

К ВОПРОСУ УСТАНОВЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ СДВИГУ ПРИ ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ



*В.Н.ПОЛКАНОВ, ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ
Н.Г. ФУНИЕРУ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ
А.Д. РЫШКОВОЙ, СТАРШИЙ ПРЕПОДАВАТЕЛЬ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ Молдовы (ТУМ)*

1. Введение

СРЕДИ ДЕНУДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ, ФОРМИРУЮЩИХ СОВРЕМЕННЫЙ РЕЛЬЕФ РЕСПУБЛИКИ, ОПОЛЗНИ ЗАНИМАЮТ ОДНО ИЗ ВЕДУЩИХ МЕСТ [1]. НЕРЕДКО В ОПОЛЗНЕВОЕ ДВИЖЕНИЕ ВОВЛЕКАЮТСЯ ЛЕССОВЫЕ ПОРОДЫ, СЛАГАЮЩИЕ ВЕРХнюю ЧАСТЬ СКЛОНОВ И ДОСТИГАЮЩИЕ ПО МОЩНОСТИ 15–20 И БОЛЕЕ МЕТРОВ [2,3]. В СИЛУ ЭТОГО, ПРАВИЛЬНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ ОПОЛЗНЕЙ И ВОПРОСАМ НАДЕЖНОЙ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ ПРИОБРЕТАЕТ ОСОБОЕ ЗНАЧЕНИЕ. ПРИ ЭТОМ ВАЖНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОТВОДИТСЯ ИСХОДНЫМ РАСЧЕТНЫМ СХЕМАМ, СТЕПЕНИ ИХ СООТВЕТСТВИЯ РЕАЛЬНОЙ ПРИРОДНОЙ ОБСТАНОВКЕ, ПРИНИМАЕМЫМ ДЛЯ РАСЧЁТА КОЭФФИЦИЕНТАМ ЗАПАСА ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ [4,5,6].

В силу сказанного возникла необходимость оценить возможное влияние на получаемые высокие значения коэффициенты устойчивости статистических методов установления расчётных показателей сопротивляемости грунтов сдвигу: сцепления ($C_{расч}$) и угла внутреннего трения ($\varphi_{расч}$).

С этой целью различными практикуемыми методами были найдены значения $C_{расч}$ и $\varphi_{расч}$ и произведены расчеты коэффициентов устойчивости. Анализ производился на основе результатов исследования физико-механических свойств

грунтов применительно к реальным оползневым объектам, расположенным в центральной части Молдовы.

2. Методы исследования

Характеристики сопротивляемости сдвигу определялись путем испытания образцов грунта на сдвиг. Срезы производились по методике быстрого сдвига на приборах конструкции Маслова-Лурье при трёх значениях вертикального давления $p = 100 - 300 \text{ кПа}$.

Наличие трещиноватости и ослабленных зон в массиве в лаборатории моделировалось сдвигом образцов по подготовленной поверхности. Кратковременное увлажнение трещины поверхностными или хозяйственными водами – сдвигом по подготовленной увлажненной поверхности.

Учитывая, что прочностные характеристики горных пород, слагающих оползневые склоны, уменьшаются при увлажнении в периоды обильного выпадения атмосферных осадков и снеготаяния, часть образцов подвергалась сдвиговым испытаниям после дополнительного водонасыщения в течение длительного времени (более 40 суток).

С целью выявления закономерностей в изменении прочностных свойств грунтов строились графики рассеяния по влажности, плотности, числу пластичности, сопротивляемости сдвигу;

точечные графики изменения значений этих характеристик по глубине, а также изменения значений сопротивляемости сдвигу в зависимости от плотности и влажности грунта.

Значения сцепления и угла внутреннего трения определялись по известной прямолинейной зависимости

$$S_{pw} = p \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + C_w \quad (1)$$

$$C_w = C_c + \Sigma_w \quad (2)$$

где S_{pw} – сопротивляемость сдвигу, соответствующая плотности-влажности грунта, кПа;

p – давление в плоскости сдвига, кПа;

φ_w и C_w – соответственно, угол внутреннего трения, град, и общее сцепление, отвечающие истинному состоянию по влажности, кПа;

C_c – структурное сцепление, кПа;

Σ_w – связность водноколлоидного характера, кПа.

Величины $C_{\text{расч}}$ и $\varphi_{\text{расч}}$ устанавливались методами:

- среднеарифметического значения;
- среднего по медиане;
- среднего минимального значения;
- среднего квадратичного отклонения;
- гарантированных значений (по Пильгуновой З.В.).

3. Результаты исследования. Дискуссия

При изучении геологического строения выполненные исследования позволили в песчано-глинистых отложениях сарматского возраста выделить две характерные толщи, отличающиеся по наличию перемятых зон и зеркал скольжения, затронутости глин процессами выветривания, изменению цвета.

Верхняя толща мощностью до 10 метров представлена делювиально-оползневыми пестроцветными комковатыми, перемятыми глинами $d_p Q_{IV}$ от высокодисперсных до алевритистых. Эти глины разбиты, в основном, разнонаправленными трещинами выветривания, чаще вертикальными и блестящими наклонными зеркалами скольжения. Первичную горизонтальную слоистость с тонкими прослойками песка и алевритов по напластованию глины сохраняют лишь в отдельных небольших блоках.

Вторая толща представлена серовато-зелеными и тёмно-серыми горизонтально-слоистыми менее выветрелыми глинами с при-

сыпками песка и алевритов по поверхности напластования, с редкими, но хорошо выраженными наклонными зеркалами скольжения.

Анализ полученных результатов определения прочностных свойств грунтов показал:

1. Прочность нижней толщи, слабо или совсем не подверженной активным деформациям, значительна: значения общего сцепления и угла внутреннего трения для обследованных участков лежат в пределах $C_w = 134 - 192$ кПа; $\varphi_w = 13^\circ - 26^\circ$.

2. Прочность пород верхней более деформированной толщи, в пределах которой происходят активные оползневые смещения, резко снижена: $C_w = 48 - 113$ кПа; $\varphi_w = 10^\circ - 18^\circ$.

3. Падение прочности в условиях деформации глинистой толщи происходит за счёт нарушения присущего грунтам структурного сцепления C_c при почти неизменном значении угла внутреннего трения, что подтверждает установленное ранее [1,4,5] на основе многочисленных экспериментов утверждение об основной причине снижения прочности глинистых грунтов во время деформации ползучести.

4. На величину прочности пород существенное влияние оказывают структурные особенности грунта: наличие и направленность зон ослабления, и прежде всего, зеркал скольжения, а также возможность увлажнения по ним. Сказанное подтверждается тем, что для всех обследуемых участков в пределах верхней зоны отсутствуют зависимости значений сопротивляемости сдвигу от глубины отбора монолитов: плотности и влажности грунта, не наблюдается в отдельных случаях зависимости между сопротивляемостью сдвигу и действующим вертикальным давлением и т.д.

Трещиноватость во всех случаях уменьшает сопротивление пород сдвигу. Для образцов с подготовленной поверхностью сдвига значение сопротивляемости сдвигу снизилось по сравнению с образцами естественной структуры для грунтов верхней толщи в 1,5 – 1,8 раза ($S_{pw} = 0,62 \cdot p + 90$, кПа); нижней – в 1,9 – 2,4 раза ($S_{pw} = 0,86 \cdot p + 120$, кПа).

5. Прочность глинистых грунтов на оползневых склонах во многом зависит от степени увлажнения. Для образцов естественной структуры увеличение влажности на 3 – 6 % привело к

снижению общего сцепления на 40 – 50 %, а угла внутреннего трения на 20 – 30 %.

Однако такое изменение влажности при равномерном поступлении и распределении влаги в ненарушенном массиве наблюдается редко. Чаще всего, в связи с тем, что в плотных глинах всегда имеются поверхности ослабления в виде макро- и микротрещин, увлажнение их происходит не равномерно, а избирательно, по ослабленным зонам. В связи с этим при дополнительном увлажнении прочность грунта может резко снизиться. Полученные для образцов грунта с подготовленной увлажненной поверхностью сдвига значения сопротивляемости сдвигу снижены по сравнению с образцами естественной структуры для грунтов верхней толщи в 2,7 – 3,3 раза ($S_{pw} = 0,34 \cdot p + 59$, кПа); для нижней – в 2,6 – 3,5 раза ($S_{pw} = 0,58 \cdot p + 72$, кПа).

В периоды максимального выпадения осадков и снеготаяния, при возможном некотором набухании глинистого грунта прочностные характеристики могут быть снижены для грунтов верхней зоны в 1,6 – 4,3 раза ($S_{pw} = 0,38 \cdot p + 60$, кПа); нижней – в 3,8 – 5,0 раз ($S_{pw} = 0,47 \cdot p + 60$, кПа).

6. Прочность оползневых грунтов зависит от степени деформирования склона. Для склонов предельного уположения средняя прочность делювиально-оползневых накоплений верхней толщи значительно ниже, чем для склонов, ещё не достигших предельного уположения.

Так, грунты естественной структуры для участка в г. Теленешты в целом имеют более высокие значения прочностных характеристик, чем оползневые грунты участка в г. Единцы. Это может быть объяснимо тем, что формирование склона в г. Теленешты еще не закончилось, на отдельных участках сохранились блоки пород с ненарушенной структурой, прочность грунта вне зон ослабления еще не достигла минимального значения.

Результаты исследований подтвердили ранее высказанные суждения [5,6], что значительный разброс значений показателей сопротивляемости сдвигу является характерным свойством пород.

Отклонение расчетных показателей $C_{расч}$ и $\varphi_{расч}$ от среднearифметического значения (в равной степени, как и пределы рассеяния) зависят от генетического типа породы.

Величина средних значений отклонений со-

ответственно оказалась равной: для $C_{расч} - \Delta V_c = 34$ %; для $\varphi_{расч} - \Delta V_{\varphi} = 26$ %.

Классификационные схемы по формам изученных оползней свидетельствует о преимущественном проявлении покровных оползней с фиксированной поверхностью скольжения. В силу этого для расчетов коэффициентов устойчивости выбран метод горизонтальных сил Маслова-Берера [4], дающий в таких случаях весьма удовлетворительные результаты.

Выполненные расчеты показали, что величины коэффициентов устойчивости, определенные с использованием $C_{расч}$ и $\varphi_{расч}$ установленными различными статистическими методами, оказались примерно одинаковыми и значительно больше единицы.

Это означает, что статистические методы установления расчетных показателей сопротивляемости сдвигу оказывают относительно малое влияние на величину коэффициента устойчивости и не могут являться причиной отмечаемого практикой расхождения между расчетами по оценке степени устойчивости и действительной устойчивостью склонов.

Данное обстоятельство потребовало проведения дополнительных исследований по выявлению причин указанного несоответствия.

С этой целью для обследуемых участков были произведены «обратные расчеты», которые позволили установить, что «требуемые» значения прочностных характеристик, особенно сцепления, должны быть резко снижены по сравнению с полученными расчетными значениями.

Последующие расчеты показали, что значения прочности грунта в зоне оползневого смещения, при которых коэффициент устойчивости примерно равен единице, составляют: $\varphi_{расч} = 5^\circ$; $C_{расч} = 10$ кПа.

Общие выводы

1. Проведенные исследования показали, что статистические методы установления расчетных показателей сопротивляемости сдвигу оказывают относительно малое влияние на величину коэффициента устойчивости и не могут являться причиной отмечаемого практикой расхождения между получаемыми посредством расчетов значениями коэффициентов запаса и действительной устойчивостью склонов.

2. Установлено, что одной из основных причин такого несоответствия является назначение расчетных прочностных характеристик грунтов без их «привязки» к реальной действительности.

3. При количественной оценке степени устойчивости склонов прочностные характеристики в каждом конкретном случае необходимо устанавливать с учетом стадии формирования склона, литолого-структурных особенностей грунтов, степени их сохранности, возможности увлажнения, с обязательным учетом их действительной природной степени плотности-влажности.

Особое внимание должно быть уделено приращению глинистым грунтам сцеплению с учетом возможного его изменения во времени в условиях проявления реологических процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ПОЛКАНОВ, В.Н. *Роль реологических процессов в развитии оползней на территории Молдовы*. - Кишинэу: ТУМ, 2013. - 176с.

2. БОГОМОЛОВ, А.Н. *Инженерно-геологическая характеристика лёссовых пород междуречья Прут-Днестр* / А.Н. Богомоллов, Ю.И. Олянский, С.И. Шиян, Т.М. Тихонова, О.В. Киселёва // Вестник Волгоградского Гос. архит.-строит. ун-та. Серия: Строительство и архитектура.- 2011.- Вып.24 (43).- с.33-45.

3. БОГОМОЛОВ, А.Н. *Особенности оценки прочностных свойств лёссовых пород при проектировании оснований и фундаментов в Центральной Молдавии* / А.Н. Богомоллов, Ю.И. Олянский, Е.В. Щекочихина, И.Ю. Кузьменко, С.А. Чарыкова // Вестник ПНИПУ, Серия: Строительство и архитектура.- 2016.- т.7, №3.- с.46-54.

4. МАСЛОВ, Н.Н. *Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними)*. - М.: Стройиздат, 1977.- 320с.

5. МАСЛОВ, Н.Н. *Физико-техническая теория ползучести глинистых грунтов в практике строительства*. - М.: Стройиздат, 1984.- 176с.

6. ТИМОФЕЕВА, Т.А., ЧЕРНЕНКО, Н.Б. *Факторы, определяющие снижение прочности пород в зоне оползневого смещения* // Исследование устойчивости геотехнических сооружений.- Днепропетровск: ДИИТ, 1992.- с.53-57.

РЕФЕРАТ

К вопросу установления расчетных характеристик сопротивляемости глинистых грунтов сдвигу при оценке степени устойчивости склонов. На основе обработки данных сопротивляемости сдвигу оползневых грунтов с помощью нескольких статистических методов и выполненных расчетов устойчивости доказана необходимость назначения расчетных значений прочности в увязке со стадией формирования склона, литолого-структурных особенностей грунтов, их степенью сохранности, состоянию по плотности-влажности, с учетом возможного нарушения структурного сцепления во времени.

Ключевые слова: *глинистые грунты, прочность, устойчивость, установление расчетных характеристик.*

REZUMAT

Cu privire la determinarea caracteristicilor de proiectare a rezistenței la forfecare a solurilor argiloase în evaluarea gradului de stabilitate a versanților. În urma procesării datelor privind rezistența la forfecare a solurilor cu pericol de alunecare cu ajutorul mai multor metode statistice și a calculelor de stabilitate efectuate, a fost demonstrat că la determinarea valorilor rezistenței trebuie să se țină cont de perioada de formare a taluzului sau versantului, de particularitățile litologo-structurale ale solurilor, de gradul de integritate și de densitate-umiditate al acestora, precum și de eventuala modificare în timp a coeziunii structurale a solurilor.

Cuvinte-cheie: *soluri argiloase, rezistență, stabilitate, determinarea valorilor rezistenței.*

ABSTRACT

To the Issue of Determining the Calculated Characteristics of Clay Soil Resistance to Shear in Assessing the Degree of Slope Stability. Based on data results of landslide soil resistance to shear by means of several statistical methods and stability calculations, it was proven the necessity to set the calculated strength values in association with the stage of slope formation, lithologic and structural features of soils, their degree of integrity, their density-humidity state, taking into account the possible disturbance of structural cohesion over time.

Key words: *clay soils, strength, stability, determination of calculated characteristics.*