВ преимущественно цилиндрического очертания заменяется плоским отсеком А'В, который загружен вышележащим слоем переменной мощности. В клине А'ВС можно выделить первичную сдвигаемую поверхность МС, наклоненную под углом ν к горизонту. Клин грунта МВС загружает опорную конструкцию максимальным давлением грунта. Его значение можно установить обычными приемами, используемыми в теории давления грунтов. В качестве поверхностной нагрузки выступает также вес тела МНВ. В самом общем случае результирующая сила давления грунта S будет равна

$$S = \gamma h^2 \operatorname{tg} \beta / 2 \operatorname{tg}^2 \nu \cos \delta [1 / (\operatorname{ctg} \varphi - \operatorname{tg} \delta) + (1 + \operatorname{tg} \nu / \operatorname{tg} \varphi) : (\operatorname{tg} \delta + \operatorname{ctg}(\nu - \varphi))], \quad (1)$$

где

γ — удельный вес грунта,

β — наклон дневной поверхности,

ω — наклон скального подстилающего слоя или устойчивого основания,

ν — наклон первичной поверхности сдвига,

δ — угол трения грунта по конструкции,

ϕ — угол внутреннего трения грунта,

h — высота конструкции.

Отклонение конструкции от вертикали α , угол трения грунта по конструкции δ и наклон дневной поверхности β представлены на рис.1в.

При расчете предполагается, что наклон устойчивого несущего слоя ω , по которому бы сдвигались вышерасположенные слои, меньше чем у первичной поверхности сдвига ν . Выражение (1) можно привести к известному виду

$$S = \gamma h^2 K / 2. \quad (2)$$

В случае горизонтальной дневной поверхности решение упрощается. Давление грунта S редуцируется на активное S_a , рассчитываемое обычным способом. Особый случай может произойти, если поверхность грунта параллельна плоскости сдвига с углом, равным углу внутреннего трения. Тогда коэффициент давления грунта K в уравнении (2) приобретет вид

$$K = 1 / (\cos \delta - \operatorname{tg} \phi \sin \delta) \quad (3)$$

Если пренебречь углом трения грунта по конструкции ($\delta = 0$), то

получим $K=1$ и вследствие этого $S = 0,5\gamma h^2$. Получается при этом значительное увеличение давления грунта, которое больше давления покоя.

Остается еще определить наклон первичной поверхности сдвига. Если представить свободное деформирование в горизонтальном направлении, то в клине МВС, ограниченном подпорной стеной, первичной поверхностью сдвига и горизонтальной поверхностью на уровне верха свай, возникнет активное давление грунта. Наклон поверхности сдвига при этом составит

$$\nu = \phi + \varepsilon; \quad (4)$$

где угол ε определяется из соотношения

$$\operatorname{ctg} \varepsilon = \operatorname{tg}(\phi - \alpha) + \frac{[1 / \cos(\phi - \alpha)] \cdot \sqrt{\sin(\phi + \delta) \cos(\alpha - \beta) / \sin(\phi - \beta) \cos(\alpha + \beta)}}{\quad} \quad (5)$$

где α – угол отклонения конструкции от вертикали. Для $\alpha = \beta = \delta = 0$ получим

$$v = 45^\circ - \varphi / 2, \quad (6)$$

что является обычно принимаемым наклоном поверхности сдвига.

3. Результаты решения

В изучаемых условиях поверхность сдвига была предопределена по слою неогена. Изменение граничных условий, из которых наибольшее влияние имеют угол внутреннего трения и наклон дневной поверхности, способствовало большому разбросу результатов. Откос был разделен на три зоны. Для средней наиболее крутой части результаты расчетов показали, что при учете возможного смещения покровных слоев по заранее заданной поверхности сдвига можно ожидать давление грунта на конструкцию больше чем в покое. При активизации перемещений значение активного давления грунта, определяемое обычными методами, существенно повышается вследствие догрузки вышележащими слоями грунтов. В табл.1 для примера приведены результаты, полученные при комбинации неблагоприятных факторов, одновременное влияние которых нельзя исключить. Вычисления произведены для реального наклона откоса в 21° с учетом определенных в лаборатории прочностных параметров $\varphi = 13^\circ$, $c = 25$ кПа, $\gamma = 20$ кН/м³. Кроме этого принята во внимание ожидаемая повышенная прочность грунта, представленная углом внутреннего трения $\varphi = 15^\circ$. Локальная неоднородность среды выразилась в разбросе удельного веса грунта в интервале $17 \leq \gamma \leq 21$ кН/м³.

Таблица 1

Давления грунта в средней части откоса (S, кН/м)

h, м	$\varphi = 13$			$\varphi = 15$		
	удельный вес грунта γ , кН/м ³					
	17	20	21	17	20	21
2	41,0	48,3	50,7	33,8	39,8	41,8
3	92,3	108,6	114,1	76,1	89,5	94,0
4	164,2	193,1	202,8	135,3	159,2	167,1
5	256,5	301,8	316,9	211,4	248,7	261,2
6	369,4	434,5	456,3	304,4	358,2	376,1

Давление грунта растет в четвертой степени от высоты конструкции h . Наглядно это видно на рис.2. В то же время оно изменяется непропорционально от угла внутреннего трения грунта, при увеличении которого на 2° давление падает приблизительно на 20%.

Из дальнейшего анализа вытекает, что в верхней и нижней более пологих частях откоса будут возникать наиболее неблагоприятные значения давления грунтов в покое. В табл.2 приведены расчетные давления грунта для верхней части откоса, состоящей из лёссовых седиментов ($\varphi = 28^\circ$, $c=0,01$ Мпа, $\gamma = 18$ кН/м³, $\beta = 11,5^\circ$), а в нижней его части – преимущественно из глин ($\varphi = 7^\circ$, $c=0,05$ Мпа, $\gamma = 18$ кН/м³, $\beta = 12^\circ$). На рис.3 эти данные сопоставлены со значениями активного давления грунта для тех же исходных характеристик грунтов. В нескальных грунтах на отличие результатов между обеими грунтами давлений в значительной мере влияет связность при расчете активного давления. Этот результат заставляет обратить внимание на опасность переоценки выбранной расчетной схемы.

Таблица 2

Значения давлений грунта, кН/м

h, м	Sr		Sa	
	H	D	H	D
2	24,7	31,6	5,02	–
3	55,6	71,3	17,55	–
4	98,9	126,7	37,66	4,35
5	154,6	198,0	65,37	22,03
Примечания: Sr – давление грунта в покое, Sa – активное давление, H – верхняя часть откоса, D – нижняя часть откоса				

Из сказанного следует, что глубокое расположение объектов или коммуникаций в основании сопряжено с высокими давлениями грунтов. Гравитационные опорные конструкции в конкретных геологических условиях будут неудачными, поэтому более эффективными окажутся облегченные уголкового или сборные опорные конструкции до высоты 4 м, поскольку часть насыпи используется для повышения их устойчивости. Однако при проектировании подпорных стен надо обеспечить передачу нагрузки от давления грунта на неогеновые слои основания. Это требование вызвано свойствами покровных толщ, которые не гарантируют надежного восприятия нагрузок. Такое

условие может обеспечить стена из свай большого диаметра, закрепленных в неогене. В местах с чрезмерно большой длиной свай их можно укоротить за счет использования одного ряда буринъекционных анкеров.

4. Заключение

Расчетами было показано, что врезки, выемки или насыпи на естественном склоне выше 2,5 м в пылевато-глинистых грунтах с низкими прочностными характеристиками оказываются неустойчивыми. Опасность их обрушения повышается в процессе застройки, когда происходит пригрузка поверхности тяжелыми механизмами и складываемыми материалами.

На рассмотренной откосной территории для установления давлений грунтов был применен метод, принимающий во внимание активизацию перемещений склона. Для граничных условий, представленных действительными свойствами грунтов, наклоном дневной поверхности и высотой конструкции, проектировщик получил данные для расположения домов и назначения трасс коммуникаций, частично защищенных опорными конструкциями.

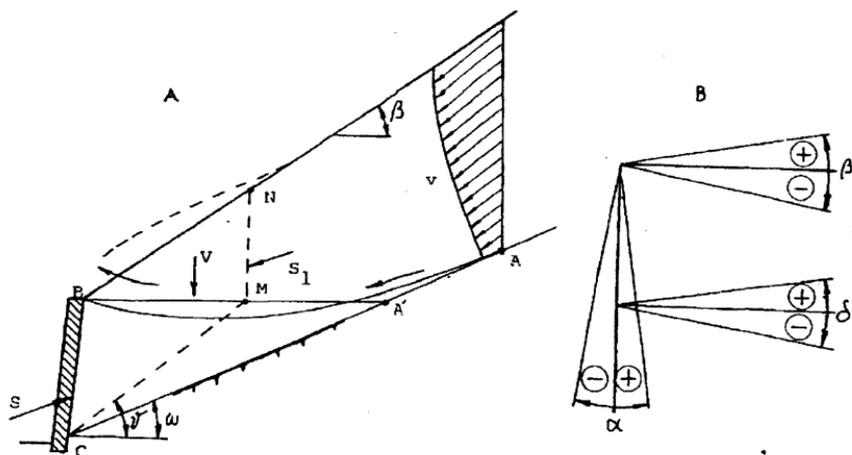


Рис.1 Расчетная схема согласно методу Брандла

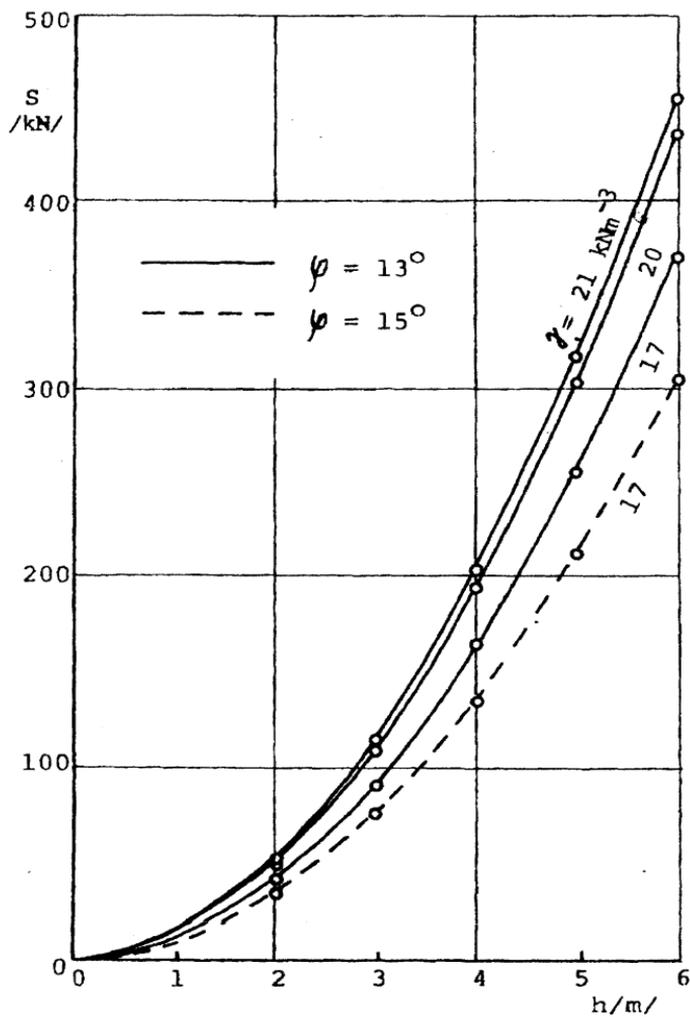


Рис.2 Влияние граничных условий на величины давлений грунта

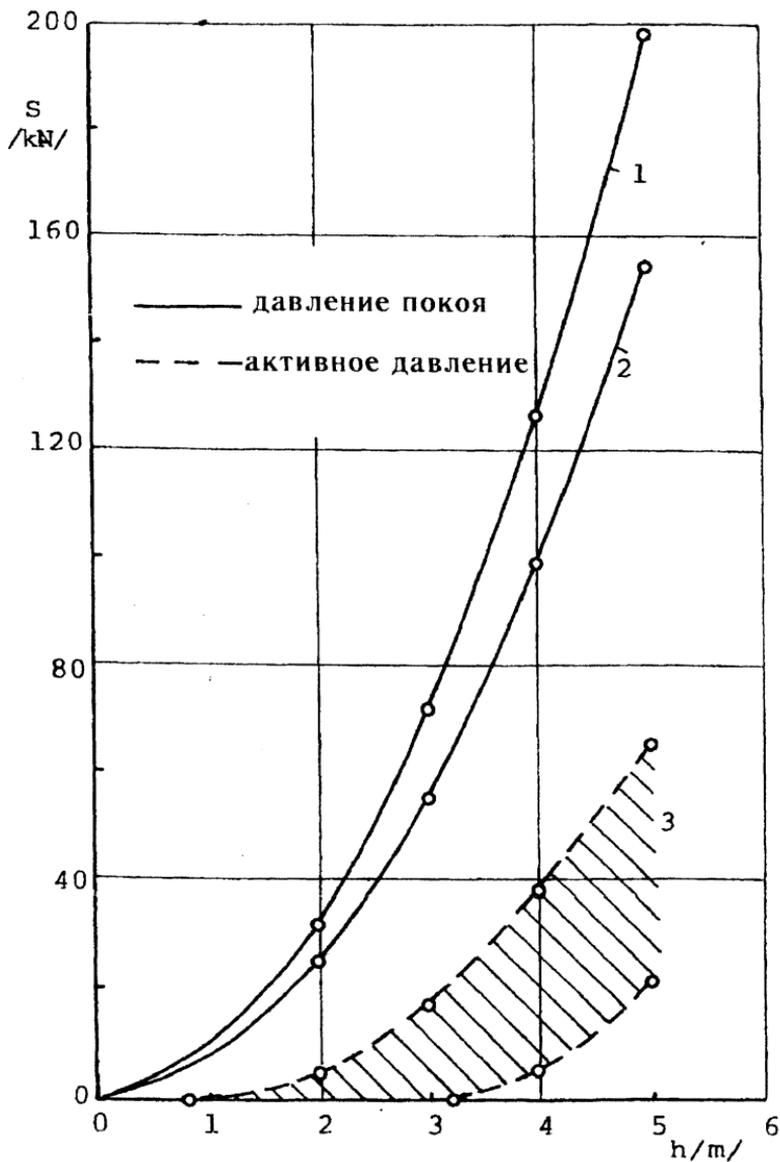


Рис.3 Сравнение давлений грунта на опорную конструкцию
 1 – нижняя часть откоса
 2 – верхняя часть откоса
 3 – расброс активного давления грунта