

6. Шешенев Н.В., Бакулина А.А., Бурмина Е.Н., Крутов А.А. Оптимизация расчёта и анализа инженерно-геологических данных строительной площадки/ В сборнике: Наука и образование XXI века// Материалы X Международной научно-практической конференции./ Под ред. А.Г. Ширяева, А.Д. Кувшиновой; Современный технический университет. 2016. С. 76-78.

Полканов В.Н.

Полканова А.В.

Кырлан А.В.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ГЛУБОКИХ ВЫЕМОК, РАСКРЫТЫХ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ НА ДОРОГАХ РЕСПУБЛИКИ МОЛДОВА

В статье представлены результаты исследований по выявлению причин оползневых деформаций откосов глубоких выемок на автомобильной дороге Кишинев-Полтава. В связи с её предстоящей реконструкцией были предложены расчетные значения реологических характеристик глинистых грунтов, а также, предложена типизация выемок по их геологическому строению и построены профили равноустойчивых откосов. Даны рекомендации по раскрытию выемок для обеспечения их длительной устойчивости и безопасного движения на эксплуатационный срок.

Ключевые слова: выемки, глинистые грунты, прочность, устойчивость.

Введение

В практике строительства и эксплуатации автомобильных дорог Молдовы возникают проблемы, связанные с многочисленными случаями проявления оползневых процессов (рис.1).

Геоморфологические особенности территории обуславливают необходимость устройства глубоких выемок при проектировании дорог. Осуществляемые подрезки нередко приводят к развитию оползней, которые могут развиваться на склонах крутизной всего 5-6°.

Большинство из них, а всего в Молдове зафиксировано более 16 тысяч, занимают средние и верхние части склонов и развиваются в песчано-глинистых породах средне-сарматского возраста (N₁S₂).

Как правило, оползни зарождаются на фоне древних и давних оползневых смещений, т.е. развитие современных оползней носит унаследованный характер.



Рисунок 1 – Оползневые процессы вдоль дороги М21, Брест-Кишинев-Полтава

Задачи исследования

Анализ условий проявления и характера оползневых проявлений на территории Молдовы выявил роль реологических процессов в нарушении устойчивости природных склонов. В то же

время исследования показали, что вопросам изучения устойчивости откосов выемок достаточного внимания не уделялось [1].

Настоящая работа посвящена выявлению причин оползневых деформаций на автомобильной дороге Кишинев-Полтава в связи с ее предстоящей реконструкцией и необходимостью принятия таких проектных решений, которые позволят обеспечить ее длительную безопасную эксплуатацию.

Для предотвращения оползневых деформаций откосов выемок в будущем были определены следующие основные задачи исследования:

- изучить причины оползневых деформаций на глубоких выемках;
- получить расчетные значения реологических характеристик глинистых грунтов, вовлекаемых в оползневое движение;
- обосновать экономически оправданные и надежные профили откосов выемок.

Приборы, оборудование, методика проведения испытаний грунтов

Исследования грунтов, в основном, выполнялись на образцах естественной структуры, отобранных на изучаемых участках, разрушенных оползнями. Часть образцов, испытывалась после длительного увлажнения в песчаной бане. Показатели физических свойств грунтов определялись по стандартным методикам.

Для получения значений прочностных характеристик в приборах прямого среза проводились испытания «на быстрый сдвиг».

Реологические характеристики «порог ползучести» и «коэффициент вязкости» определялись по методу «с постоянной скоростью деформирования», предложенному проф. Н.Н. Масловым [2].

Параметры длительной прочности устанавливались в соответствии с взглядами проф. М. Н. Гольдштейна и его учеников: А.Я. Туровской, Н.Б. Черненко, Т.А. Тимофеевой [3,4].

Результаты выполненных исследований

Особенности геоморфологических условий трассы Кишинев-Полтава в пределах территории республики Молдовы (до границы с Украиной) обуславливают необходимость устройства значительного числа насыпей, высотой от 3-6 до 15-20 м и выемок с глубиной раскрытия от 6 до 24 м.

На участках, где в геологическом строении принимают участие красно-бурые суглинки (aldlQ_{III-IV}), последние вовлекаются в активные деформации. В результате на этих участках прослеживаются крутые, близкие к вертикальным, стенки срывов высотой 12 и более метров. Ниже, в глинистых породах (N₁S₁) деформации носят характер пластического течения.

Для выявления причин деформаций откосов по результатам полевых работ были построены существующие поперечные профили и проведено их сравнение с проектными (рис.2).

Анализ имеющихся материалов показал, что деформации приурочены к обводненной глинистой толще. Основной их причиной является значительная крутизна откосов, которая при проектировании назначалась без учета особенностей глинистых пород, обуславливающих возможность развития деформаций ползучести и снижения прочности глинистых грунтов во времени под действием длительно-действующих касательных напряжений, а также процессов выветривания и дополнительного увлажнения в период выпадения осадков.

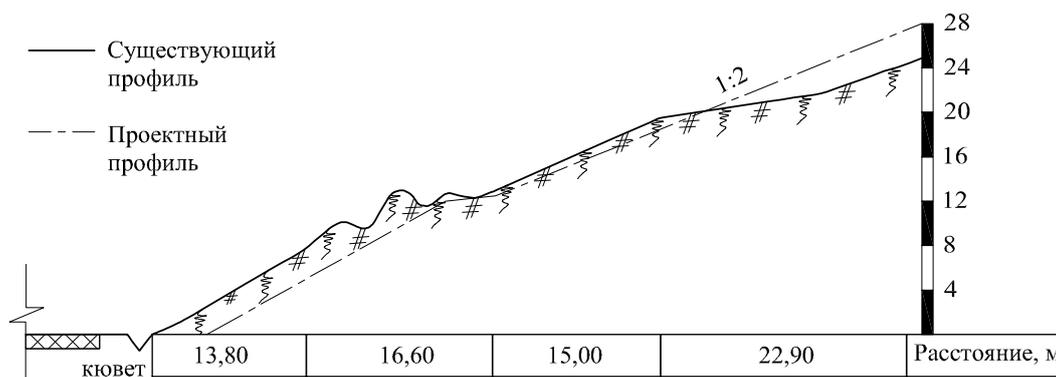


Рисунок 2 – Схематический поперечный профиль левого откоса выемки ПК1444÷850

Для исследования реологических параметров были проведен необходимый отбор проб грунта и выполнены лабораторные испытания по определению прочности грунта, а также значений порога ползучести и коэффициенты вязкости.

Результаты исследования прочности глин показали, что при природной влажности в интервале твердой консистенции в первую очередь проявляется влияние фактора дискретности. Данный фактор отражает структурно-текстурные особенности грунта и степень нарушения структурных связей за счет естественных зон ослабления, определяющих характер деформирования жестких глин, и перекрывает влияние на прочность в массиве плотности, влажности и консистенции. Это характерно не только для большинства изученных оползневых неоген-четвертичных глинистых пород Молдовы, но и для неогеновых глин Одессы и Кавказа, слагающих оползневые склоны. Фактор консистенции, отражающий роль связности в общем сцеплении и коэффициенте вязкости, начинает проявляться при переходе образцов из твердого в полутвердое и тугопластичное состояние, и в большей мере определяет характер деформирования пластичных глин. Приближенную зависимость $\tau = f(I_L)$ оказалось возможным построить для образцов, испытанных по подготовленной поверхности сдвига, моделирующей потерю структурного сцепления. Используя метод плотности-влажности проф. Н.Н. Маслова, были получены зависимости угла внутреннего трения и сцепления связности от консистенции (рис.3).

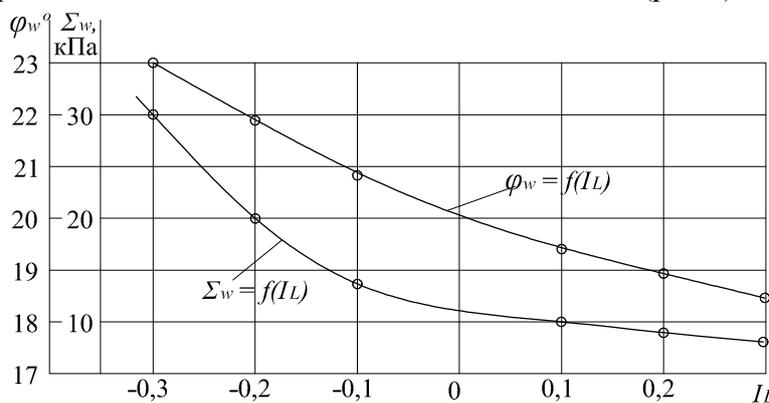


Рисунок 3 – Зависимость угла внутреннего трения (φ_w) и связности (Σ_w) от консистенции (I_L)

Проведенное изучение прочностных свойств позволило рекомендовать на данном этапе для раскрытия выемки в качестве расчетных характеристик прочности следующие значения:

- без учета временного фактора и наличия ослабленных зон при возможности нарушения сцепления за счет дополнительного увлажнения: для глубины $h \leq 15$ м, $\varphi = 16^\circ$; $C = 44$ кПа; для $h > 15$ м, $\varphi = 16^\circ$; $C = \Sigma_w + 0,5 C_c = 85$ кПа;
- с учетом временного фактора: для глубины $h \leq 15$ м, $\varphi = 16^\circ$; $\Sigma_w = 20$ кПа; для $h > 15$ м – значения остаточной прочности $\varphi = 10^\circ$; $\Sigma_w = 9$ кПа;

С целью изучения возможности перехода глинистых грунтов, слагающих откосы выемок, в состояние ползучести, были определены значения «порога ползучести». По Н.Н. Маслову [2] его теоретическое выражение определяется зависимостью:

$$\tau_{\text{lim}} = p_n \cdot \text{tg} \varphi_w + C_c \quad (1)$$

Процесс ползучести во всех случаях будет протекать под воздействием непогашенной части касательного напряжения $\Delta\tau$.

$$\Delta\tau = \tau - \tau_{\text{lim}} = \tau - (p_n \cdot \text{tg} \varphi_w + C_c) \quad (2)$$

В вышеприведенных выражениях:

Σ_w – связность водно-коллоидного характера;

C_c – жесткие связи структурного сцепления;

φ_w – истинный угол внутреннего трения;

p_n – нормальное напряжение.

Необходимо отметить, что в большинстве случаев применительно к неогеновым глинам Молдовы, местная обстановка лишает нас возможности прямого использования для грунтов естественной структуры теоретического выражения определения величины "порога ползучести". В настоящих условиях это связывается с исключительной неоднородностью породы.

Следует также отметить, что несмотря на наличие значительных исследований в определении "порога ползучести" этот вопрос не может считаться полностью решенным до настоящего времени.

Связывается это обстоятельство, в частности, с нераскрытой особенностью природы жесткого структурного сцепления (C_c).

Жесткие связи структурного сцепления могут иметь ионный характер; определяться связями цементации, кристаллизации и т.д. Во всех случаях они носят необратимый характер. Однако, как показывают исследования акад. В.Д. Казарновского, и связность водно-коллоидной природы (Σ_w) в глинистых грунтах твердой и полутвердой консистенции, с которыми мы сталкиваемся при изучении пород, слагающих склоны Молдовы, также может обуславливать необратимый хрупкий характер деформации сдвига. Тем самым, возможно, что она может, подобно жестким связям структурного сцепления (C_c), определять в той или иной степени величину "порога ползучести".

Этот вопрос по-прежнему остается недостаточно раскрытым. Вместе с тем, с точки зрения реологического анализа он имеет первостепенное значение.

В этих условиях нет возможности полностью доверять теоретическим схемам и возникает необходимость установления расчетной величины «порога ползучести» для выделенных разновидностей грунтов экспериментальным путем.

Эксперименты проводились по методу «с постоянной скоростью» и по методике С.Н. Сотникова, усовершенствованной В.Н. Полкановым. Всего было выполнено свыше 50 опытов продолжительностью от одних до сорока суток при скорости $v = a \cdot 10^{-8} \dots a \cdot 10^{-10}$ м/с. Образцы испытывались при естественной влажности, а также после предварительного доувлажнения в ящиках с мокрым песком. Это позволило произвести определение "порога ползучести" в интервале от твердой до тугопластичной консистенции и построить графики его зависимости от консистенции (рис. 4).

После проведенной обработки опытных данных были получены выражения, характеризующие «порог ползучести» глин покровного массива (1) коренной толщи (2) и зоны оползневого смещения (3) имеющие, соответственно, следующий вид:

$$\tau_{\text{lim},1} = 0,16 p_n + 40, kPa;$$

$$\tau_{\text{lim},2} = 0,25 p_n + 75, kPa;$$

$$\tau_{\text{lim},3} = 0,09 p_n + 9, kPa;$$

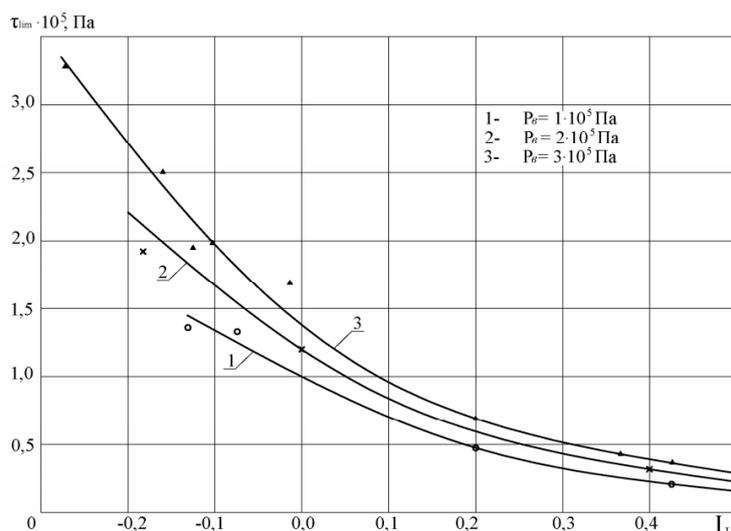


Рисунок 4 – Зависимость "порога ползучести" неогеновых глин покровного массива естественной структуры от консистенции (по опытам с $\nu = 5,8 \cdot 10^{-10}$ м/с)

Полученные уравнения были использованы при проведении реологического анализа. Изучалась возможность развития деформации ползучести в коренной и покровной толще, а также в ослабленной зоне их контакта.

Для прогноза скорости развития деформаций ползучести в откосах выемки была использована зависимость коэффициента вязкости от консистенции. Это позволило установить скорость смещения покровного массива применительно к расчетному значению показателя текучести.

Учитывая исключительную важность производимых расчетов по оценке скорости ползучести обследуемых оползневых участков, аналогичные расчеты были выполнены при различных значениях коэффициента вязкости и степени сохранности первичной структуры грунта (рис. 5 и 6).

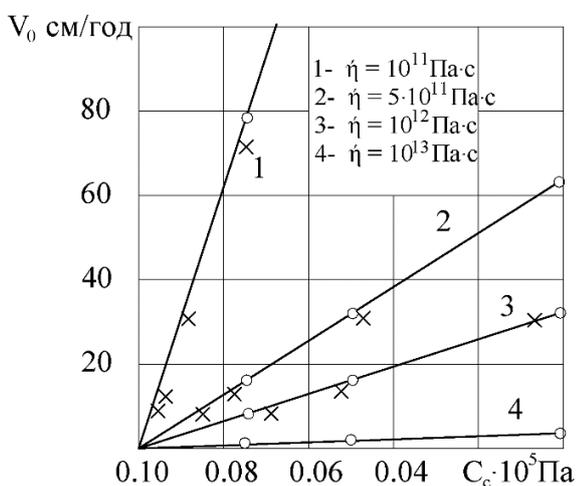


Рисунок 5 – Зависимость скорости деформации ползучести от структурного сцепления

Установлено, что при наличии в грунте жесткого структурного сцепления (C_c), определяемого значением порядка $C_c = 10$ кПа, скорость оползневого смещения практически равна нулю. Существенное значение оказывает коэффициент вязкости породы: при $C_c = 8$ кПа и $\eta = 10^{11}$ Па·с, $v_0 = 60$ см/год; при тех же значениях C_c и $\eta = 10^{13}$ Па·с, $v_0 = 0$.

Сравнение теоретических значений скорости деформации ползучести и реальных данных полевых наблюдений за динамикой развития оползневых деформаций на обследуемых участках, дало вполне удовлетворительный результат.

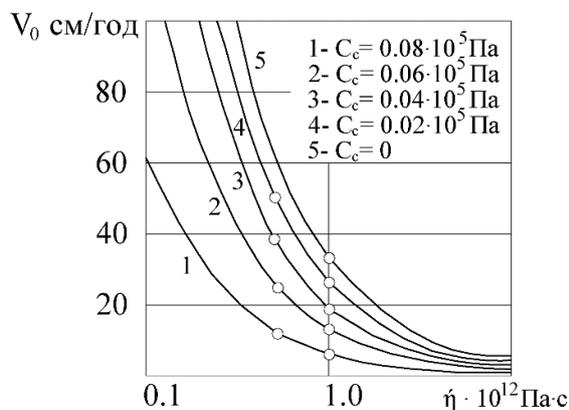


Рисунок 6 – Зависимость скорости деформации ползучести от коэффициента вязкости

Другими словами, проведенные расчеты и натурные исследования указывают на возможность оползневого движения интенсивностью порядка нескольких сантиметров в год с последующим ускорением во времени в результате постоянного проявления деформации ползучести.

Как уже отмечалось, развитие активных деформаций откосов выемок связано с падением прочности обводненных глинистых грунтов в результате развития процессов ползучести под влиянием действующих касательных напряжений, обусловленных завышенной крутизной откосов. В связи с изложенным, для участков будущей реконструкции по результатам разведочных работ и выполненных исследований предложена типизация выемок по их геологическому строению. При этом, на основе имеющихся материалов, по сложности инженерно-геологических условий были предложены следующие типы:

1. выемки, раскрываемые в однородных грунтах;
2. выемки, раскрываемые в песчано-глинистой толще;
3. выемки, раскрываемые в сложных условиях макрооднородной, местами обводненной песчано-глинистой толщи.

Для выемок с известным геологическим строением были построены профили равноустойчивых откосов (при коэффициенте запаса устойчивости $K=1,2$) с учетом реологических характеристик глинистых грунтов, полученных в процессе выполненных исследований (рис. 7).

Как известно, реальный запас устойчивости определяется достоверностью выбранных характеристик. В силу этого, главная сложность заключается в оценке времени накопления критической деформации, которое, в свою очередь, зависит от принятых «параметров» длительной прочности («порог ползучести», «остаточная прочность» и др.). Последние не имеют однозначного определения и требуют конкретизации по мере накопления результатов исследований.

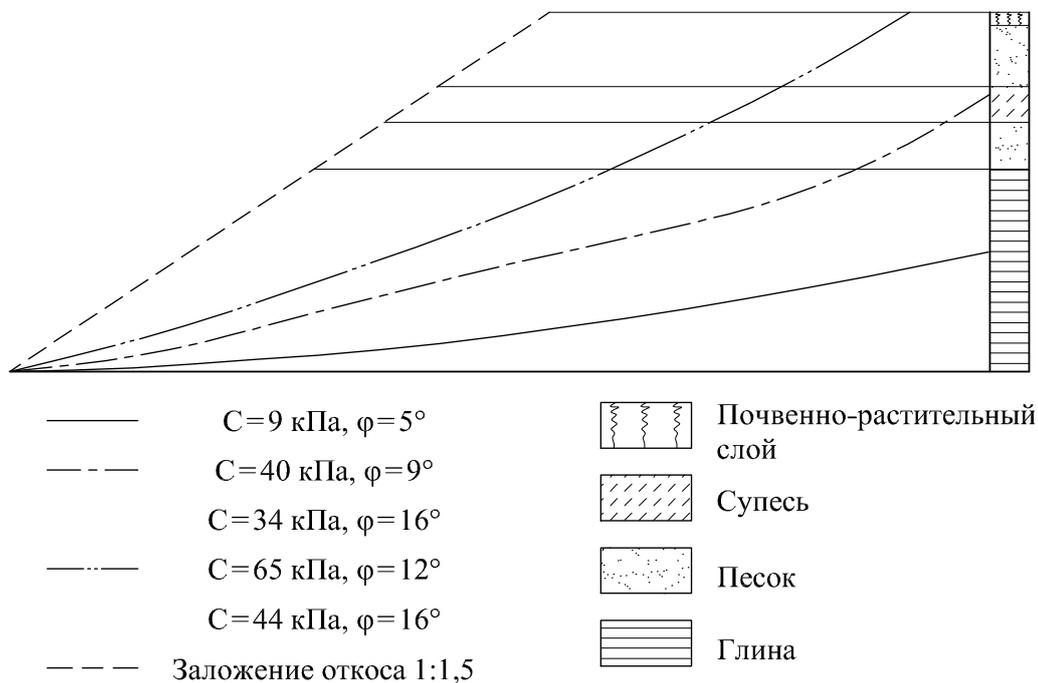


Рисунок 7 – Поперечные профили выемки на ПК14375-14379, построенные с учетом реологических свойств грунтов

Выводы и рекомендации

1. Исследуемые глинистые породы в коренном залегании обладают высокими значениями реологических параметров. Как следствие, развитие деформации ползучести в толще на глубинах залегания коренных глин без видимых поверхностей ослабления, исключается.