

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ СВАЙНОГО ОСНОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИЛАГАЕМЫХ НАГРУЗОК ПРИ ОСЕСИММЕТРИЧНОМ ЗАГРУЖЕНИИ

Пивонос В.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г.Одесса)

Досліджені зразки глинистих ґрунтів природного укладання зі складу спайної підвалини за результатами зрізних та компресійних випробувань. Зразки ґрунтів природного укладання (лес та лесовий суглинок) відібрані по відношенню до горизонтальної площини під кутом 90°, 45°, 0°. Відповідно, вищевказаних кутів, проводилось прикладення навантажень при лабораторних дослідженнях. Зразки лесу при компресійних випробуваннях випробувані у стані природної вологості та повного водонасичення, лесовий суглинок випробуваний у стані природної вологості. Отримані результати відображають зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів, в залежності від умов прикладення навантаження та фізичного стану.

Грунты свайного основания 5-ти этажного с подвалом здания представлены:

1. Слоем супеси лёссовой (лёсса), мощностью 3,2 м, со следующими характеристиками: $\rho_s = 2,67 \text{ г/см}^3$; $\rho = 1,51 \text{ г/см}^3$; $\rho_d = 1,36 \text{ г/см}^3$; $W = 0,11$; $e = 0,96$; $n = 0,49$; $W_L = 0,25$; $W_p = 0,19$; $S_r = 0,30$; $\varphi_{90} = 22^{\circ}30'$; $\varphi_{45} = 20^{\circ}$; $C_{90} = 15 \text{ КПа}$; $C_{45} = 80 \text{ КПа}$.

2. Слоем суглинка лёссового, мощностью 6,2 м, со следующими характеристиками: $\rho_s = 2,69 \text{ г/см}^3$; $\rho = 1,73 \text{ г/см}^3$; $\rho_d = 1,43 \text{ г/см}^3$; $W = 0,21$; $e = 0,88$; $n = 0,47$; $W_L = 0,33$; $W_p = 0,19$; $S_r = 0,64$; $\varphi_{90} = 19^{\circ}$; $\varphi_{45} = 16^{\circ}30'$; $C_{90} = 32 \text{ КПа}$; $C_{45} = 80 \text{ КПа}$ (значения φ_{90} , φ_{45} , C_{90} , C_{45} получены по результатам 3-х испытаний образцов ґрунтов в каждой серии на приборе ВСВ-25, отобранных по отношению к горизонтальной плоскости под углом 90° и 45°, соответственно).

Прочность грунта оценивается по теории Кулона-Мора соотношением

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C$$

$\sigma \operatorname{tg} \varphi$ – характеризует сопротивление грунта трению при взаимном смещении частиц грунта по поверхности сдвига; C – характеризует сопротивление грунта разрушению при преодолении внутренних сил связности при отрыве частиц друг от друга в плоскости сдвига; $\operatorname{tg} \varphi$ и C называют параметрами сдвига грунта, $\operatorname{tg} \varphi = f$ – коэффициент внутреннего трения грунта, C – удельное сцепление грунта.

Как видно из представленных данных 1, 2, значения угла внутреннего трения φ , в зависимости от направления сдвигающих усилий, в обоих случаях имеет отличие на $2^{\circ}30'$, что указывает на анизотропию грунта. Коэффициент анизотропии $n_{\varphi} = \varphi_{90} / \varphi_{45} = 1,13$, для слоя 1 и 1,15 для слоя 2. Коэффициент анизотропии $n_c = C_{90} / C_{45} = 0,19$ и $0,40$, для слоёв 1 и 2, соответственно. Анизотропия грунта по прочностным свойствам должна учитываться при расчёте устойчивости откосов и давления на подпорные сооружения.

Для аналогичной оценки деформационных характеристик были выполнены компрессионные испытания лёсса природной влажности $W = 0,11$ и водонасыщенного $W = 0,32-0,33$, а также суглинка природной влажности $W = 0,21$ в диапазоне давления от 0 до 250 КПа. Результаты компрессионных испытаний образцов грунта: лёсс в состоянии природной влажности $W = 0,11$, лёсс в замоченном состоянии $W = 0,32-0,33$ и суглинка природного сложения представлены на графиках $S = f(P)$, см. Рис. 1а,б,в.

Как видно из графиков, лёсс в состоянии природной влажности при приложении нагрузки под углом 90° и 45° имеет достаточно высокие, близкие по значению деформационные характеристики, при этом, при приложении нагрузки под углом 45° деформационные характеристики несколько выше, чем при приложении нагрузки под углом 90°, что, вероятно, является подтверждением достаточной устойчивости лёсса в откосах при небольшой величине влажности. При приложении нагрузки в направлении параллельном горизонтальной плоскости под углом 0° значительно возрастают деформации.

При испытании замоченного лёсса при $W = 0,32-0,33$ картина деформации изменяется. Наибольшие деформации грунт претерпевает при приложении нагрузки под углом 45°, наименьшие – при приложении нагрузки под углом 0° и 90°, при этом на начальном (от 0 до 50 КПа) и среднем (от 50 до 200 КПа) этапах нагружения существует определённая разница в величине деформации (при этом деформационные характеристики при приложении нагрузки в направлении 0° несколько выше, чем при 90°). При 250 КПа значения осадки S равны. Наибольшие значения осадки S получены при приложении нагрузки под углом 45°.

У суглинка природной влажности при $W = 0,21$, в отличие от лёсса, характер проявления деформации значительно иной. Так наименьшие, близкие по значению величины осадок S получены при приложении нагрузки под углом 90° и 0° (при 90° осадки несколько меньше, чем при 0°), и наибольшие значения осадок S получены при приложении нагрузки под углом 45°.

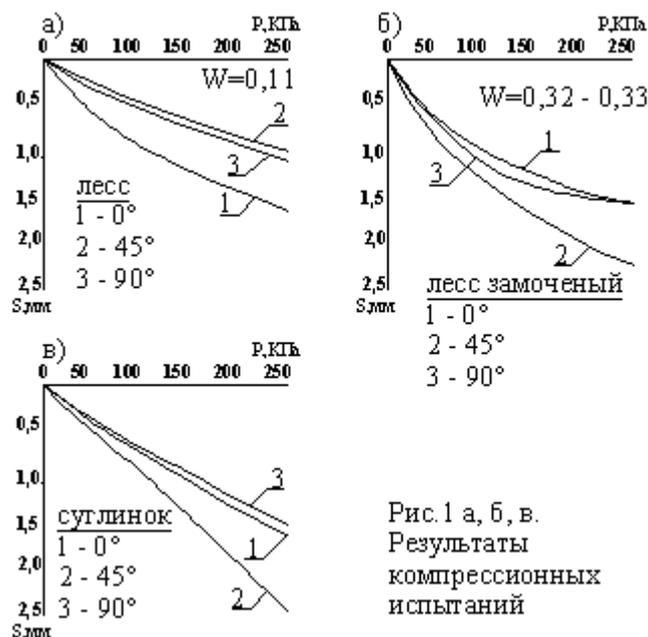


Рис. 1 а, б, в.
Результаты
компрессионных
испытаний

Очевидно, что изменения физических и механических характеристик грунтов в значительной степени зависит от минералогического состава глинистых пород, имеющего важное значение при инженерно-геологических исследованиях, особенно при изучении свойств пород во взаимодействии с проектируемым сооружением. Изменения свойств пород в значительной степени определяется наличием нестойких минералов, которые можно выделить в четыре группы:

- 1 – первичные, нерастворимые минералы;
- 2 – вторичные, нерастворимые в воде минералы – алюмосиликаты, силикаты, простейшие окислы;
- 3 – вторичные, растворимые в воде минералы;
- 4 – органические и органогенные соединения.

Каждая из групп в различной степени влияет на инженерно-геологические свойства пород.

Говоря о минералогическом составе осадочных пород, следует отметить его влияние на формирование строительных свойств пород. По данным В.В. Охотина [1], при изучении сопротивления сдвигу фракций различных минералов, выраженному через угол внутреннего трения φ при нагрузке в пределах 2 кг/см^2 . получены следующие выводы:

1. Сопротивлению сдвигу зависит от:
 - а) минералогического состава;
 - б) размера частиц;
 - в) формы частиц;
 - г) пористости материала;
 - д) влажности.
2. Наибольшее сопротивление сдвигу оказывают частицы остроугольного кварца, наименьшее – слюды.
3. Сопротивлению сдвигу частиц окатанного кварца близко к сопротивлению остроугольных частиц.
4. Влияние минералогического состава на угол внутреннего трения уменьшается от крупных фракций к мелким; во фракциях $< 0,1 \text{ мм}$ оно уже мало заметно.

Также отмечается, что в общем случае сопротивление сдвигу фракций насыщенных водой, значительно меньше, чем фракций в воздушно-сухом состоянии. По данным В.В. Охотина минералогический состав фракций влияет на высоту капиллярного поднятия воды. Наибольшей высотой капиллярного поднятия обладают фракции слюды; у фракции других (полево шпат, остроугольный кварц, окатанный кварц) минералов высоты капиллярного поднятия по величине приблизительно равны.

Преимущественное наличие определенных групп глинистых минералов определяет свойства и поведение глинистых пород, что проявляется на поведении пространственной решётки минералов.

Например, **группа каолинита** (каолинит, галлаузит, анауксит) обладает прочной неподвижной решёткой, в которой расстояние между пакетами не меняется при увлажнении.

В **группе монтмориллонита** (монтмориллонит, нонтронит, бейделлит) решётка подвижная, при увлажнении раздвигается вплоть до распада минерала на элементарные кристаллические ячейки с увеличением удельной поверхности.

Эти качества минералов, наряду с другими факторами обуславливают различное поведение обоих минералов в присутствии воды, в частности, малое набухание каолинита и большое – монтмориллонита.

Группа гидрослюды или **иллита** – обладает свойствами, промежуточными между двумя другими группами (каолинитами и монтмориллонитами).

Помимо вышперечисленных минералов в глинистых породах присутствуют простые соли, в твёрдом или растворенном виде (наиболее часто в растворённом), которые чаще всего представлены

легкорастворимыми солями натрия. Часто присутствуют: среднерастворимый гипс и труднорастворимые карбонаты кальция и магния.

Минеральный состав влияет на деформационные свойства глинистых грунтов, и проявляется через размер, форму и гидрофильность частиц.

По данным исследований [2] при изучении гранулометрического состава лёссов г. Одессы (с глубины 4 м) полидисперсным методом, получены следующие результаты (см. табл.1)

Состав фракций лёссовой породы с глубины 4 м

Табл. 1

Способ подготовки к анализу	Содержание частиц %					Содержание CaCO ₃ %
	d > 0,25	d = 0,25- 0,05	d = 0,05-0,01	d = 0,01-0,002	d < 0,002	
Полидисперсный 1-с, Na ₄ P ₂ O ₇	0,03	26,49	44,00	18,36	11,16	4,64
Суспензии	0,006	11,14	50,00	15,56	23,24	
2-Паста Na ₄ P ₂ O ₇	0,07	15,57	46,88	11,64	25,88	

Na₄P₂O₇ – пирофосфат натрия (пирофосфорнокислый натрий) диспергатор, способствующий разделению фракций.

Как видно из таблицы, состав самой крупной фракции менее 1,0 %. Отмечается, что сжимаемость глинистых грунтов возрастает с ростом их дисперсности.

Н.Я. Денисовым [3] отмечается, что структура лёссовых пород является важным фактором, определяющим их строительные свойства. Минеральный состав структурных элементов и строение порового пространства создают особый характер структурных связей (взаимодействие между частицами). Специфический характер твёрдых структурных элементов в лёссах обуславливает формирование в них, так называемых, агрегативных, или зернистых микроструктур. Пористость просадочных лёссов обычно составляет более 42 % и характеризуется наличием трёх типов пор: макропор, межзерновых и межагрегатных, внутриагрегатных микропор. Наиболее крупными являются макропоры, имеющие трубчатую форму с Ø 0,05-0,5 мм. Они хорошо видны невооружённым глазом и пронизывают лёссовую породу в вертикальном направлении. Макропоры являются одним из важнейших диагностических признаков структуры просадочных лёссовых пород. До недавнего времени считалось, что макропоры – следы корней растений, однако сейчас существует мнение, что большая часть макропор представляет собой своеобразные магистральные каналы, образовавшиеся в результате преимущественно вертикальной миграции воды и газа, о чём свидетельствует наличие значительных выделений солей на стенках макропор.

Наиболее важными в структуре лёссовых пород являются межагрегатные и межзерновые микропоры, размером менее 0.05 мм. Подчинённую роль в поровом пространстве играют более мелкие внутриагрегатные микропоры, размером менее 0,008 мм.

Особенности микроструктур лёссовых глинистых грунтов необходимо учитывать при оценке их поведения под нагрузкой. Наличие различных прослоев и неоднородности в строении характеризует неодинаковость (анизотропию) прочностных и деформационных свойств грунтов.

Выводы

1. Состав глинистых минералов и структурные особенности влияют на инженерно-геологические свойства пород.
2. Учёт деформационной и прочностной анизотропии грунтов должен производиться при расчётах устойчивости откосов и давления на подпорные сооружения.
3. Наличие данных, полученных по результатам испытания образцов грунтов при различном направлении приложения нагрузки, повышает точность расчёта фундаментов на естественном основании на воздействие горизонтальных деформаций при проектировании на подрабатываемых территориях (т.к. при определении величины предельного обжатия грунта при пассивном давлении в расчёте используются значения модулей боковой деформации грунта ненарушенной структуры $E_g = 0,5 E_0$).
4. Горизонтальный модуль деформации используется также при расчётах свай с шарнирной и жёсткой заделкой голов в высокий и низкий ростверки на горизонтальные перемещения и нагрузки при проектировании и расчёте свайных фундаментов на подрабатываемых территориях.

5. Учёт деформационной и прочностной анизотропии грунтов при расчётах оснований по видам предельных состояний позволяет более реально представить напряжённо-деформированное состояние нагруженного грунтового основания.

6. Учёт анизотропных свойств грунтов необходим при устройстве искусственных оснований и расчёте сейсмостойкости грунтовых оснований сооружений.

Литература

1. В.В. Охотин. Физические и механические свойства грунтов в зависимости от их минералогического состава и степени дисперсности. М., ГУШОСДОР. 1937. 120 с.

2. С.В. Трусова, В.А. Васильев, Л.Ф. Рычнёва. Об изучении гранулометрического состава лёссовых пород. В сб. Вопросы исследования лёссовых грунтов, оснований и фундаментов. Вып. 2. Изд. Ростовского инженерно-строительного института. Ростов-на-Дону. 1969. с.73-79.

3. Н.Я. Денисов. Строительные свойства лёсса и лёссовидных суглинков. Изд. 2-е. Госстройиздат. 1953 г.