

Акустические свойства глинистых грунтов

Пиоро Е.В.

МГУ имени М.В.Ломоносова, ООО «Петромоделлинг ЛАБ»

Изучение закономерностей распространения упругих волн в глинистых грунтах до настоящего времени остается актуальной задачей. Имеющиеся литературные данные по скоростям, измеренным на глинистых грунтах в полевых и лабораторных условиях, немногочисленны, а диапазоны их изменения отличаются по данным разных авторов [1,2]. В данной работе проводится анализ влияния ряда отдельных факторов на скорости упругих волн на примере природных и модельных глинистых грунтов.

В качестве объектов исследования были выбраны четвертичные моренные суглинки (gQ_{1dn}) и юрские глинистые грунты (J_{3ox}), широко распространенные на территории города Москвы, а также модельные (искусственные) грунты. Модельные образцы готовились из перемолотого моренного суглинка нарушенной структуры с добавлением среднепесчаной фракции в соотношениях 0, 10, 25 и 35% по массе. Модельные грунты (M1-M4), соответствовали суглинкам тяжелым пылеватым (образец M1), легким песчанистым (образец M2) и супесям песчанистым (образцы M3 и M4) по ГОСТ 25100-2011. Глинистые пасты закладывались в разъемные формы и уплотнялись под действием статической нагрузки от 0,02 до 0,12 МПа в течение одних суток для получения модельных образцов, различающихся по плотности скелета и влажности.

Исследования проводились с помощью лабораторных методов, широко используемых в грунтоведении для характеристики грунтов, а также сейсмоакустических ультразвуковых исследований - с помощью дефектоскопа УД2Н-П. Обобщенные результаты лабораторных исследований глинистых грунтов приведены в таблице 1 (параметры поглощения в рамках данной работы не изучались). Для обработки результатов исследования проводился корреляционный анализ скоростей упругих волн с полученными показателями состава, строения и состояния исследуемых грунтов.

Изучение влияния **дисперсности** (или «глинистости») на скорости упругих волн в глинистых грунтах проводилось с помощью следующих показателей: содержание частиц размером меньше 0,001, 0,005, 0,01 мм; средний диаметр частиц; показатели пластичности. Получено, что скорости продольных V_p и поперечных V_s волн модельных грунтов

снижаются с уменьшением дисперсности (при переходе от суглинков М1, М2 к супесям М3, М4). Однако по результатам корреляционного анализа простых линейных зависимостей скоростей упругих волн и отношения скоростей от указанных показателей дисперсности для изучаемых модельных и природных грунтов не выявлено.

Таблица 1. Обобщенные результаты лабораторных исследований

Образцы грунтов (количество)	Влажность w, %	Плотность ρ , г/см ³	Прочность на сжатие R_c , МПа	Скорости продольных волн V_p , м/с	Скорости поперечных волн V_s , м/с	Отношение скоростей V_s/V_p
Суглинки М1 (20) $I_L < 0$	8-15	1,54-2,30	<u>0,20-1,05</u> 0,66	<u>400-2000</u> 1260	<u>200-550</u> 360	<u>0,20-0,54</u> 0,32
Суглинки М2 (24) $I_L < 0$	7-15	1,77-2,23	<u>0,17-1,10</u> 0,51	<u>700-2000</u> 1440	<u>300-500</u> 380	<u>0,16-0,50</u> 0,28
Супеси М3 (30) $I_L < 0$	5-12	1,88-2,28	<u>0,08-0,63</u> 0,29	<u>520-1700</u> 1180	<u>160-500</u> 360	<u>0,22-0,52</u> 0,31
Супеси М4 (29) $I_L < 0$	4-11	1,76-2,30	<u>0,11-0,64</u> 0,27	<u>720-1500</u> 1130	<u>190-420</u> 320	<u>0,18-0,43</u> 0,29
Суглинки и супеси (gQIdns) (25) $-0,56 < I_L < 0,63$	11-14	2,02-2,21	<u>0,09-0,54</u> 0,31	<u>1050-2000</u> 1700	<u>170-410</u> 310	<u>0,08-0,25</u> 0,19
Юрские суглинки и глины (J3ox) (15) $-0,70 < I_L < 0,28$	24-30	1,66-1,83	<u>0,31-0,47</u> 0,37	<u>950-1850</u> 1400	<u>240-340</u> 280	<u>0,15-0,39</u> 0,21

Примечание: в числителе дроби приведены минимальные-максимальные значения, в знаменателе – среднее.

Для каждого из модельных грунтов отмечается рост скоростей упругих волн и снижение отношения скоростей V_s/V_p с ростом **плотности** и плотности скелета. Эти связи являются стабильными и характеризуются достаточно высокими коэффициентами корреляции ($r \sim 0,8-0,9$).

Известно, что с повышением плотности грунта дальние коагуляционные контакты переходят в ближние, возрастают количество и прочность точечных контактов между отдельными структурными элементами в единице объема грунта, снижается объем пор и пустот, поэтому и скорости упругих волн увеличиваются. При этом вид уравнения связи скоростей упругих волн от плотности зависит от типа грунта.

Все природные и модельные образцы имели схожие закономерности изменения скоростных параметров от плотности, для наглядного сравнения были построены графики, на которых отражены полученные линейные корреляционные уравнения для каждого из

рассмотренных видов грунтов (рис. 1). Из рисунка следует, что разным глинистым грунтам в координатном поле соответствуют разные прямые, причем, угол их наклона увеличивается с ростом дисперсности.

Тот факт, что корреляционные прямые для суглинков М1, М2 и для супесей М3, М4 близки друг к другу можно объяснить сходством гранулометрического состава.

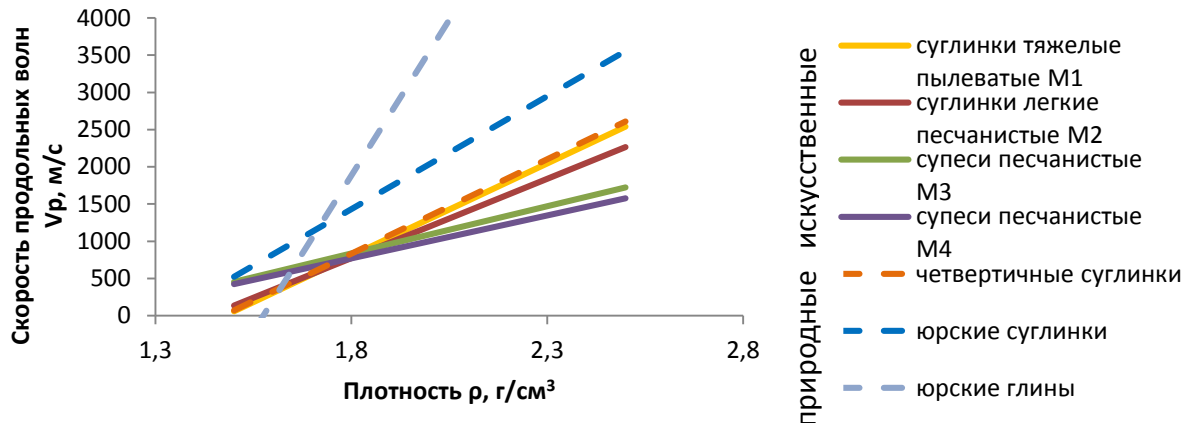


Рис. 1. Корреляционные взаимосвязи скоростей продольных волн и плотности исследуемых глинистых грунтов при аппроксимации линейной функцией

Корреляционная прямая для четвертичных моренных суглинков близка к прямой для модельных суглинков М1, поскольку большинство исследуемых природных грунтов по своему составу и дисперсности соответствуют этой модели. Увеличение угла наклона графиков корреляционных функций с ростом дисперсности можно объяснить большим количеством контактов у высокодисперсных грунтов по сравнению с менее дисперсными при одинаковой плотности, и более существенным ростом количества и прочности контактов при «уплотнении» в одинаковом интервале изменения плотности. С увеличением **пористости** модельных грунтов от 20 до 45 % (и ростом коэффициента пористости от 0,25 до 0,88 соответственно) скорости продольных волн V_p снижаются от 2000 до 500 м/с (в 4 раза), а скорости поперечных волн V_s от 550 до 200 м/с (примерно в 2 раза).

В результате исследований получено, что в зависимости от количества влаги и ее видов в грунте могут иметь место пороговые значения **влажности**, при переходе через которые акустические свойства меняются.

Для *природных глинистых грунтов* рассматривался интервал влажности 25÷3 % (по мере дегидратации), что соответствует изменению влажности от нижнего предела пластичности до гигроскопической. Для определения влияния влажности на значения скоростей упругих волн были

построены соответствующие графики (рис. 2), из которых следует, что скорости продольных волн V_p уменьшаются до значения влажности, близкой максимальной гигроскопической влажности $W_{\text{МГ}}$ ($6 \div 7 \%$), затем в некотором интервале остаются примерно постоянными, после чего вновь возрастают. Для всех образцов значение влажности, после которого скорости продольных волн начинают вновь возрастать, близко влажности максимальной молекулярной влагоемкости $W_{\text{ММВ}}$ ($15 \div 20 \%$). В интервале влажности $W_{\text{МГ}} \div W_{\text{ММВ}}$ во всех образцах исследованных природных глинистых грунтов наблюдаются наиболее низкие значения скоростей продольных волн. Также важно отметить, что для более дисперсных разностей границы этого интервала приурочены к бóльшим значениям весовой влажности.

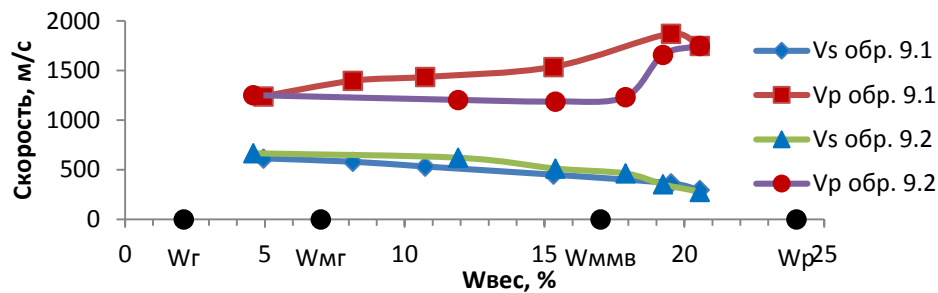


Рис. 2. Изменение скоростей V_s и V_p в зависимости от весовой влажности природных глинистых грунтов ($gQ_{\text{I}}\text{dns}$)

Полученным в результате измерений зависимостям можно дать следующее объяснение. В самом начале гидратации упругие свойства грунта определяются жесткостью его скелета, прочностью точечных и цементационных контактов. С ростом толщины гидратных пленок вокруг частиц жесткость скелета снижается, преобладающими становятся малопрочные коагуляционные контакты, скорости падают. Но при полном заполнении пор водой упругие свойства грунта будут определяться уже не скелетом, а упругостью самой воды, при этом скорости продольных волн (волн «сжатия») возрастают и соответствуют значениям, характерным для их распространения в воде (~ 1500 м/с).

При этом, для естественного грунта скорости поперечных волн (волн «сдвига») и отношение скоростей убывают с ростом влажности, что соответствует снижению сдвиговых характеристик грунта с ростом влажности.

Для модельных образцов скорости продольных волн V_p с ростом влажности (рис. 3) снижаются до значений $W_{\text{МГ}}$ (причем абсолютные значения скоростей уменьшаются практически в два раза). На этом участке ($W < W_{\text{МГ}}$) плотность скелета практически постоянна. Влажность грунта особенно сильно влияет именно на этом интервале, что объясняется

существенными различиями в прочности контактных взаимодействий частиц с разным количеством адсорбированной (связанной) воды.

Скорость поперечных волн и отношение скоростей убывают на всем исследуемом интервале влажности и для модельных образцов.

Отмечается снижение отношения скоростей V_s/V_p с увеличением показателя консистенции, причем для грунтов твердой консистенции оно $>0,2$, полутвердой $0,1-0,2$, тугопластичной $<0,1$ (рис. 4). Эти данные могут использоваться в инженерной геофизике – по соотношению скоростей упругих волн оценивать консистенцию глинистых грунтов в пределах однородного по составу и строению слоя.

В целом, наблюдается увеличение скоростей продольных и поперечных волн с ростом R_c , однако, влияние прочности структурных связей (выраженное через сопротивление грунта одноосному сжатию) сказывается скорее на скоростях поперечных волн, в меньшей степени на скоростях продольных волн и отношении скоростей. Следовательно, скорости поперечных волн (волн сдвига) в большей степени связаны с прочностью контактных взаимодействий.

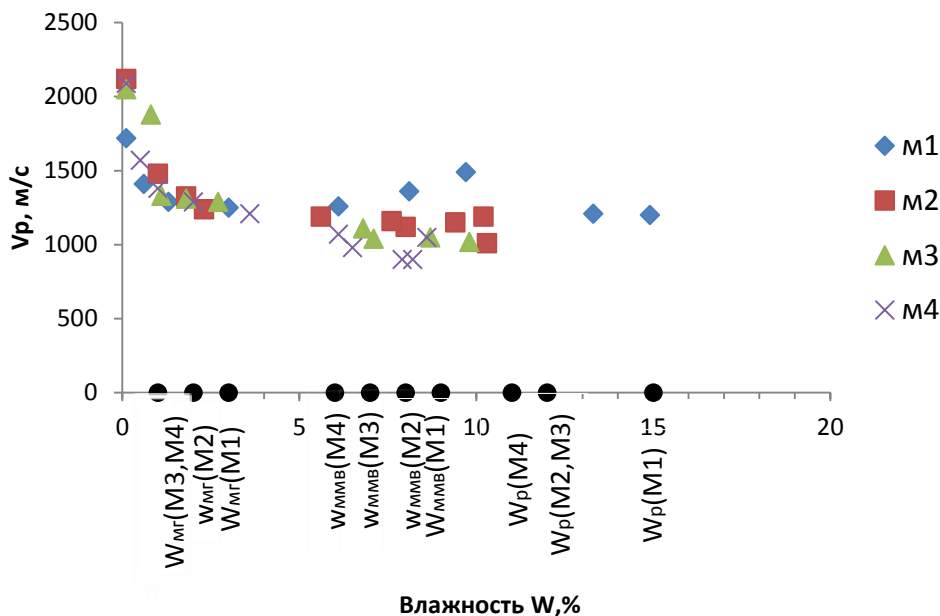


Рис. 3. Взаимосвязь скоростей продольных волн с весовой влажностью модельных суглинков (M1 и M2) и супесей (M3 и M4)

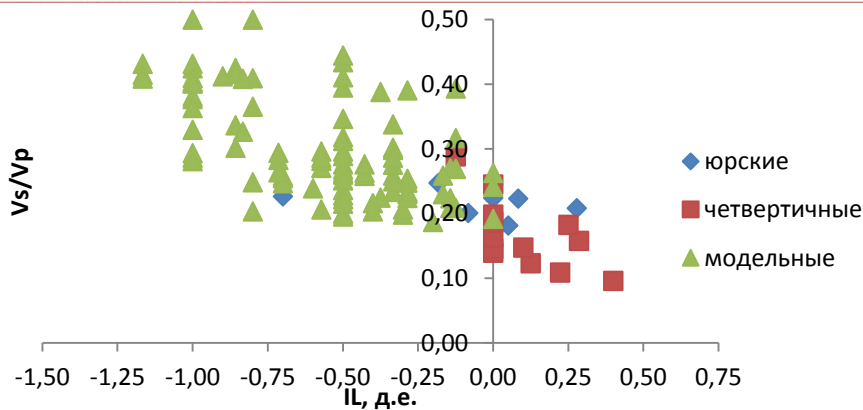


Рис. 4. Взаимосвязь отношения скоростей и показателя консистенции (текучести) исследуемых грунтов

Список литературы

1. Горяйнов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М.: Недра, 1979. 143 с.
2. Методические рекомендации по применению сейсмоакустических методов для изучения физико-механических свойств грунтов. М.: Изд-во Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства, 1976. 71 с.

Итоговая версия опубликована: нет данных.