

ВЗАИМОСВЯЗИ АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Аннотация

Поиск взаимосвязей деформационных характеристик грунтов, полученных инженерно-геологическими (прямыми) и сейсмоакустическими (косвенными) методами, является актуальной задачей современной науки. В данной работе предпринята попытка анализа влияния ряда отдельных факторов на величины скоростей упругих волн и получаемые деформационные характеристики модельных глинистых грунтов.

Ключевые слова: динамический модуль упругости, модуль общей деформации, коэффициент поперечного расширения, коэффициент Пуассона, глинистые грунты, скорости продольных волн

Пиоро Е.В.*, Ошкин А.Н.

МГУ имени М.В. Ломоносова, ООО «Петромоделинг ЛАБ»*

ВВЕДЕНИЕ

Деформационные характеристики – одни из наиболее важных показателей свойств, используемых при проектировании и строительстве практически любых зданий и сооружений. Традиционные виды испытаний являются длительными и трудоемкими, поэтому определение показателей деформационных свойств глинистых грунтов при одноосном сжатии представляется довольно перспективным направлением исследований. С другой стороны, все большую популярность в последнее время приобретают методы геофизических сейсмоакустических исследований. Их преимущество заключается в простоте эксперимента и малых временных затратах. Литературные данные по выбранной тематике немногочисленны и относятся преимущественно к 70-80-м годам прошлого века, в то время как аппаратура и методика исследований были значительно усовершенствованы. Поэтому проведение исследований в этой области является актуальным вопросом.

В данной работе предпринята попытка анализа влияния ряда отдельных факторов, характеризующих свойства глинистых грунтов, на величины скоростей упругих волн и получаемые деформационные характеристики глинистых грунтов, а также установление эмпирической зависимости между динамическим модулем упругости и модулем общей деформации на примере модельных глинистых грунтов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Применяемые инженерно-геологические методы исследования деформационных свойств глинистых грунтов (прямые и косвенные) довольно длительное время используются для практических целей, методики исследований разработаны, апробированы и прописаны в нормативных документах. Однако для каждого метода инженерно-геологических исследований именно глинистых грунтов существует ряд допущений и недостатков, поэтому даже для одного грунта значения получаемых деформационных характеристик могут отличаться.

Основная задача исследований заключается в попытке получения корреляционных зависимостей между показателями деформационных свойств модельных глинистых грунтов, полученных по результатам одноосного сжатия и ультразвукового просвечивания. Выбор модельных глинистых грунтов обоснован необходимостью зафиксировать физические свойства при минимизации неточностей, обусловленных влиянием неучтенных факторов.

Для скальных грунтов, которые можно отнести к телам идеально упругим, связь между динамическими характеристиками, получаемыми на основе измерения упругих волн, прошедших через образец грунта, и статическими, получаемыми прямыми методами, обуславливается единством протекающего в обоих случаях процесса – деформирования, достаточно подробно описанного для упругих тел (например, (Савич, 1979)). Получение подобных характеристик для глинистых грунтов, которые порой даже в первом приближении нельзя называть телами упругими, – вопрос более сложный, требующий глубокого изучения.

Рядом авторов (Василевский, 1971; Миндель, 1970; Никитин, 1981 и др.) была установлена корреляционная связь между модулем общей деформации E_0 и динамическим модулем упругости E_d , которая в общем виде описывается логарифмической или линейной зависимостью.

В данной работе получено, что для изучаемых модельных глинистых грунтов уравнение имеет вид:

$$E_0 = aE_d + b,$$

где параметры a и b практически не зависят от влажности.

МЕТОДИКА

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 песчаного (М2) – к исходному грунту было добавлено 10% среднеспесчаной фракции. Третий модельный грунт (М3) содержал 25% той же песчаной добавки и соответствовал супеси песчаной по ГОСТ 25100-95. Образцы формовались при влажностях 10, 15 и 20%, а нагрузки уплотнения менялись от 2 до 14 кг.

Таблица 1. Физические характеристики модельных глинистых грунтов

Образцы	Плотность ρ , г/см ³	Плотность скелета ρ_d , г/см ³	Влажность конечная, %	V_p , м/с	V_s , м/с	V_s/V_p
М1	1,42-2,06	1,42-2,02	8-16	450-1800	200-600	0,20-0,54
М2	1,77-2,20	1,63-2,04	7-14	850-1850	300-500	0,16-0,50
М3	2,15-2,28	1,92-2,13	7-12	700-1400	250-400	0,18-0,30

На изготовленных образцах производилось измерение скоростей (продольных V_p и поперечных V_s) по методике прямого просвечивания на переменной базе: излучатель и приемник располагались на противоположных гранях образца на одной оси, при этом образец несколько раз укорачивался. Это позволяло построить годограф – зависимость времени прихода волны от пройденного расстояния, по наклону которого и рассчитать

скорость. Такой метод существенно повышает точность расчета скорости V_s , так как по единичному измерению не всегда удается выделить вступление S-волны в интерференционной картине.

Таблица 2. Диапазоны изменения и средние значения деформационных характеристик

Модельные грунты	Динамический модуль упругости E_d , МПа	Коэффициент Пуассона, μ	Модуль общей деформации E_0 , МПа	Коэффициент поперечного расширения, μ_0
M1-10	(170-1680)/635	(0,20-0,43)/0,38	(15-130)/63	(0,20-0,42)/0,32
M1-15	(190-2150)/900	(0,33-0,46)/0,43	(10-90)/54	(0,32-0,48)/0,40
M1-20	(170-650)/390	(0,44-0,48)/0,46	(15-30)/21	(0,40-0,48)/0,45
M2-10	(550-1700)/845	(0,33-0,45)/0,40	(26-87)/52	(0,28-0,38)/0,33
M2-15	(500-1600)/1165	(0,46-0,47)/0,47	(14-110)/56	(0,26-0,35)/0,30
M2-20	(300-860)/670	(0,48-0,49)/0,48	(16-53)/31	(0,32-0,45)/0,38
M3-10	(435-1060)/640	(0,45-0,46)/0,45	(23-65)/40	(0,27-0,45)/0,37
M3-15	(230-1010)/680	(0,46-0,47)/0,46	(24-82)/45	(0,33-0,44)/0,41
M3-20	(260-670)/480	(0,47-0,48)/0,47	(18-48)/30	(0,40-0,43)/0,41

Примечание: 1) в номере модельного грунта отражены его дисперсность и задаваемая влажность; 2) интервал нагрузок при определении E_0 0,1-0,3 МПа.

Испытания образцов грунта методом одноосного сжатия проводились с помощью измерительно-вычислительного комплекса АСИС, который позволяет измерять продольные и поперечные деформации, осуществлять автоматическую запись измеряемых параметров и проводить компьютерную обработку получаемых данных. Скорость нагружения для разных групп образцов менялась от 0,5 до 2 мм/мин. Согласно ГОСТ 12248-96 скорость нагружения выбирают в зависимости от предполагаемой прочности грунта таким образом, чтобы время проведения испытания составило 5-7 мин. По результатам испытаний были получены модуль общей деформации E_0 (при нагрузках 0,1-0,3 МПа) и коэффициент поперечного расширения μ_0 .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате различных условий уплотнения образцов и проведения на них ультразвуковых исследований получены значения физических характеристик и скоростей распространения упругих волн глинистых грунтов разных модельных грунтов (таблица 1). При переходе от суглинка тяжелого пылеватого (M1) к суглинку тяжелому песчанистому (M2), а затем к супеси песчанистой (M3) наблюдается снижение разброса значений плотности и плотности скелета образцов грунта при одинаковых нагрузках уплотнения. Это говорит о большей уплотняемости высокодисперсных грунтов по сравнению с более песчанистыми разностями. При этом средние значения плотности и плотности скелета грунта увеличиваются с уменьшением дисперсности.

Как показали опыты, в процессе формования 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. Наименьшие потери влаги характерны для более дисперсных грунтов, что связано с повышенным содержанием связной и переходного типа воды, с их большей влагоемкостью.

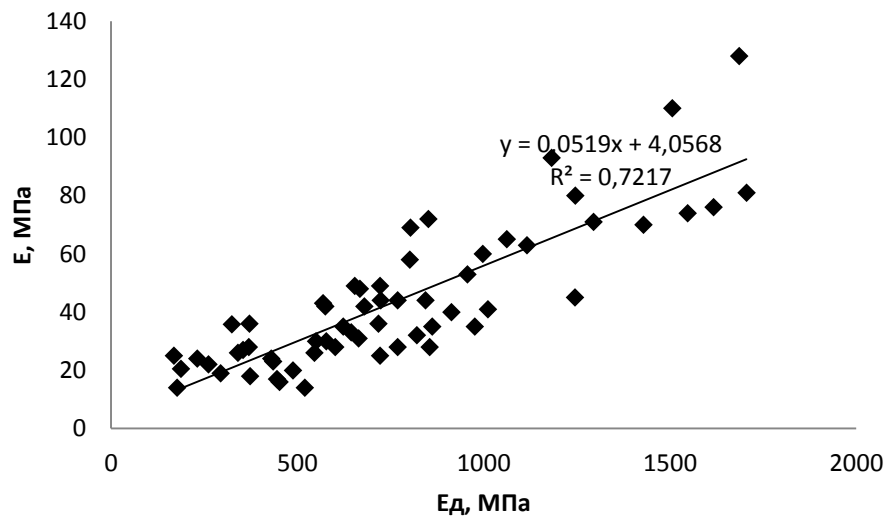


Рис. 1. Взаимосвязь модуля упругости (E_d) и плотности скелета грунта (ρ_d)

Скорости продольных V_p и поперечных V_s волн сначала возрастают при переходе от М1 к М2, а затем снижаются в образцах М3. Это объясняется, с одной стороны, более высоким распространением скоростей в частицах песка, имеющих непосредственные контакты, по сравнению с глинистыми, а с другой - высокими скоростями распространения продольных волн в жидкой среде по сравнению с воздухом. Разброс значений скоростей уменьшается при переходе от более дисперсных грунтов к менее дисперсным. В этом же направлении уменьшается диапазон изменения отношения V_s/V_p .

По результатам ультразвуковых исследований были рассчитаны динамический модуль упругости E_d и коэффициент Пуассона μ . Полученные значения коэффициента Пуассона μ и коэффициента поперечного расширения μ_0 для образцов одного модельного грунта увеличиваются практически во всех случаях при переходе к более влажному состоянию (таблица 2). Широкий диапазон значений модулей преимущественно связан с большим изменением плотности и плотности скелета изготовленных образцов и, в меньшей мере, с изменением их влажности. При переходе к менее дисперсным разностям снижается диапазон изменения плотности и плотности скелета модельных глинистых грунтов, соответственно уменьшается интервал изменения деформационных характеристик (рис. 1). При сопоставлении модуля упругости и модуля общей деформации была получена их взаимосвязь, которая описывается линейным законом, с коэффициентом $R^2=0,72$ (рис. 2). По данным других авторов эта связь описывается как экспоненциальной зависимостью (Никитин, 1981), так и линейной (Миндель, 1971). В нашем эксперименте максимальное значение величины достоверности аппроксимации R^2 соответствует линейной зависимости.

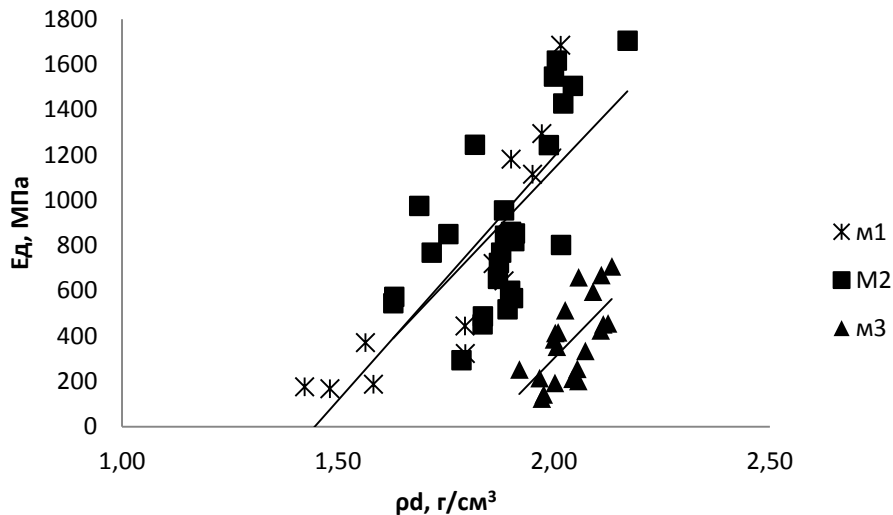


Рис. 2. Соотношение модуля упругости (E_d) и модуля общей деформации (E_0) образцов глинистых грунтов

Сопоставление коэффициента Пуассона и коэффициента поперечного расширения не позволило выявить корреляционных уравнений и скорее представляет собой облако точек. Однако, следует заметить, что значения коэффициента Пуассона всегда выше, чем коэффициента поперечного расширения.

ВЫВОДЫ

1. Значения скоростей продольных V_p и поперечных V_s волн с ростом дисперсности сначала возрастают при переходе от суглинка тяжелого пылеватого к суглинку тяжелому песчанистому, а затем снижаются для песчанистой супеси, причем разброс значений скоростей уменьшается при переходе к менее дисперсным грунтам. Это объясняется, с одной стороны, более высоким распространением скоростей между песчаными частицами, имеющими непосредственные контакты, по сравнению с глинистыми, а с другой, - высокими скоростями распространения продольных волн в жидкой среде по сравнению с воздухом.

2. Получены похожие зависимости изменения динамических (косвенных) и статических (прямых) показателей деформационных свойств от дисперсности, плотности, плотности скелета и влажности при содержании песчаной фракции не более 25% и влажности 7-16%.

3. Полученное линейное уравнение связи $E_0=0,052E_d+4$ для модельных глинистых грунтов позволяет оценить значения модуля общей деформации при известном значении динамического модуля упругости в диапазоне плотностей 1,42-2,28 г/см³, твердой консистенции.

Полученные результаты следует считать промежуточным этапом в изучении глинистых отложений. Работа требует дальнейшего изучения реальных, а не модельных грунтов. Кроме того, известно, что для глинистых грунтов зависимость скоростей упругих волн от частоты является существенной, что позволяет ожидать некоторого изменения уравнения связи модуля общей деформации с упругими характеристиками грунтов на более низких частотах, используемых в полевой сейсморазведке.

Список литературы:

1. ГОСТ 25100-95
2. Изучение физ-мех свойств лессовых пород сейсмоакустическими методами. И.Г.Миндель. Труды ПНИИИС, т.4. Москва, 1970. 278-297с.
3. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. М.: Изд-во МГУ, 1981. 176 с.
4. Савич А.И., Яценко З.Г. Исследование упругих и деформационных свойств горных пород сейсмоакустическими методами. М.: Недра, 1979. 214 с.