

О скоростях распространения упругих волн в глинистых грунтах

Пиоро Е.В.*, Ошкин А.Н., Таракановский М.К.

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 естественных грунтах в полевых и лабораторных условиях, не дают возможность выявить влияние состава, строения и состояния грунтов на скорости. В данной работе предпринята попытка анализа влияния ряда отдельных факторов на значения скоростей упругих волн.

Исследования проводились на модельных глинистых грунтах, сформированных из перемолотого моренного суглинка (gIdns), отобранного на территории г. Москвы. Растертый грунт соответствовал суглинку тяжелому пылеватому по ГОСТ 25100-95 (модельный грунт М1). Для создания второго модельного грунта – суглинка тяжелого песчанистого (М2) – к исходному грунту было добавлено 10% среднеспесчаной фракции. Третий модельный грунт (М3) содержал 25% той же песчаной добавки и соответствовал супеси песчанистой по ГОСТ 25100-95. Образцы формовались при влажностях 10, 15 и 20%, а нагрузки уплотнения менялись от 2 до 14 кг, время приложения нагрузки – 1 сутки. Как показали опыты, в процессе уплотнения и дальнейших исследований образцы теряют в основном от 2 до 7% влаги, что связано с отжимом жидкости при изготовлении образца и подсыханием образцов во время экспериментов. Поэтому контролировалась конечная влажность. Вариации значений показателей физических свойств модельных глинистых грунтов при изменении нагрузки предварительного уплотнения приведены в табл. 1 и рис. 1.

При повышении начальной влажности грунта происходит повышение его плотности и плотности скелета для модели М1, для модели М3 зависимость обратная, а в модели М2 наблюдается сначала повышение плотности, а затем ее снижение. Для модельного грунта М1 оптимальная влажность 11%, поэтому при этом значении влажности и наблюдается максимальная плотность скелета. Для модельного грунта М2 оптимальная влажность составляет 7-8%, а для супеси песчанистой М3 около 6%.

При добавлении песка для одинаковых нагрузок уплотнения значения плотности и плотности скелета возрастают. При уплотнении за счет отжатия воды при формовании и за время экспериментов образцы

теряют до 50% влаги, причем минимальные потери наблюдаются при отсутствии песчаной фракции в образцах, а максимальные при 25% песка в составе модельного грунта. Это объясняется большей гидрофильностью и водоудерживающей способностью более глинистых модельных грунтов.

Таблица 1. Диапазоны изменения значений показателей физических свойств модельных грунтов при различных нагрузках уплотнения

Номер и модель	Плотность ρ , г/см ³	Плотность скелета ρ_d , г/см ³	Влажность конечная, %
M1-10	(1,54-2,21)/1,80	(1,42-2,04)/1,66	8-9
M1-15	(1,76-2,25)/2,06	(1,58-2,10)/1,86	11
M1-20	(2,03-2,26)/2,10	(1,79-2,14)/1,85	13-16
M2-10	(1,77-2,17)/1,91	(1,63-2,87)/1,75	7-9
M2-15	(2,12-2,23)/2,17	(1,89-2,04)/1,97	9-12
M2-20	(2,05-2,14)/2,11	(1,79-1,91)/1,86	12-15
M3-10	(2,22-2,28)/2,25	(2,04-2,13)/2,09	7-8
M3-15	(2,19-2,28)/2,23	(1,97-2,11)/2,04	8-11
M3-20	(2,15-2,26)/2,20	(1,92-2,06)/1,99	10-12

Примечание: в номере модельного грунта отражены его дисперсность и задаваемая влажность.

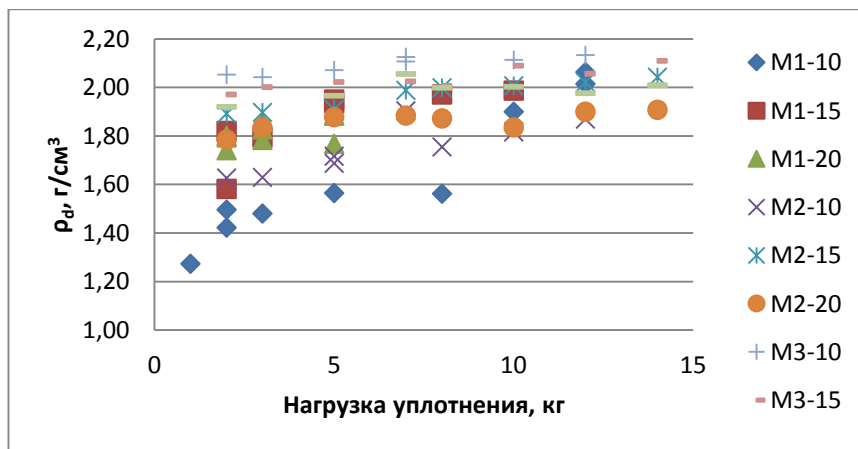


Рис. 1. Взаимосвязь плотности скелета грунта и нагрузки предварительного уплотнения

По результатам исследований были определены оптимальные влажности и нагрузки уплотнения, которые составили для суглинка тяжелого пылеватого М1 11% и 5 кг, суглинка тяжелого песчанистого М2 7-8% и 7 кг и супеси песчанистой М3 6% и 8 кг. Таким образом, с ростом дисперсности влажность оптимального уплотнения увеличивается (при меньшей нагрузке уплотнения), максимальная достигаемая при этом плотность скелета уменьшается.

После определения физических свойств модельных грунтов, для всех образцов были измерены скорости продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн с помощью прибора дефектоскоп УД2Н-П (табл. 2).

Таблица 2. Результаты ультразвуковых исследований

Модель	V_p , м/с	V_s , м/с	V_s/V_p
М1-10	500-1500	200-500	0,35-0,54
М1-15	400-1900	200-600	0,27-0,50
М1-20	>1350	>270	0,20-0,32
М2-10	850-1750	330-520	0,29-0,50
М2-15	1030-1930	290-500	0,23-0,28
М2-20	1080-1840	220-390	0,16-0,22
М3-10	810-1360	240-400	0,27-0,30
М3-15	720-1480	190-390	0,23-0,28
М3-20	1100-1430	230-320	0,18-0,22

Значения скоростей продольных волн увеличиваются с ростом влажности для каждого модельного грунта (в пределах области исследования). Это объясняется более высокими скоростями распространения упругих волн в жидкой среде по сравнению с воздухом. Однако при высоких влажностях скорости начинают снижаться, что обусловлено уменьшением прочности контактов при увлажнении и расклинивающим эффектом гидратных пленок глинистых частиц. При этом скорости поперечных волн не обнаруживают зависимости от влажности.

Рост скоростей продольных и поперечных волн особенно заметен на более низких ступенях нагружения, а затем постепенно замедляется (рис. 2). Это обстоятельство связано с достижением грунта нагрузки оптимального уплотнения, после преодоления которой, не происходит значительного изменения прочности, плотности и влажности грунтов, а, следовательно, и скоростей упругих волн.

Отношение скоростей поперечной и продольной волн минимальны для всех образцов третьей модели и влажности 15 и 20% модели М2.

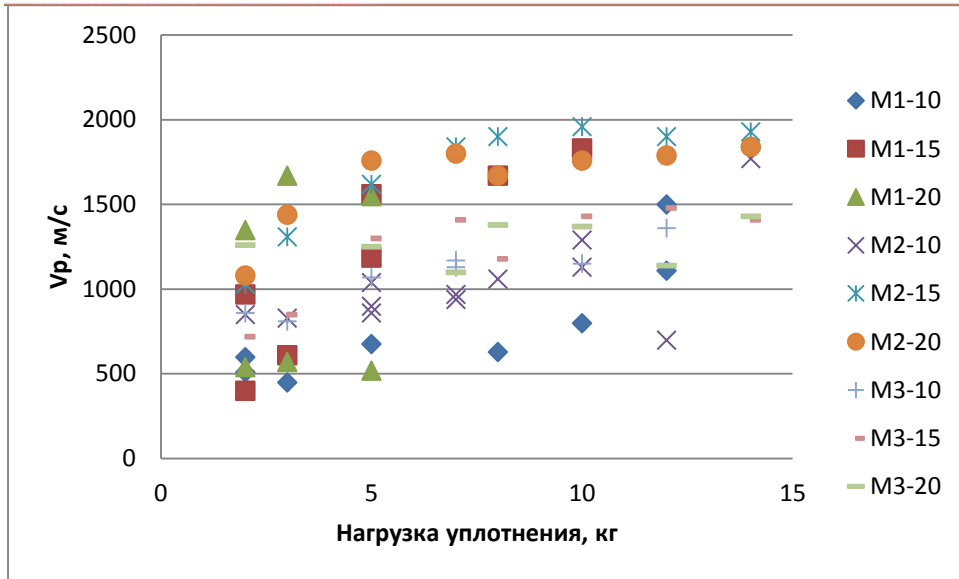


Рис. 2. Взаимосвязь скорости продольных волн и нагрузки уплотнения

Сопоставление значений скоростей распространения продольных и поперечных волн с плотностью скелета модельных грунтов показывает увеличение по линейному закону скоростей волн при повышении плотности скелета (рис. 3). Довольно большой разброс значений скоростей связан с ролью начальной влажности уплотнения при формировании образцов.

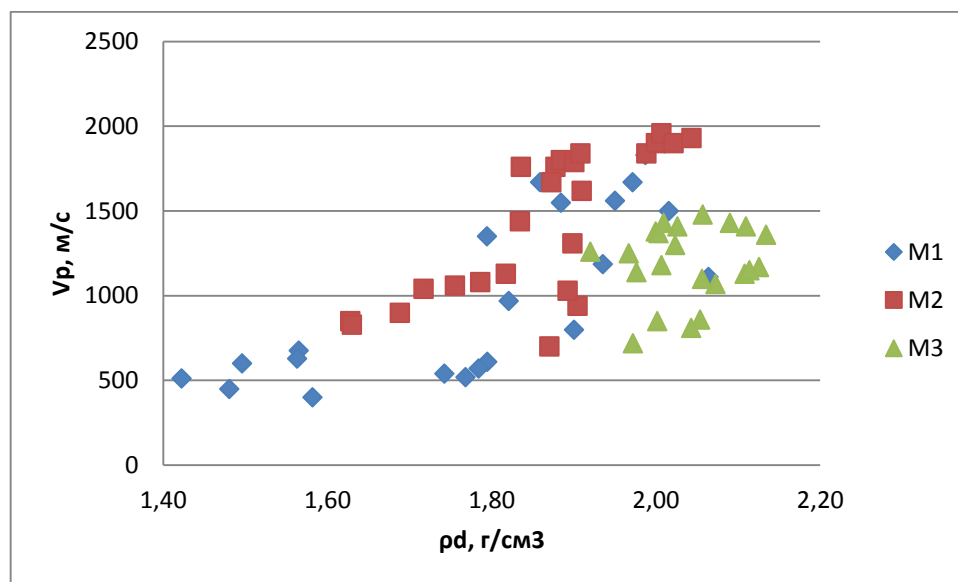


Рис. 3. Взаимосвязь скорости продольных волн и плотности скелета модельных глинистых грунтов

При сопоставлении значений скоростей для образцов разной дисперсности при одинаковой влажности прослеживается сначала рост

скоростей продольных волн, а затем в модельном грунте М3 их снижение. Нарастание скоростей при переходе от М1 к М2 можно объяснить повышением плотности грунтов, а последующее снижение скоростей скорее всего связано с ростом гранулометрической неоднородности, уменьшением прочности контактов, уменьшением доли связанной воды.

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- значения скоростей продольных волн увеличиваются с ростом влажности для каждого модельного грунта, что объясняется более высокими скоростями распространения упругих волн в жидкой среде по сравнению с воздухом, однако, при высоких влажностях скорости начинают снижаться, что обусловлено уменьшением прочности контактов при увлажнении и расклинивающим эффектом гидратных пленок глинистых частиц. При этом скорости поперечных волн не обнаруживают зависимости от влажности;

- скорости продольных и поперечных волн возрастают при увеличении нагрузки предварительного уплотнения до достижения значения оптимальной ее величины (и при оптимальной влажности), далее прирост скоростей останавливается;

- при повышении содержания песка и постоянной влажности наблюдается сначала рост скоростей продольных и поперечных волн, за счет повышения плотности, а затем снижение значений скоростей, связанное с ростом гранулометрической неоднородности, уменьшением прочности контактов;

- наименьшие колебания скоростей поперечных и продольных волн наблюдаются для более влажных и песчаных модельных грунтов.

Итоговая версия опубликована: Материалы VI научно-практической конференции молодых специалистов «Инженерные изыскания в строительстве». М.: ПНИИИС, 2012. С. 31-35.