

ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И АРХИТЕКТУРЫ

УДК 624.154.3:550.834

На правах рукописи

ГРИШЕЧКИН Сергей Анатольевич



ЭКСПРЕСС-ОЦЕНКА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

УПЛОТНЕННЫХ ОСНОВАНИЙ

05.23.02 - Основания и фундаменты

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Днепропетровск 1996

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в научном институте механики грунтов Днепропетровского технического университета

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00761679 (-)

Научный руководитель

- доктор технических наук,
профессор ТИМОШЕЕВА Л.М.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук,
профессор ШКОЛА А.В.
- кандидат технических наук,
доцент ШВЕЦ Н.С.

Ведущая организация

- специализированный трест
"Дгстроймеханизация"

Защита диссертации состоится "21" XII 1995г.
в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого
совета Д 03.07.01 при Приднепровской государственной
академии строительства и архитектуры по адресу:
320600, г.Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ПГАСиА.

Автореферат разослан "20" XI 1995г.

Ученый секретарь

специализированного

ученого совета, к.т.н., доц. *А. Лукьянкова* Лукьянкова А.Н.

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь т е м ы. При возведении различного рода земляных сооружений (грунторвых подушек, насыпных и насыпных геотехнических массивов, замощенных автомобильных и железных дорог, гидротехнических сооружений) важной задачей является определение степени их неоднородности, влияющей на напряженно-деформированное состояние грунтовых массивов. Степень неоднородности зависит от способа возведения и гранулометрического состава грунтов, однако даже при наличии однородной песчаной массы она достаточно высока.

Неоднородность грунтовых масс характеризуется следующими фазовыми параметрами: плотностью сухого грунта ρ_d , степенью плотности I_d и показателем уплотнения K_d . Для их определения используют либо методы непосредственного отбора образцов уплотненного грунта, либо косвенного определения пенетрацией или зондированием. Однако эти способы из-за дороговизны и трудоемкости не позволяют достоверно оценить однородность больших объемов уплотняемого грунта (по СНиП 3.02.01-63 количество пунктов определения плотности устанавливается из расчета одного пункта на каждые 300 м^2 уплотненной площади); строители вынуждены судить о достаточной степени уплотнения по отказу уплотняющих или трамбующих механизмов, хотя малый отказ могут давать и недоуплотненные или сильно агрегированные грунты. Кроме того, при использовании этих методов нарушается структура грунта, что сказывается на точности полученных результатов. Поэтому в последнее время получает все большее распространение методы неразрушающего контроля плотности, такие как радиоизотопный и геоакустический.

Наиболее перспективным является геоакустический метод, позволяющий получить в течение короткого времени данные о физико-ме-

ханических параметрах уплотненных грунтов и совершенно безопасный для производителей работ. В настоящее время в Днепропетровском транспортном университете разработан экспресс-метод геоакустического контроля, внедрение которого сдерживается из-за отсутствия надежной методики его использования и теоретического обоснования получаемых результатов. Таким образом, тема диссертационной работы, посвященной исследованию зависимостей акустических и физико-механических характеристик и разработка методики применения геоакустического контроля при возведении грунтовых массивов является актуальной.

Цель работы состоит в экспериментально-теоретическом обосновании применимости геоакустического способа контроля физико-механических свойств уплотняемых грунтов и разработке методики его использования при возведении земляных сооружений различного назначения.

Основные задачи исследований.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи :

1. Провести анализ существующих геоакустических методов определения физико-механических свойств различных видов грунтов.
2. Исследовать акустические свойства грунтов естественной и нарушенной структуры в зависимости от их гранулометрического и фазового состава с учетом фактора времени в лабораторных и полевых условиях.
3. Разработать геоакустическую аппаратуру для лабораторных и полевых исследований.
4. Рассмотреть существующие геоакустические модели и установить наиболее адекватные геоакустические модели различных грунтов.
5. Разработать методику геоакустических полевых испытаний уплотняемых грунтовых масс и составить рекомендации по геоакустичес-

кому контролю уплотнения.

6. Разработать методику определения прочностных и деформативных свойств грунтовых массивов по данным геоакустических испытаний.

Научная новизна работы заключается в следующем :

1. Изучены акустические свойства глинистых грунтов в широком диапазоне влажности.
2. Предложена наиболее адекватная геоакустическая модель грунта, учитывающая физико-химическое взаимодействие между глинистыми частицами.
3. Введен и теоретически, и экспериментально обоснован новый геоакустический параметр грунта - "длительность фронта упругого импульса", позволяющий повышать информативность контроля.
4. Разработан ряд геоакустических устройств, признанных изобретением.
5. Разработаны рекомендации по геоакустическому контролю уплотнения грунтов.
6. Предложен способ определения прочностных и деформативных свойств возводимых земляных сооружений различного назначения по данным геоакустического контроля.

Практическая ценность работы заключается в том, что:

- разработанная аппаратура и предложенные рекомендации позволяют повысить эффективность и качество уплотнения грунтов ;
- определить зоны повышенной сжимаемости и пониженной прочности земляных сооружений и установить степень их неоднородности.

Внедрение результатов работы. Предложенные аппаратура и методика контроля внедрены на целом ряде строительных объектов : канал Днепр-донбасс ; Рогунская ГЭС;

на объектах трестов "Югстоймеханизация", "Днепроспецэкскавация", "Днепроблавтодор", "Крымавтодор", "Краснодарагропромдорстрой", а также на предприятиях Госводхоза Украины.

Устройство для контроля плотности грунтов УБИ-2 выпускается Опытно-экспериментальным предприятием "Днепр" г. Днепропетровск, а методика контроля вошла составной частью в Республиканские строительные нормы РСН337-9Г, утвержденные Госстроем УССР 23.05.91г. № 6Г.

На защиту вносятся:

1. Результаты экспериментально-теоретических исследований акустических свойств глинистых грунтов.
2. Геоакустическая модель глинистого грунта и новый геоакустический параметр - "длительность фронта упругого импульса".
3. Методика геоакустического контроля уплотнения грунтовых масс в полевых условиях.
4. Методика оценки деформативных и прочностных свойств грунтов по данным геоакустических испытаний.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Основные положения и выводы диссертационной работы докладывались на республиканской школе Госводхоза Украины "Повышение качества строительных работ, ресурсосбережение, экономии строительных материалов" (г. Каховка, 1991); XV научно-технической конференции сотрудников ИРИТта и специалистов эксплуатации и строительства железных дорог Сибири и БАМа (Иркутск, 1990); научном семинаре кафедры "тоннели, основания и фундаменты" ДИИТа (Днепропетровск, 1993).

П у б л и к а ц и и . По теме диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ, в том числе 7 авторских свидетельств, и получено 2 решения ВНИИПЗ на выдачу патента.

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы . Диссертация состоит из вступления, шести разделов и основных выводов. Объем

объем работы составляет 197 страницы, в том числе 139 страниц машинописного текста, 66 рисунков, 9 таблиц, списка использованной литературы из 156 наименований отечественных и зарубежных авторов на 21 страницах.

Д и с с е р т а ц и я в ы п о л н е н а в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта в научно-исследовательской лаборатории механики грунтов под руководством профессора, доктора технических наук Тимофеевой Лидмилы Михайловны, а также научного консультанта кандидата технических наук Берман Марии Александровны, которым автор выражает свою искреннюю благодарность.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и сформулированы цель и задачи исследований.

Первый раздел посвящен анализу геоакустических свойств грунтов и взаимосвязи их с физико-механическими свойствами.

Значительный вклад в этом направлении внесли Баркан Д.Д., Берман М.А., Вондарев В.И., Боцко Э.А., Гольдштейн М.И., Горяинов Н.Н., Григорьев В.А., Зарецкий Б.К., Кожевников А.Д., Коншин Г.Г., Красников Н.Д., Кригер Н.И., Ляховицкий Ф.М., Миндель И.Г., Мойсейчик Е.К., Никитин В.Н., Савич А.И. и др.

Несмотря на множество публикаций, нет единого мнения о влиянии физических свойств грунтов (плотность, влажность) на скорость упругих волн. В глинистых грунтах обнаружен (Кригер Н.И., Кожевников А.Д.), так называемый, "парадоксальный" интервал влажности, в пределах которого увеличение влажности приводит к уменьшению скорости упругих волн. Поэтому контроль уплотнения грунтов с помощью геоакустики требует применения корреляционных зависимостей вида $V_p = f(\rho_d)$ при постоянной влажности ($w = const$).

Значительно меньшее число публикаций имеется по вопросу определения реологических свойств, структурных и текстурных особенностей грунтов с применением геоакустики. В то же время, контроль процесса структурообразования в глинистых грунтах нарушенной структуры, используемых для возведения оснований, чрезвычайно важен.

При геоакустических исследованиях наиболее надежно, точно и оперативно определяется скорость продольных волн. Она является интегральной характеристикой вида грунта, его плотности, влажности, развития структурных связей. Для дифференциации этих параметров, очевидно, необходимо повышать информативность геоакусти-

ческого контроля. С этой целью различные исследователи проводили измерение скорости поперечных и поверхностных волн, затухание продольных, поперечных и поверхностных волн. Увеличение числа регистрируемых параметров повышает надежность геоакустического контроля, хотя снижает его экспрессность. Поэтому повышение информативности геоакустического контроля при сохранении его оперативности, по-прежнему, актуально.

Геоакустика позволяет реализовать различные методики контроля. Так при исследовании больших грунтовых массивов (плотины, насыпи и т.п.) целесообразно использование методов сейсмической томографии, которая позволяет получить распределение ^{искомого параметра} в объеме. Для оперативного контроля процесса возведения основания более эффективно использование площадной съемки, позволяющей получить распределение искомого параметра на строительной площадке.

Корреляционные связи акустических и физико-механических свойств грунтов по данным различных авторов отличаются не только коэффициентами, но и видом зависимостей. В большинстве своем это линейные зависимости вида $\rho = A \cdot V_p + B$, где A и B постоянные коэффициенты, определяемые типом грунта и его состоянием. Реже используются степенные зависимости: $\rho = a \cdot V_p^b$, причем показатель степени лежит в пределах $0,2 \leq b \leq 0,5$. Для деформативных параметров грунтов используют более сложные корреляционные уравнения. В частности в ЦНИИСе получено уравнение такого вида:

$$E_{дест} = C \cdot V_p + D \cdot V_s + E \cdot \rho_d + (W_L + F) \cdot (\rho_d + G) + H,$$

характеризуемое коэффициентом множественной корреляции $r = 0,83$.

А для определения прочностных свойств грунтов практическое применение получили корреляционные уравнения вида: $C = K \cdot V_p + M \cdot \text{tg } \varphi = k \cdot L_s$, где L_s - декремент затухания упругих поперечных волн.

Во втором разделе приведены результаты лабораторных исследований по установлению взаимосвязи между акусти-

ческими и физико-механическими характеристиками глинистых грунтов.

Образцы изготавливались из увлажненного глинистого порошка в разъемном контейнере методом прессования. Диаметр образцов 100 мм, высота 60 мм. Образцы прозвучивались частотой 60 кГц приборами УК-ГОМС и УК-14ГМ с применением разработанного с участием автора сервисного устройства для крепления ультразвуковых датчиков.

В результате экспериментальных исследований было установлено, что корреляционные зависимости "скорость продольных волн - плотность скелета грунта" при фиксированных значениях влажности являются линейными в исследованном интервале плотности ($1,30 \text{ г/см}^3 \leq \rho_d \leq 1,70 \text{ г/см}^3$) с высоким коэффициентом корреляции: $r = 0,95 - 0,99$. Изменение влажности от нулевой и до значений, близких к пределу раскатывания, приводит к изменению угла наклона прямой $V_p = f(\rho_d)$ (рис. 1). Увлажнение грунта при неизменной плотности скелета приводит к нелинейной зависимости $V_p = f(W)$ (рис. 2). Экспериментально показано, что перепад скоростей ΔV_p в "парадоксальном" интервале зависит не только от числа пластичности (как ранее установлено Кригером Н.И.), но и от плотности скелета. А влажность W^* , соответствующая первому максимуму кривой $V_p = f(W)$ (рис. 2) не зависит от плотности скелета и определяется числом пластичности грунта. Для более дисперсных грунтов влажность W^* возрастает (рис. 3). При заполнении пор глинистого грунта неполярной жидкостью, в частности, соляровым маслом, влажность W^* , соответствующая первому максимуму кривой $V_p = f(W)$ становится зависимой от плотности скелета (рис. 4). Однако, степень заполнения пор неполярной жидкостью в точке, соответствующей экстремуму W^* , остается постоянной ($S_r = 0,33$), что, очевидно, соответствует максимуму капиллярных сил в грунте.

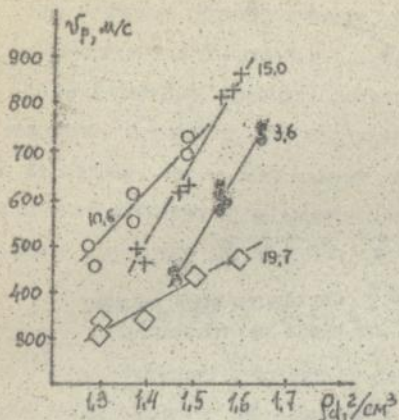


Рис. 1. Зависимость скорости продольных волн от плотности скелета грунта. Числа у прямых соответствуют влажности грунта в процентах. Грунт - суглинок: $W_p = 0,220$, $W_L = 0,332$, $J_p = 0,112$.

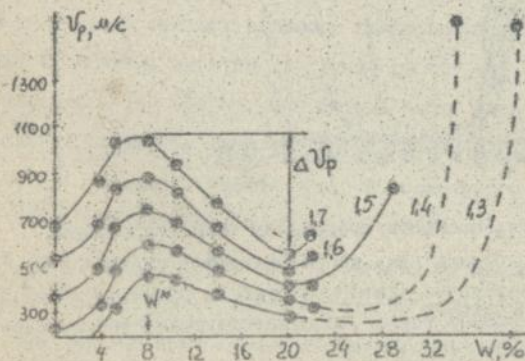


Рис. 2. Зависимость скорости продольных волн от влажности суглинка ($W_p = 0,220$, $W_L = 0,332$, $J_p = 0,112$). Числа у кривых соответствуют плотности скелета грунта в $г/см^3$. ΔV_p - перепад скоростей в "парадоксальном" интервале.

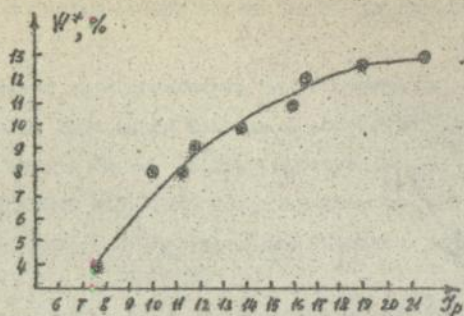


Рис. 3. Зависимость влажности W^* , соответствующей первому экстремуму кривой $V_p = f/W$ от числа пластичности.

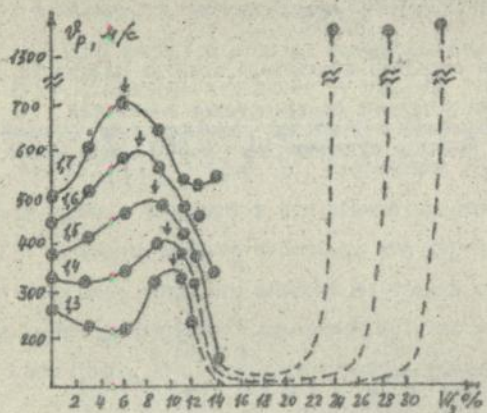


Рис. 4. Зависимость скорости продольных волн от влажности суглинка в случае, когда в роли влаги выступает соляровое масло. Числа у кривых соответствуют плотности скелета грунта в $г/см^3$. Стрелкой на кривой указана точка, соответствующая степени влажностности $S_p = 0,33$.

При изучении процессов структурообразования образцы грунта после изготовления помещались в эксикатор для сохранения влажности. Периодически в образцах измеряли скорость продольных волн, по изменению которой судили о развитии структурных связей в грунте. Оказалось, что только наличие воды ($W \geq 0,01$) приводит к возрастанию скорости продольных волн с течением времени. Эта зависимость имеет вид :

$$V_p = V_0 + (k \cdot V_0 + m) \cdot \ln t,$$

где, V_0 - начальная скорость продольных волн ; k, m - эмпирически коэффициенты ; t - время в часах ($t > 1$).

В образцах с неполярной жидкостью (солнечное масло, четыреххлористый углерод) скорость продольных волн с течением времени не изменяется.

Экспериментально установлено, что при неизменной плотности скелета существует такая влажность грунта, при которой наблюдается наибольший прирост скорости продольных волн ΔV_p^{100} за определенный промежуток времени (в данной работе $\Delta t = 100$ часо^в). И эта влажность тем больше, чем больше число пластичности грунта. Увеличение плотности скелета грунта однозначно приводит к возрастанию V^{100} . Однако зависимость относительного прироста скорости $\Delta V^{100}/V_{нач}$ от плотности скелета является экстремальной функцией. Причем максимум этой функции не зависит от влажности грунта. Этот максимум соответствует такой плотности скелета $\rho_{d\text{ap}}$, при которой наиболее активно идут процессы структурообразования. Возрастание числа пластичности ведет к уменьшению $\rho_{d\text{ap}}$ (рис. 5). Структурообразование наиболее активно идет в первые 20 - 30 часов после изготовления образцов. Это приводит к тому, что корреляционная зависимость $V_p = f(\rho_d)$ полученная сразу после изготовления образцов не совпадает с корреляционной зависимостью полученной

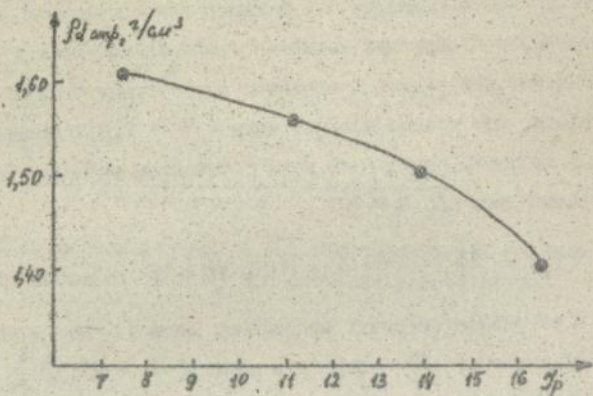


Рис. 5. Зависимость плотности структурообразования от числа пластичности грунтов.

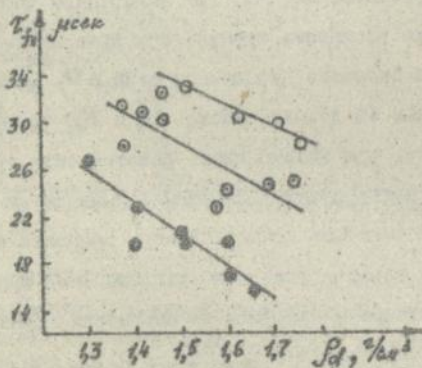


Рис. 6. Зависимость $\tau_d = f / Sd$ для легкого суглинка $I_p = 0,075$.

- - $W = 0,044$, $\tau_d = 60,8 - 27,0 \cdot \rho_d$, $r = 0,95$.
- - $W = 0,101$, $\tau_d = 63,0 - 23,3 \cdot \rho_d$, $r = 0,88$.
- ⊙ - $W = 0,148$, $\tau_d = 59,3 - 17,5 \cdot \rho_d$, $r = 0,93$.

через некоторый промежуток времени. Так для суглинка ($\mathcal{I}_p = 0,138$;

$$W = 0,133) \text{ имеем: } \bar{V}_p = 950 \rho_d - 760 \text{ при } \Delta t = 0 \text{ часов и}$$
$$\bar{V}_p = 1200 \rho_d - 1045 \text{ при } \Delta t = 100 \text{ часов.}$$

В третьем разделе рассмотрены геоакустические модели среды. То есть такие модели, которые, на основании определенных гипотез, устанавливают взаимосвязь между акустическими и физическими параметрами грунтов. Это модели сплошной и зернистой среды. В моделях сплошной среды абстрагируются от внутреннего строения материала и вводят его обобщенные характеристики (модули упругости, коэффициент вязкости и т.п.). Для реальных грунтов эти характеристики зависят от их физических свойств, что затрудняет применение моделей.

Модели зернистой среды позволяют найти соотношение между регулируемыми и искомыми параметрами с учетом физических характеристик фаз грунта (твердой, жидкой и газообразной). Простейшей моделью зернистой среды является сплошная трехфазная среда, в которой время распространения упругой волны в каждой фазе суммируется (формула среднего времени). Такая модель, как показывает опыт, пригодна только для скальных трещиноватых пород.

для песчаных грунтов применимы модель разномодульной трехфазной среды и ее модификация - модель Бондарева В.И. Эти модели основаны на предположении о том, что сжимаемость смеси равна сумме сжимаемостей компонент с учетом объемного содержания каждой компоненты (формула Вуда).

Рассмотрена также контактная модель, в которой зернистая среда представляется в виде упаковки упругих твердых шаров. Основные зависимости для этой модели получены Ф.Гассманом, И.Уайтом и Р.Сегенбулем. Ф.М.Ляховицкий представил полученные ранее зависимости по иному, а именно: квадрат скорости продольных волн в такой модели равен сумме квадратов объемной и контактной состав-

ляющей. Объемная составляющая определяется по формуле Буда, а контактная - является функцией давления на контактах шаров. В модели Г.Н.Назарова шары окружены глинистой оболочкой. И он предложил дополнительные слагаемые в формулу Ф.М.Ляховицкого: квадрат капиллярной и квадрата цементационной составляющей. Проведенные Г.Н.Назаровым теоретические зависимости $V_p = f(W)$ качественно совпадают с экспериментальными для грунтов с неполярным порозаполнителем (рис. 4). С тем отличием, что по теории Г.Н.Назарова максимум наблюдается при $S_p = 0,5$, а в эксперименте - при $S_p = 0,33$.

Применение существующих моделей к глинистым грунтам практически неправомерно в связи с существенным отличием экспериментальных и теоретических зависимостей. Эти модели не объясняют наличие "парадоксального" интервала, изменение скорости упругих волн с течением времени и другие особенности прохождения волн в трехфазных пластичных грунтах.

В данной работе предложена модель, учитывающая физико-химическое взаимодействие между частицами. Предполагается, что скорость продольных волн является линейной функцией энергии связи глинистых частиц.

Поверхность глинистых частиц заряжена отрицательно. Такой заряд возникает при изоморфных замещениях в кристаллической структуре глинистых минералов. Этот заряд нейтрализуется катионами - компенсаторами, которые размещаются на внешних гранях кристаллов. В то же время, наличие заряда поверхности приводит к ее гидратации полярными молекулами воды. На поверхности частиц образуется сплошная гидратная пленка связанной воды, отличающейся по своим свойствам от свободной воды. В результате гидратации энергии связи катионов с поверхностью частицы ослабевает, поэтому часть катионов под влиянием теплового движения удаляется от нее. Эти

катионы участвуют в образовании ионно-электростатических связей. При сближении двух дисперсных частиц происходит перекрытие их диффузных слоев и, следовательно, изменяется распределение потенциала между ними. А это, в свою очередь, приводит к увеличению концентрации катионов в зазоре между частицами, так как для них энергетически выгодно находиться в потенциальной яме. При таком расположении катионы будут взаимодействовать с обеими сближаемыми поверхностями. За счет этого образуются ионно-электростатические "мостики" между частицами. В виду повышенной вязкости связанной воды, перемещение катионов в потенциальную яму происходит в течении некоторого времени. Это и приводит к наблюдаемому в эксперименте росту U_p при изменении t .

Наличие первого максимума на кривой $U_p = f(W)$ (рис.2) обусловлено действием ионно-электростатических сил. Это подтверждает несложный расчет. При увлажнении сухого глинистого порошка вначале вся вода связывается глинистыми частицами. Так как ионно-электростатические силы притяжения являются силами среднего радиуса действия и становятся особенно заметными при сближении дисперсных частиц на расстояние 2 - 3 нм, то будем считать, что первый максимум соответствует тому случаю, когда вокруг глинистых частиц слой связанной воды достигает 1,5 нм. Объем связанной воды будет определяться удельной поверхностью глинистых частиц, которая для монтмориллонита, в частности, достигает 120 м^2 на 1 г вещества. И учитывая, что плотность прочно связанной воды $\rho_{об} = 2,4 \text{ г./см}^3$, сравним теоретическое и экспериментальное значение влажности W^* соответствующее первому максимуму кривой $U_p = f(W)$ для некоторых исследованных глинистых грунтов:

$U_p = 0,075$	$W_{теор}^* = 4,3\%$	$W_{эксп}^* = 4\%$
$U_p = 0,112$	$W_{теор}^* = 7,8\%$	$W_{эксп}^* = 8\%$
$U_p = 0,138$	$W_{теор}^* = 10,4\%$	$W_{эксп}^* = 10\%$

Таким образом, предложенная методика позволяет рассчитать начало "парадоксального" интервала. Увлажнение грунта сверх W^* приводит к увеличению толщины гидратной пленки между глинистыми частицами и, следовательно, к уменьшению энергии связи между ними. Тогда уменьшается и скорость продольных волн. Это уменьшение наблюдается либо до влажности, соответствующей полному насыщению пор водой, либо до влажности, соответствующей появлению свободной воды в грунте.

Предложенная методика качественно объясняет существование $\rho_{d\text{кр}}$, т.е. такой плотности сухого грунта, при которой наиболее активно идут процессы структурообразования. Очевидно, эта плотность соответствует тому случаю, когда расстояние между глинистыми частицами отвечает максимуму действия ионно-электростатических сил притяжения, т.е. 2 - 3 нм. Естественно, что для более дисперсных грунтов $\rho_{d\text{кр}}$ уменьшается (рис. 5).

В четвертом разделе рассмотрены вопросы, связанные с полевыми геоакустическими исследованиями уплотнения грунтов. Это в первую очередь полевая геоакустическая аппаратура. Приведена сравнительная характеристика способов, как известных, так и разработанных, позволяющих повысить точность регистрации сигнала. Показано, что минимальной погрешностью обладает способ коррекции, учитывающий амплитуду и частоту сигнала. Описаны ряд устройств, защищенных авторскими свидетельствами, предназначенных для полевых геоакустических работ.

Другим важным вопросом является определение глубины слоя формирующего параметры регистрируемой упругой волны. Теоретический расчет показывает, что это слой мощности в четверть длины волны. Опытные данные подтверждают этот расчет.

В этом же разделе рассмотрена и методика оценки однородности уплотнения грунтов, заключающаяся в измерении на строительной

площадке скорости продольных волн V_p и построения кривой распределения V_p . Мерой однородности S принята ширина кривой распределения на уровне 0,5 высоты. Хорошим (в смысле однородности) уплотнением считается, когда $S \leq 50$ м/с; удовлетворительным при $50 \text{ м/с} < S \leq 100 \text{ м/с}$; неудовлетворительным при $S > 100 \text{ м/с}$. Применение этой методики увеличивает представительность контроля в несколько раз и позволяет вовремя вносить коррективы в процесс уплотнения.

И в конце четвертого раздела описано применение геоакустического тамера УВН-2 непосредственно на грунтоуплотняющем механизме. Этот прибор установлен в кабине пневмокатка ДУИГ, а излучатель и приемник закреплены на крайних уплотняющих секциях и устанавливаются на поверхность грунта с помощью гидроцилиндров. Ручка управления гидроцилиндрами находится в кабине пневмокатка. Машинист имеет возможность, не выходя из кабины, опустить излучатель и приемник на поверхность грунта, произвести измерение скорости продольных волн в грунте и, при необходимости, продолжить или закончить уплотнение.

В пятом разделе теоретически и экспериментально обосновывается возможность повышения информативности геоакустического контроля. Предлагается помимо скорости продольных волн, дополнительно измерять длительность фронта геоакустического импульса. Это обусловлено тем, что временные параметры импульса упругой волны измеряются просто, быстро и точно, в отличие от динамических (амплитуда, затухание и т.п.).

Рассмотрено распространение в поглощающей среде σ - импульса. Показано, что его форма изменяется и выражается формулой:

$$\rho(x, t) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{x/2 \cdot V \cdot a}{(x/2 \cdot V \cdot a)^2 + (x/V - t)^2} \quad (1)$$

где X - расстояние между точками излучения и приема; V - скорость продольной волны; Q - добротность; t - время.

А длительность фронта импульса получаем как интервал между точкой пересечения касательной к кривой $\rho(X, t)$ в точке перегиба и точкой экстремума этой кривой:

$$\tau_f = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{X}{V \cdot Q} \quad (2)$$

Эта формула показывает, что длительности фронта геоакустического импульса зависит как от кинематических, так и от динамических параметров упругой волны, которые в свою очередь определяются физико-механическими характеристиками грунтов.

Результаты лабораторного эксперимента подтверждают наличие корреляционных зависимостей между длительностью фронта акустического импульса и физико-механическими свойствами грунтов (рис. 6). Это позволяет получать для конкретного вида грунта обобщенную корреляционную зависимость $\rho_d = f(V_p, \tau_f)$, в которой влажность как параметр исключена. То есть, измерив скорость продольных волн и длительность фронта импульса можно определить плотность скелета грунта без дополнительных измерений влажности. Для некоторых грунтов в работе получены такие зависимости.

В шестом разделе приведены результаты практического применения геоакустического метода к анализу физико-механических свойств уплотненных грунтов. Полевая корреляционная зависимость $\rho_d = f(V_p)$ имеет вид: $\rho_d = A \cdot V_p + B$. В таблице I приведены значения коэффициентов A и B для грунтов различных строительных объектов, при этом размерность ρ_d в г/см³, а V_p в м/с.

Таблица I.

№	Объект	Тип грунта (J_p)	A x 10 ³	B	C	D
1.	автодорога Новомосковск - Навлоград	суглинок (II,0)	2,50	0,91	0,14	14
2.	автодорога Светловодск - Чигирин	супесь (5,6)	1,35	1,33	0,06	43
3.	автодорога Горошино - Туркалы	суглинок (7,5)	1,02	1,34	0,27	18
4.	основание теплицы с. Мокрянка	глина (2I,5)	5,1	0,6	0,6	6I
5.	упорная призма Рогунская ГЭС	щебенисто- галечниковый	1,69	1,62		
6.	основание здания г. Запорожье	шлак	2,19	1,26		

Геоакустический метод позволяет организовать полный контроль качества возведения автодорог. Начиная с определения плотности глинистых грунтов тела насыпи, затем щебенистого слоя и заканчивая определением коэффициента уплотнения K_u асфальто-бетона. К примеру, для асфальтобетона типа Б была получена такая корреляционная зависимость :

$$K_u = 1,87 \times 10^{-4} v_p + 0,77.$$

Средление деформативных параметров грунтов с помощью геоакустики также предполагает предварительное получение корреляционной связи $E = f(v_p)$. Однако, если в случае определения

плотности корреляционная связь должна быть получена при фиксированной влажности, то для определения модуля деформации это требование менее существенно. Так как изменение влажности грунта приводит к почти пропорциональному изменению и скорости продольных волн, и модуля деформации. Более существенно влияние аппаратуры и методики определения модуля деформации. При определении модуля деформации в компрессионных приборах ДИИ-1 и измерении скорости продольных волн с помощью прибора УВИ-2 корреляционная зависимость получена в виде $E = C \times U_p + D$. Значения коэффициентов C и D для некоторых грунтов приведены в таблице 1 (размерность E при этом кг/см^2).

Для определения прочностных параметров грунтов (C и φ) необходимо помимо скорости продольных волн U_p измерять длительность фронта ультразвукового импульса T_f . Корреляционные связи отыскиваются в виде $C = F \times U_p + G$; $\varphi = H \times T_f + M$. При этом прочность определяется в условиях одноплоскостного сдвига (III - сдвиг), а скорость продольных волн и длительность фронта - на образцах с помощью прибора УК-14ИМ. Результаты в таблице 2.

Таблица 2.

№	Тип грунта (T_p)			H	M
1.	пылеватый суглинок (8,4)	$2,1 \times 10^{-4}$	-0,05	-3,2	78,8
2.	краснобурая глина (24,5)	$2,3 \times 10^{-4}$	-0,06	-1,95	70,1
3.	смесь каолин-иллит (23,1)	$2,2 \times 10^{-4}$	-0,05	-2,22	62,2

В приведенных зависимостях используют следующие размерности: C в МПа; U_p в м/с; φ в град; T_f в миксек.

И в заключение шестого раздела приведем проект: "Правила применения геокустического таймера УВИ-2 для контроля качества уплотнения грунтов". Эти правила составлены в развитие РНС-337-91 утвержденных Госстроем Украины 23.05.91г. И включают в себя:

1. Общие положения : где обозначены основные области применения геоакустического таймера УВИ-2 и физические предпосылки его использования. 2. Устройство и порядок работы с геоакустическим таймером УВИ-2. 3. Технология контроля : где рассмотрены методики определения плотности грунтов, оценки однородности уплотнения слоя грунта, определения эффективного числа проходов грунтоуплотняющего механизма. 4. Пример проведения контроля качества уплотнения грунтов с применением геоакустического таймера УВИ-2.

Общие выводы

В результате проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Практическое применение геоакустического метода позволяет оперативно контролировать плотность грунтов, их деформативные и прочностные параметры. Используемые для этого эмпирические уравнения имеют высокий коэффициент корреляции ($R \geq 0,80$).

2. Скорость упругих волн в грунтовых средах зависит от плотности и влажности грунта. Обнаружен, так называемый "парадоксальный" интервал влажности, в пределах которого увеличение влажности приводит к уменьшению скорости упругих волн в глинистых грунтах. В песчаных и крупнообломочных грунтах определяющее влияние на скорость упругих волн U_p оказывает плотность ρ_d (при значительном влиянии влажности в пределах $S_r \leq 0,8$): При полном их водонасыщении ($S_r > 0,8$) скорость упругих волн возрастает до скорости упругих волн в воде.

3. Установлено, что перепад скоростей ΔU_p в "парадоксальном" интервале зависит не только от числа пластичности, но и от плотности грунта в сухом состоянии. А влажность W^* , соответствующая первому экстремуму, т.е. началу "парадоксального"

интервала, определяется числом пластичности грунта.

4. Обнаружено, что существует такая плотность ρ_{dcp} , при которой наиболее активно идут процессы структурообразования, т.е. относительный прирост скорости продольных волн максимален. Значения ρ_{dcp} обратно пропорциональна числу пластичности ρ .

5. При изучении влияния фактора времени на геоакустические свойства глинистых грунтов получено, что скорость продольных волн в образцах растет с момента их изготовления по логарифмическому закону. Поэтому для геоакустического контроля необходимо использовать корреляционное уравнение вида $v_p = f(\rho_d, t \pm)$.

6. Теоретический анализ показал, что слой грунта мощностью в четверть длины волны формирует параметры упругого импульса. Это подтверждено опытными данными. Поскольку длина упругой волны при работе с приборами ВВ-2, ВВ-3 изменяется в пределах 0,8-2,0 м, а значит осуществляется контроль уплотняемого слоя мощностью 0,2-0,5 м.

7. Предложена физическая модель глинистого грунта, основанная на учете физико-химического взаимодействия между частицами. Скорость упругих волн в такой модели является функцией энергии связи частиц. Расчет влажности W^* начала "парадоксального" интервала по этой модели дает совпадающие с экспериментом результаты. Удовлетворительно объясняются также и рост скорости продольных волн с течением времени, и уменьшение ρ_{dcp} с ростом числа пластичности, и другие явления.

8. Полученные корреляционные зависимости $v_p = f(\rho_d)$ при $W = const$ являются линейными в пределах $1,30 \leq \rho_d \leq 1,70$ г/см³, а зависимости $v_p = f(W)$ при $\rho_d = const$ - нелинейными с двумя экстремумами, определяющими величину "парадоксального" интервала. Модуль деформации E также

линейная функция скорости продольных волн V_p с границами применимости $50 \text{ кг/см}^2 \leq E \leq 400 \text{ кг/см}^2$. Сцепление C является линейной функцией скорости продольных волн, а угол внутреннего трения φ - линейной функцией длительности фронта упругого импульса, причем, $0 < C \leq 0,15 \text{ МПа}$, $0 < \varphi \leq 50^\circ$.

9. Установлено, что длительность фронта акустического импульса T_f содержит информацию о физико-механических свойствах грунтов. Показана возможность получения обобщенных корреляционных зависимостей $\rho_d = f(V_p, T_f)$ для глинистых грунтов различной консистенции.

10. Разработана методика оценки однородности уплотнения грунтов в которой мерой неоднородности является ширина кривой распределения скоростей упругих волн. Эта методика увеличивает представительность контроля уплотнения грунта в несколько раз и позволяет вовремя вносить коррективы в процесс уплотнения.

11. Составлены "Правила применения геоакустического таймера УВИ-2 для контроля качества уплотнения грунтов", которые являются развитием РСНЗ37-91, утвержденных Госстроем Украины 23.05.91.

12. Разработанные низкочастотные геоакустические приборы УВИ-2 и УВИ-3 (улучшенная модификация УВП-ДИИТ) позволяют быстро и оперативно производить многочисленные замеры плотности укладываемого слоя и признаны изобретениями. Внедрение приборов на строительных объектах трестов "Дгстроймеханизация" и "Краснодарагропромдортрой" позволило получить экономический эффект 190 тыс. руб. (в ценах 1991-92 гг.). Установленный на пневмокатке ДУ-16Г (МК-16, г. Запорожье) прибор УВИ-2 позволяет контролировать плотность грунта в процессе работы.

Основные положения диссертации опубликованы в работах :

1. Гришечкин С.А. Определение качества укрепительной цементации и обделки тоннелей. Раздел 7.9 в книге Глушко Б.Т., Яланский В.С., Яланский А.А. "Геофизический контроль в шахтах и тоннелях", М., Недра, 1987, с. 247-257.

2. Гришечкин С.А. Выделение поперечных волн при контроле состояния инженерных сооружений (тоннели, земляное полотно) сейсмическим методом. В сб. "Устойчивость геотехнических сооружений на железнодорожном транспорте", Днепропетровск, ДДТ, 1989, с. 84-89.

3. Методические указания по послойному контролю качества строительства земляных сооружений. /М.А.Берман, В.А.Макаренко, Н.В.Коноваленко, С.А.Гришечкин./ Днепропетровск, ДДТ, 1990, 13с.

4. Берман М.А., Гришечкин С.А. Об оценке однородности уплотнения грунтов. (В печати).

5. А.с. 1221581. Способ измерения времени распространения поперечных волн. /В.Т.Глушко, Н.А.Глухов, А.А.Яланский, Г.В.Валицкий, В.А.Глухих, С.А.Гришечкин./ Б.и. № 12, 1986.

6. А.с. 1231428. Устройство для определения плотности грунтов./В.Т.Глушко, С.А.Гришечкин, Г.А.Голобородько, А.Н.Стаценко./ Б.и. № 18, 1986.

7. А.с. 1245992. Способ определения параметров поперечных волн в твердой среде./В.Т.Глушко, С.А.Гришечкин./ Б.и. № 27, 1986.

8. А.с. 1259184. Устройство для контроля физико-механических свойств образцов материалов./В.Т.Глушко, А.А.Яланский, В.М.Вобренко, А.Н.Фимар, С.А.Гришечкин, В.А.Глухих./ Б.и. № 23, 1990.

9. А.с. 1635120. Способ определения параметров акустических волн в образце твердой среды./В.Т.Глушко, М.А.Берман,

С.А. Гришечкин. Б.и. № 10, 1991.

10. А.с. 1746293 Способ определения времени распространения акустических колебаний в среде /В.Т. Глушко, С.А. Гришечкин. Б.и. № 25, 1992.

11. А.с. 1749379 Устройство для определения плотности грунтов / М.А.Берман, С.А.Гришечкин, В.А.Бражников, А.М.Якоби./ Б.и. № 27, 1992.

12. Заявка № 5006389/33 Устройство для определения плотности грунта /М.А.Берман, В.Н.Литвиненко, С.А.Гришечкин. Решение ВНИИПЭ от 04.01.92 о выдаче патента.

13. Заявка № 5006523/28 Способ измерения времени распространения акустических колебаний в материалах /С.А.Гришечкин. Решение ВНИИПЭ от 15.09.92 о выдаче патента.

Гришечкин С.А. Експрес-оцінка фізико-механічних властивостей ущільнених основ. Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук. Рукопис. 05.23.02 - Основи та фундаменти Придніпровська державна академія будівництва і архітектури. Дніпропетровськ, 1995. Розроблено експрес метод оцінки фізико-механічних властивостей ущільнених основ за допомогою геоакустики. Розглянуто взаємозв'язок фізико-механічних та акустичних параметрів глинистих ґрунтів з урахуванням фактору часу. Запропонована геоакустична фізико-хімічна модель глинистого ґрунту.

Ключові слова: ущільнення основ, геоакустичний контроль, кореляційні залежності.

иц 7550

AB 33.592
Av 33.592

Grishechkin S.A. Proximate analysis of physical and mechanical properties of consolidated basements of scientific degree of Candidate of Science (Engineering). Manuscript. 05.23.02 - Pridneprovskaya State Academy of Civil Engineering and Architecture, Dnepropetrovsk, 1995. A proximate method for estimation of physical and mechanical properties of consolidated basements by means of geoaoustics has been elaborated. The correlation of physico-mechanical and acoustic parameters of clayey soils with taking into account the time factor has been examined. The geoaoustic phisico-chemical model for clayey soil has been suggested.

ГРИШЕЧКИН Сергей Анатольевич

Экспресс-оценка физико-механических свойств
уплотненных оснований

05.23.02 - Основания и фундамен.м

Подписано к печати 15.11.95. Формат 6С х 84 1/16. Бумага для
множительных аппаратов. Печать офсетная. Усл.печ. л. 1,3.

Уч.-изд. л. 1,27.

Зказ 611. Тираж 100 экз. Бесплатно.

Учесток оперативной полиграфии ДПИТа, 320700, ГСП, Днепропет-
ровск, 10, ул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.