МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПЛОТНОМЕРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Москва - 1977 г.

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПЛОТНОМЕРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Одобрены Минтрансстроем

Москва - 1977 г.

УДК 625.731:624.138.22:658.562

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РАДИОИЗОТОПНЫХ ПЛОТНОМЕРОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. Союздорнии. М., 1977.

Изложены требования к радиоизотопным средствам измерения плотности и влажности грунтов. Приведена техническая характеристика рекомендуемых средств измерений. Даны описание штыревого гамма-плотномера ШГП (конструкции Ленинградского филиала Союздорнии) и варианты его применения. Рассмотрены вопросы градуировки плотномеров с помощью модели грунта, снятия показаний (результатов измерений) без использования градуировочных графиков. Дана оценка погрешностей измерения.

"Методические рекомендации" предназначены для производственных лабораторий и служб технического контроля при дорожных управлениях.

Табл. 5, рис. 10.

© Союздорнии, 1977г.

УДК 625.731:624.138.22:658.562

Предисловие

Радиоизотопные средства измерений позволяют производить экспресс-контроль уплотнения земляного полотна в процессе работы грунтоуплотняющих машин и тем самым оптимизировать режим их работы. Кроме того, высокая объемная представительность результатов контроля, а также практически неограниченная возможность повторения измерений позволяют повысить качество сооружаемого грунтового основания.

Штыревой гамма-плотномер ШГП, разработанный и изготовленный в Ленинградском филиале Союздорнии, можно использовать для измерений с переменной базой на постоянной глубине, с переменной глубиной зондирования при постоянной базе, а также в качестве приставки (штыревой блок) к поверхностному гамма-плотномеру ПГП-2.

"Методические рекомендации по применению радиоизотопных плотномеров для контроля уплотнения грунтов при строительстве автомобильных дорог" составили инженеры С.С.Прохоров, Н.А.Копылова, Л.Д.Зверев и И.И.Заятрегер под общей редакцией И.И.Заятрегера (Ленинградский филиал Союздорнии).

Замечания и пожелания просьба направлять по адресу: 143900 Балашиха-6 Московской обл.,Союздорнии или 191065 Ленинград, Герцена, 19, Ленинградский филиал Союздорнии.

1. Общие требования к радиоизотопным средствам измерений плотности и влажности земляного полотна

1.1. Радиоизотопные измерительные устройства, предназначенные для проведения полевого контроля плотности и влажности земляного полотна, должны удовлетворять следующим требованиям:

а) диапазон измерений объемной массы грунта 1,4–2,3 г/см^3;

б) точность измерений плотности и влажности не ниже, чем при объемно-весовых способах. Погрешность в измерениях не должна превышать: плотности – $\pm$0,03 г/см^3, влажности – $\pm$1%;

в) возможность определения плотности грунта без разрушения земляного полотна на глубину до 30 см;

г) возможность повторных измерений в одном и том же месте для контроля;

д) оперативность выполнения измерений на месте производства работ по уплотнению: длительность первичного измерения, включая подготовку места, – 5 мин, повторного – 1 мин;

е) достаточный объем контролируемого грунта в точке измерения;

ж) применимость ко всем мелкозернистым грунтам независимо от времени года.

1.2. Измерительные устройства должны быть просты в эксплуатации и надежны, т.е. должны сохранять работоспособность после длительного транспортирования, при изменениях температуры в диапазоне от минус 10 до плюс 50 ^{o}C и при влажности воздуха до 90%.

1.3. Масса измерительного устройства должна позволять одному оператору перемещать его в пределах места производства измерений.

1.4. Необходимо обеспечить безопасность работы с

измерительными приборами. Уровень радиации на поверхности защитного контейнера не должен превышать 4 мР/ч. Конструкция штыревого блока должна исключать вероятность нахождения изотопа вне контейнера при его перемещении.

1.5. Радиационные средства измерений плотности и влажности транспортируют в специальных автомобилях.

1.6. При работе с радиоизотопными приборами необходимо выполнять требования "Санитарных правил работы с радиоактивными веществами и источниками ионизирующих излучений" (ОСП-72) и "Правил перевозки радиоактивных веществ" (ПБТРВ-73).

2. Радиометрические средства измерений плотности и влажности

2.1. Гамма-плотномеры и нейтронные влагомеры состоят из блоков с радиоактивным источником излучения (гамма-квантов или быстрых нейтронов), детекторов, преобразующих ионизирующие излучения в электрические импульсы, и соответствующих счетно-запоминающих устройств (частотомеры, интенсиметры, МЭС и др.).

2.2. В зависимости от применяемого метода измерений (рассеяние ионизирующего излучения или прямое облучение) источники радиоактивного измерения размещают на поверхности грунта или заглубляют в его толщу. В измерительном устройстве могут быть использованы одновременно оба метода.

2.3. Для регистрации гамма-квантов применяются блоки детектирования двух типов: с газоразрядными счетчиками типа СТС и СБМ и сцинтилляционными.

Газоразрядные счетчики просты по конструкции и надежны в эксплуатации, но эффективность счета гамма-квантов не превышает 1% от числа попадающих на счетчик.

Сцинтилляционные детекторы, состоящие из сцинтиллятора и фотоэлектронного умножителя (ФЭУ), по конструкции и в эксплуатации более сложны, но по сравнению с газоразрядными обладают хорошей разрешающей способностью (около 0,1 мкс) и в десятки раз большей эффективностью счета гамма-квантов и нейтронного излучения.

2.4. Зарегистрированные детектором гамма-кванты представляют информацию о плотности грунта.

2.5. Влажность грунта определяют:

регистрацией плотности медленных нейтронов;

регистрацией интенсивности захватного гамма-излучения;

суммарной регистрацией медленных нейтронов и захватного гамма-излучения.

2.6. Глубинный гамма-плотномер ГГП-2, поверхностный гамма-плотномер ПГП-2 и нейтронный индикатор влажности НИВ-2 не в полной мере отвечают требованиям дорожного строительства. Так, ГГП-2 и НИВ-2 не обеспечивают удовлетворительной воспроизводимости и необходимой точности измерения (погрешность измерения ГГП-2 – $\pm 0{,}1$ г/см^3, НИВ-2 – $\pm 2\%$), а также требуют при эксплуатации бурения скважин диаметром 50 мм. ПГП-2 имеет ограниченную глубину измерения, которая в зависимости от плотности грунта не превышает 10–15 см. Погрешность измерения ПГП-2 – $\pm 0{,}1$ г/см^3.

2.7. Для контрольного определения объемной массы грунта земляного полотна перед возведением дорожной одежды можно рекомендовать влагоплотномер УР-70, разработанный ОКБ НПО "Геофизика" Министерства геологии СССР. УР-70 позволяет измерять плотность и влажность грунтов на глубине до 20 м через каждые 0,25 м в скважине диаметром 50 мм. Время единичного измерения объемной массы и влажности составляет 3–4 мин. Погрешность измерения объемной массы мень-

ше ±0,1 г/см³. Расхождение между показаниями нескольких влагомеров УР-70 при измерениях, выполняемых в одинаковых условиях, не превышает 0,5% объемной влажности.

2.8. Для контроля уплотнения земляного полотна в процессе его возведения глубиной до 30 см можно рекомендовать комбинированный гамма-плотномер для грунтов и бетонов "Технолог-К" и комбинированный влагоплотномер "Технолог-С". Эти приборы, прошедшие предварительные испытания, находятся в стадии доработки.

2.9. Нейтронный влагомер РВГ-36 позволяет определять влажность грунтов всех разновидностей без извлечения образцов в скважине диаметром 36 мм. Результаты получают на месте измерений. Принцип работы РВГ-36 основан на использовании эффекта замедления быстрых нейтронов водосодержащей средой.

Источник излучения быстрых нейтронов - плутоний бериллиевый, детектор медленных нейтронов - сцинтилляционный.

2.10. Для контроля уплотнения земляного полотна, сооружаемого из различных грунтов (кроме скальных, крупнообломочных и гравелисто-песчаных), Ленинградский филиал Союздорнии разработал штыревой гамма-плотномер ШГП с наклонным неколлимированным лучом гамма-квантов.

Отличительной особенностью ШГП является простота получения результатов измерений. Отсчет объемной массы прочитывается непосредственно по шкале плотномера и не требует градуировочного графика. Время, затрачиваемое на первое измерение, включая подготовку места, - около 5 мин, на повторное - менее 1 мин. Основная погрешность ШГП, определенная как среднеквадратическое отклонение результатов наблюдений, составляет не более ±0,03 г/см³.

2.11. Данные основных технических показате-

Характеристика прибора	ПГП-2	ГГП-2	ШГП	ПГП-2 и ШГП
Вид измерения	Плотность почв и грунтов[x]			
Индикация	Цифровая		Цифровая автоматическая	Цифровая
Погрешность измерений				
плотности, г/см^3	±0,1	±0,1	±0,03	±0,02
влажности, %	–	–	–	–
Глубина измерения, см	0–15	30–600	До 25	До 25
Диапазон измерений				
плотности, г/см^3	1,0–2,3	1,0–2,3	1,4–2,3	1,4–2,3
влажности, %	–	–	–	–
Температурный диапазон, °С	–15÷+50	–15÷+50	–10÷+50	–10÷+50
Активность источника гамма-излучения, мКи	5	4	0,63	5,63
Активность источника нейтронного излучения, нейтр/с	–	–	–	–

x) Кроме торфа.

xx) В диапазоне 50–100 об.%.

Таблица 1

"Технолог-К"	"Технолог-С"	УР-70	НИВ-2	РВГ-36
Плотность грунтов и бетонов	Плотность и влажность грунтов и бетонов	Плотность и влажность почв и грунтов	Влажность почв и грунтов x)	
Цифровая автоматическая		Цифровая		
±0,03 –	±0,03 ±0,1	≤0,1 ±2,0	– ±2,0	– ±1 (±2) xx)
До 30	До 30	До 2000	30–600	30–2000
1,0–2,5 –	1,0–2,5 3,0–30	1,2–2,7 3,0–60	– 2,5–40	– 0–100
–15÷+50	–10÷+50	–10÷+50	–15÷+50	–10÷+40
0,25	0,25	1,3	–	–
–	$5 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$

Характеристика прибора	ПГП-2	ГГП-2	ШГП	ПГП-2 и ШГП
Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения:				
на расстоянии 1 м, Р/с	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$
на поверхности защитного блока, Р/с	–	–	–	–
Плотность потока нейтронов на поверхности защитного блока, нейтр/с·см^2	–	–	–	–
Питание (шт.)				
сухие элементы типа 373	12	12	12	12
аккумулятор КНГК-11Д	–	–	–	–
КН-10	–	–	–	–
Длительность непрерывной работы, ч	Не менее 60	Не менее 60	50	50
Масса прибора, кг	20,2	18,0	23,5	37,2

Продолжение табл. 1

"Технолог-К"	"Технолог-С"	УР-70	НИВ-2	РВГ-36
–	–	$1{,}3 \cdot 10^{-7}$	–	–
$1{,}4 \cdot 10^{-7}$	$1{,}4 \cdot 10^{-7}$	$1{,}1 \cdot 10^{-5}$	–	–
–	Не более 20			
12	8	–	12	–
–	–	10	–	–
–	–	–	–	10
48	48	50	Не менее 60	20 (с пересчетным прибором ПД-1)
				50 (с пересчетным прибором ПМ-1)
12,5	16,0	31,8	21,0	30,0

лей упомянутых радиоизотопных плотномеров и влагомеров приведены в табл. 1.

3. Штыревой гамма - плотномер ШГП

3.1. Гаммаскопический плотномер ШГП предназначен для определения объемной массы грунта верхнего слоя земляного полотна глубиной до 25 см. Прибор можно использовать как штыревой гамма-плотномер с градуировкой по переменной базе и с переменной глубиной зондирования. Штыревой блок ШГП может быть также использован в качестве приставки к поверхностному гамма-плотномеру ПГП-2.

3.2. ШГП с градуировкой по переменной базе состоит из контейнера со штырем диаметром 10 мм, в котором крепится изотоп (^{60}Co), установочной платформы и диска-затвора (рис.1).

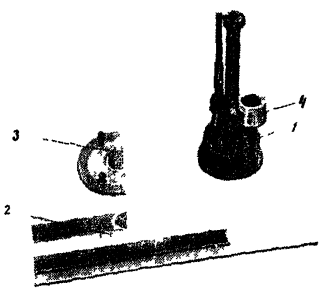

Рис.1. ШГП с градуировкой по переменной базе:
1-контейнер со штырем; 2-установочная платформа; 3-диск-затвор; 4-держатель

Защитный контейнер представляет собой стальной корпус, внутри которого запрессована втулка, а снаружи навинчена стойка-трубка. Стойка-трубка служит направляющей для штыря, ограничивает его перемещение вверх и предохраняет от механических повреждений. Во втулке размещается наконечник штыря с источником гамма-излучения (^{60}Co). Втулка в нижней части имеет расточку, в которую в транспортном (нерабочем) положении вставляется затвор (диск-затвор), а при измерениях - центрирующий

выступ установочной платформы, служащий одновременно фильтром для очистки штыря от грунта.

Защита оператора от излучения в верхней части полусферы обеспечивается слоем свинца, заполняющим пространство между втулкой и корпусом, а в нижней – слоем свинца затвора.

При измерениях контейнер ставят на выступ установочной платформы, а детектор вставляют в каретку. Каретка свободно перемещается по платформе в направляющих и закрепляется на них специальным зажимом.

На верхних поверхностях направляющих размещена шкала объемных масс грунта.

Штырь вдавливают в грунт и извлекают из него с помощью штанги, имеющей двойную рукоятку. Штанга и штырь соединены между собой шарниром, на который в процессе измерений надевают скользящую трубку, и штанга становится осевым продолжением штыря.

В нерабочем положении контейнер ставят на диск-затвор и скрепляют с ним с помощью байонетного соединения. Штангу в шарнирном соединении переламывают, благодаря чему фиксируется положение штыря и изотопа в контейнере.

3.3. Аппаратура для измерения объемной массы грунта (рис.2) состоит из штыревого гамма-плотномера ШГП, радиометра СРП-68-01 со сцинтилляционным детектором и электронно-счетного частотомера Ч3-12.

ШГП служит для создания гамма-излучения на заданной глубине грунта и для отсчета по шкале измеряемой объемной массы. Детектор, расположенный на поверхности грунта, преобразует гамма-излучение в электрические импульсы, частота которых зависит от интенсивности гамма-квантов, попадающих в детектор. Пульт СРП из поступивших с детектора сигналов формирует стандартные электрические импульсы, которые подаются на вход частотомера за 10 или 100 с. Это время выдерживается автоматически с высокой точно-

стью. Показания частотомера выдаются в виде светящихся цифр на табло. Экспозицию можно регулировать.

3.4. В процессе измерения добиваются заранее заданных показаний частотомера путем перемещения детектора относительно штыря. По положению детектора (по шкале) определяют объемную массу грунта (искомую).

С некоторым приближением, плотность грунта при просвечивании его широким пучком определяют по формуле

$$\rho = \frac{\ln J_0 - \ln J_{гр}}{\eta \mu \ell}, \qquad (1)$$

где ρ – плотность грунта, г/см^3;

J_0 – интенсивность излучения в воздухе, имп/мин;

$J_{гр}$ – интенсивность излучения на выходе из слоя грунта (на поверхности), имп/мин;

η – коэффициент, учитывающий регистрацию рассеянного излучения ($\eta < 1$). Коэффициент η определяют экспериментально, путем непосредственного измерения на грунтах определенной плотности. Для значения $K = \rho \cdot \ell \approx 50$ г/см^2 и выше коэффициент $\eta = const$;

μ – массовый коэффициент ослабления гамма-излучения в грунте, зависящий от энергии ионизирующего излучения и химического состава грунта, см^2/г. Для изотопа ^{60}Co $\mu = 0{,}0562$ см^2/г;

ℓ – база, расстояние между изотопом и детектором, см.

При $\frac{\ln J_0 - \ln J_{гр}}{\eta \mu} = K = const$ $\rho = \frac{K}{\ell}$,

т.е. каждому значению плотности ρ будет соответствовать значение ℓ. Таким образом, вдоль ли-

нии перемещения детектора может быть расположена шкала объемных масс грунта.

Правильность высказанных соображений подтверждена экспериментально.

3.5. Выполнение измерений штыревым гамма-плотномером ШГП. Для подготовки к измерениям следует подключить пульт СРП и частотомер к источнику питания [x], соединить кабелем выход пульта СРП с входом частотомера и установить детектор в держатель на корпусе плотномера (см.рис.2). Спустя минуту (время, необходимое для установления рабочего режима аппаратуры), измерить число импульсов за 10 с (их должно быть примерно 25600). Повторить измерения, найти среднее значение из трех показаний и разделить его на два. Полученное число (25600:2=12800) записать.

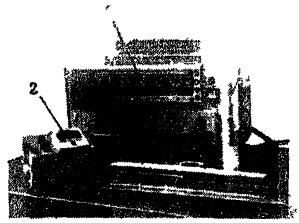

Рис.2. Комплект аппаратуры для измерений объемной массы грунта: 1-ШГП; 2-радиометр СРП-68-01; 3-сцинтилляционный детектор; 4-электронно-счетный частотомер Ч3-12

На месте измерения объемной массы грунта подготовить с помощью скребка площадку размером 30х70см, так чтобы скребок строго притирался к поверхности грунта. На подготовленную площадку положить установочную платформу с кареткой. Снять плотномер с диска-затвора и установить его на платформу. Зафиксиро-

---

x) Питание осуществляется от аккумуляторной батареи напряжением 24 В и от преобразователя постоянного тока в переменный (типа ППТ-2).

вать шарнир штанги скользящей трубкой и вдавить штырь в грунт до отказа[x]. Вставить детектор в каретку и закрепить ее зажимом. Снять показания частотомера за 10 с. Если полученные показания больше записанного числа, то каретку следует отодвинуть от плотиомера, если же меньше - придвинуть. Необходимо добиться, чтобы показания частотомера были близки к контрольному числу (12800) с отклонением не более 100 единиц счета. Ориентировочно перемещение каретки на 1 мм соответствует изменению счета на 100 единиц. После получения нужных показаний следует прочесть значение измеренной объемной массы по шкале установочной платформы с учетом того, что цена малого деления шкалы составляет 0,02 г/см^3. Время измерения объемной массы грунта в одной точке около 1 мин. По окончании измерений необходимо отключить питание, разъединить аппаратуру и привести ее в транспортное положение.

3.6. Использование ШГП для зондирования по глубине. ШГП можно применять также и для оценки распределения объемной массы грунта по глубине. В этом случае детектор закрепляют неподвижно в одной точке шкалы с помощью зажима. Расстояние между осями штыря и детектора 316 мм; оно отмечено на шкале контрольной риской. Для этого режима получены три градуировочные кривые (рис.3), соответствующие погружению штыря на выбранные глубины: 24, 18, 12 см. Конструктивно это достигается применением упоров под головку штанги. Из рис. 3 следует, что крутизна кривых всех трех глубин практически сохраняется и позволяет определять значения объ-

---

x) На мерзлых грунтах, тяжелых суглинках и глинах рекомендуется приготовить с помощью вспомогательного приспособления отверстие диаметром 10мм для штыря.

емной массы до 2,3 г/см^3 с точностью отсчета ≈ 0,03 г/см^3.

Значения скоростей счета $N_{гр}$, $N_{кгу}$ получены по частотомеру Ч3-12 как средние из 3-6 отсчетов за 10 с. Объемную массу $\rho_м$ задавали настройкой модели грунта. Время отсчитывали электронным таймером частотомера.

3.7. Применение ШГП совместно с ПГП-2. При работе с ПГП-2 результаты получают непосредственно на месте измерения. При этом не требуется нарушать структуру грунта и извлекать из него образцы. Однако ПГП-2 позволяет проводить измерения только в поверхностном слое грунта толщиной до 10-15 см. Кроме того, на конечные результаты измерений существенно влияет зазор между подошвой плотномера и грунтом, а также деформация грунта, возникающая из-за прижима гамма-плотномера к контрольной поверхности. Погрешность измерений, по данным завода-изготовителя, составляет ±0,1 г/см^3. Отмеченные недостатки ПГП-2 можно устранить, если добавить в комплект ПГП-2 ШГП в виде штыревой приставки (рис.4), что увеличит глубину контролируемого слоя грунта до 25 см.

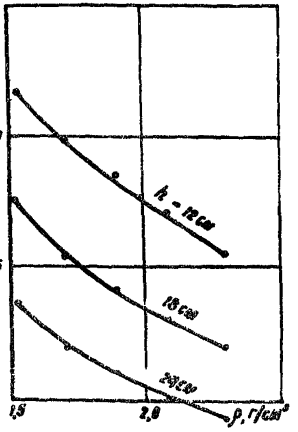

Рис.3. Градуировочные кривые гамма-плотномера со сцинтилляционным детектором для глубины зондирования 24, 18,12см

Устройство приставки отличается от описанного выше ШГП тем, что платформу с кареткой заменяют алюминиевым шаблоном, на котором смонтирован цилиндрический фильтр, а на контейнере вместо держателя

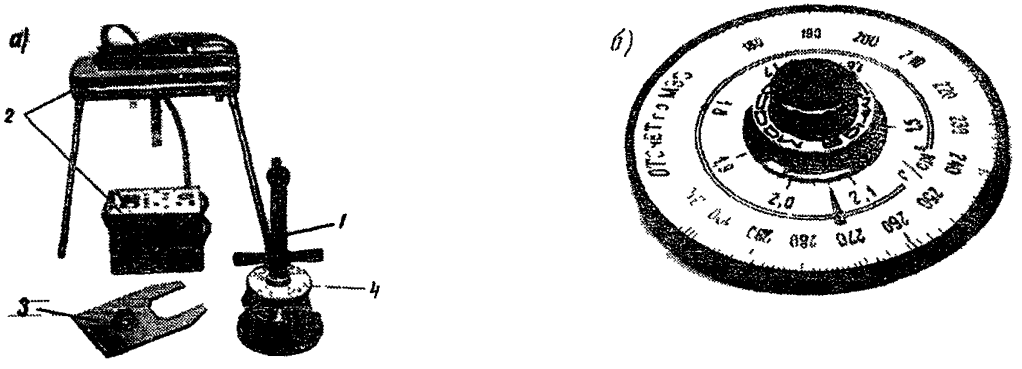

Рис.4. Комплект ПГП-2 со штыревой

Рис.4. Комплект ПГП-2 со штыревой приставкой (а) 1-ШГП; 2-ПГП-2; 3-шаблон; 4- круговая номограмма плотности грунта (б)

детектора устанавливают диск с круговой номограммой плотности грунта. Шаблон позволяет точно фиксировать взаимное расположение приставки и ПГП-2 во время измерений. Предусмотрена возможность вращения шаблона вокруг штыря приставки, что позволяет при одной установке комбинированного плотномера проводить несколько измерений.

3.8. Градуирование ПГП-2 со штыревой приставкой проводили на модели грунта и на образцах со средней плотностью 1,4-2,09 г/см^3, тщательно приготовленных в формах размером 50х50х70см. Испытания проводили (в соответствии с инструкцией по эксплуатации ПГП-2) со штыревой приставкой и без нее. Показания регистрировали за 3 мин со среднеквадратической относительной погрешностью 1-1,5%.

Результаты испытаний приведены на рис. 5, из которого видно, что крутизна кривой 1, полученной при работе ПГП-2 со штыревой приставкой, значительно больше крутизны кривой 2 - для ПГП-2 без приставки. Из этого следует, что ПГП-2 со штыревой приставкой более восприимчив к изменению плотности грунта и, следовательно, дает меньшие погрешности.

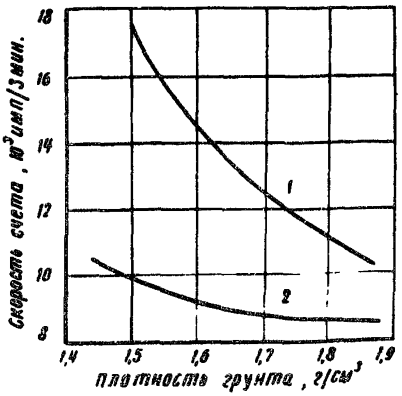

Рис.5. Изменение скорости счета в зависимости от плотности грунта: 1-при работе ПГП-2 со штыревой приставкой; 2-без приставки

На основании оценки результатов испытаний (см.рис.5) получено, что максимальная среднеквадра-

тическая погрешность измерения плотности для ПГП-2 составляет 0,08 г/см^3, а погрешность для ПГП-2 со штыревой приставкой 0,01-0,02 г/см^3.

3.9. Круговая номограмма плотности устраняет необходимость вспомогательных вычислений и использования градуировочного графика, что значительно упрощает получение результатов измерений. Номограмма представляет собой круг с внешней шкалой скоростей счета за 3 мин и внутренней шкалой объемной массы в г/см^3. Показание скорости счета за 3 мин в контрольно-транспортном устройстве по внешней шкале выставляется против индекса на ободке круга. Разрез на кольце выводится на красный индекс внутренней шкалы объемной массы. Затем показание скорости счета за 3 мин в грунте по внешней шкале ставится против индекса на ободке круга, после чего производится считывание на шкале объемной массы по разрезу.

3.10. Метод градуировки гамма-плотномера с помощью модели грунта. Для градуировки и поверки радиоизотопных плотномеров нужны крупногабаритные образцы грунтов, имеющие постоянную объемную массу и сохраняющие ее продолжительное время. Для диапазона значений плотности грунтов от 1,4-2,3 г/см^3 требуется 5-6 таких образцов. Габариты образцов должны исключать влияние границ на показания приборов. Образцы аттестуют на плотность, однородность, влажность, химический состав компонентов грунта и их стабильность во времени.

Приготовление и хранение образцов связано с большими трудностями. Поэтому в Ленинградском филиале Союздорнии была разработана и исследована алюминиевая модель грунта, позволяющая градуировать и проверять гамма-плотномер.

Модель грунта (рис.8) представляет собой пакет из листов алюминия, разделенных прокладками, создающими воздушные прослойки. Положение пластин по высо-

те фиксируют стяжками. Модель грунта монтируют на плоском основании путем нанизывания алюминиевых пластин на контрольный стержень. В результате такого монтажа образуется отверстие для штыря плотномера. Между каждой парой пластин вставляют прокладки расчетной толщины. Модель грунта предохраняют от атмосферных влияний. Основными достоинствами модели являются простота изготовления, устойчивость настройки на заданную объемную массу и равномерное распределение плотности по ее глубине. Модель может имитировать объемную массу грунта в широких пределах до значения плотности алюминия ($\rho_a \approx 2{,}7$ г/см^3), причем значение объемной массы можно неоднократно воспроизводить.

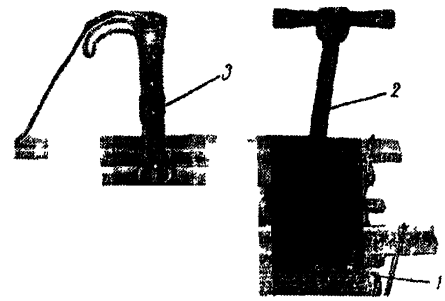

Рис.6. ШГП на модели грунта: 1–модель грунта; 2–ШГП; 3–детектор

Расчетную объемную массу определяют по формуле

$$\rho_м = \rho_a \frac{\delta_a}{\delta_в + \delta_a}, \qquad (2)$$

где $\rho_м$ – объемная масса модели, г/см^3;
ρ_a – плотность алюминия, г/см^3;
δ_a – толщина листа алюминия, мм;
$\delta_в$ – толщина прокладки (воздушный зазор между пластинами), мм.

При сборке модели для точности ее настройки необходимо

а) проверить опытным путем плотность алюминиевых листов с погрешностью не более 0,05 г/см^3;

б) определить толщину листов и прокладок с погрешностью не более 0,01 мм;

в) определить общую высоту модели с погрешностью, не превышающей 0,5 мм.

При соблюдении этих условий относительная погрешность воспроизведения расчетной объемной массы на модели грунта не превысит 0,5%. В табл. 2 приведены расчетные данные настройки модели грунта в пределах значений объемной массы от 1,34 до 2,3 г/см^3.

Таблица 2

$\rho_м$, г/см^3	$\delta_а$, мм	$\delta_в$, мм	Число слоев	Высота модели, мм
1,34	1,92	1,45+0,54	76	297,0
1,58	1,92	0,54+0,79	92	299,9
1,71	1,92	0,54+0,54	100	300,0
1,90	1,45+1,92	1,45	62	298,8
2,09	1,92	0,54	127	299,7
2,30	1,92+1,45	0,54	77	293,3

Шкала плотностей по переменной базе для ШГП с помощью описанной модели грунта строится следующим образом. Для каждого значения расчетной объемной массы модели $\rho_м$, исходя из данных табл. 2, опытным путем определяют зависимость расстояния $\ell_г$ между осями детектора и излучателя от скорости счета $N_м$, измеряемой частотомером. Для этого плотномер устанавливают на модели грунта, как для обычных измерений (см. рис. 6). Измерение в точке производят несколько раз. Перед измерением и после него, устанавливая плотномер на диск-затвор, определяют показания частотомера $N_{кту}$, соответствующие положению детектора в держателе на корпусе плотно-

Таблица 3

$\rho_{м}$, г/см^3	$l_г$, мм	$N_м$	$N_{кту}$	$K = \frac{N_м}{N_{кту}}$
	263	37000		1,45
	285	33000		1,28
	316	27300		1,07
1,34	360	21200	25300	0,84
	406	16200		0,63
	452	12300		0,48
	500	9300		0,37
	263	29550		1,15
	285	26000		1,01
	316	23000		0,87
1,58	360	16300	25700	0,63
	406	12000		0,47
	452	9000		0,35
	500	6800		0,27
	263	24800		0,97
	285	21800		0,86
	316	17700		0,70
1,71	360	13200	25500	0,52
	406	9800		0,38
	452	7300		0,29
	500	5500		0,22
	263	22100		0,87
	285	19300		0,76
	316	15600		0,61
1,90	360	11500	25500	0,45
	406	8500		0,33
	452	6400		0,25

Продолжение табл. 3

$\rho_м$, г/см^3	$\ell_г$, мм	$N_м$	$N_{кту}$	$K = \frac{N_м}{N_{кту}}$
2,09	263	19000	25400	0,75
	285	16500		0,65
	316	12900		0,51
	360	9650		0,38
	406	6850		0,27
	452	5340		0,21
2,30	263	15850	25300	0,62
	285	13750		0,54
	316	10900		0,43
	360	8130		0,32
	406	5950		0,23
	452	4550		0,18

мера (см.рис.1). По результатам этих измерений (средним из 10), приведенных в табл.3, строят кривые $\ell_г = f(K)$ для различных значений $\rho_м$ (рис.7), где

$K = \frac{N_м}{N_{кту}}$ — калибровочный коэффициент.

Шкалу объемных масс ШГП получают графическим способом. По семейству кривых (см.рис.7) строят вспомогательную кривую $\ell_г = f(\rho)$ (рис.8), соответствующую значению $K = 0,5$. Это значение K удобно для практических измерений и в то же время близко к оптимальному. На вспомогательной кривой $\ell_г = f(\rho)$ через каждые 0,1 г/см^3 отмечают точки, соответствующие значениям ρ от 1,4 до 2,3 г/см, и прямыми линиями переносят эти точки на ординату, получая шкалу объемных масс, выраженную в миллиметрах расстояния $\ell_г$ оси детектора от оси излучателя.

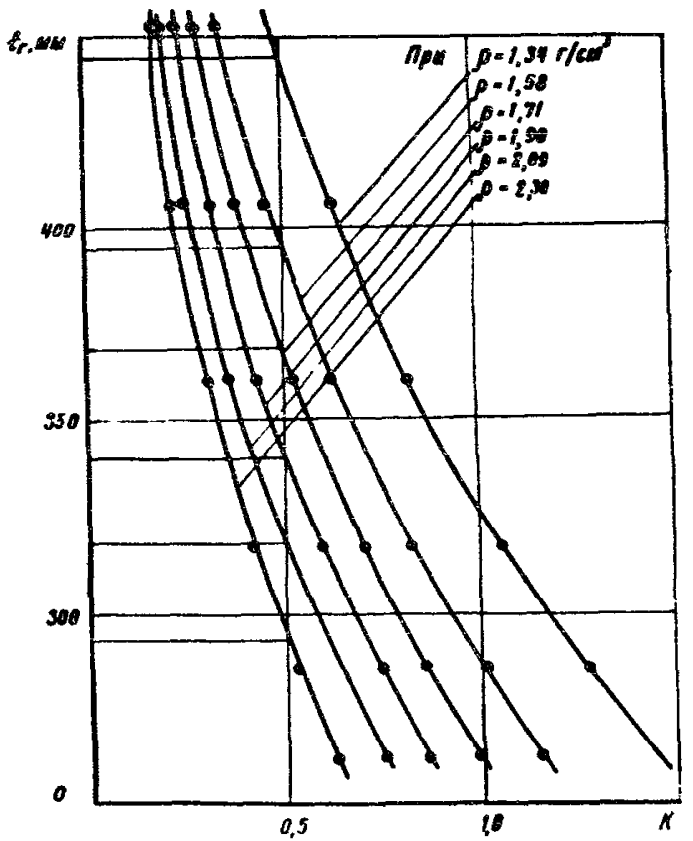

Рис.7. Зависимость скорости счета от переменной базы плотномера при различных объемных массах модели грунта

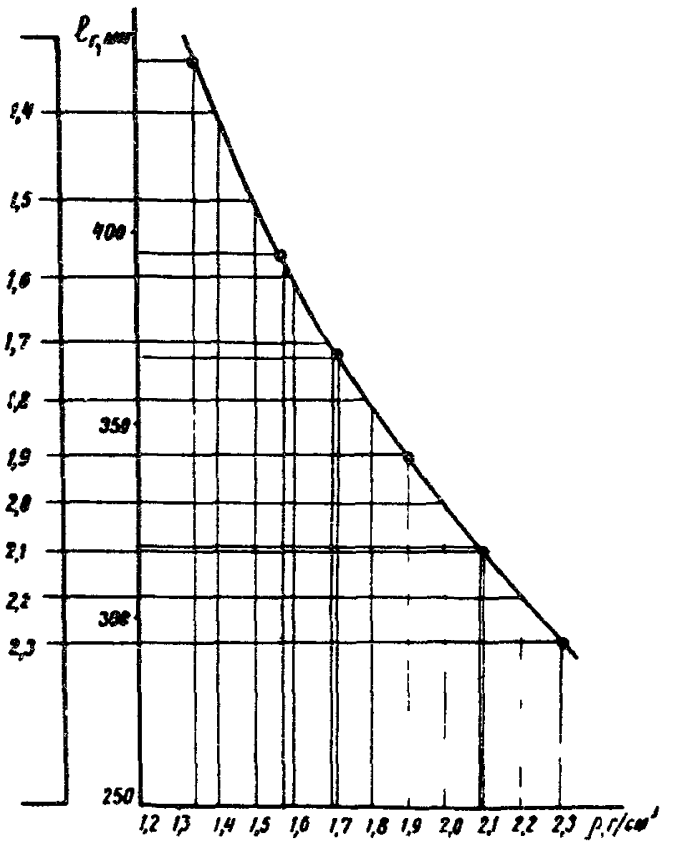

Рис.8. Построение шкалы плотностей по переменной базе для $N_{гр} = 0,5\ N_{кту}$

ρ г/см³	1,34	1,58	1,71	1,90	2,09	2,30
ℓ_r, мм	445	396	368	343	318	294

Модель грунта может быть применена в качестве контрольного устройства для штыревого плотномера. В этом случае модель позволяет найти контрольное показание частотомера, которое необходимо поддерживать при измерениях объемной массы грунта.

3.11. Проверка точности измерений штыревым гамма-плотномером ШГП. Проверка точности работы ШГП путем сравнения его показаний со значениями объемных масс грунтов, полученными методами режущих колец, неправомерна из-за того, что зона контроля грунта ШГП и объемы усреднения режущими кольцами не совпадают. Поэтому проверка точности работы ШГП проводилась на модели грунта.

Результаты проверки приведены в табл. 4.

Измерения объемных масс грунта плотномерами ШГП и ПГП-2 проводили в соответствии с мето-

Таблица 4

Объемная масса, г/см^3, полученная		
по формуле (2)	ШГП	ПГП-2
1,53	1,53	–
1,71	1,72	1,67
1,90	1,91	1,75
1,90	1,92	1,75
2,19	2,21	–
2,33	2,30	2,24

дикой. Каждое измерение производили 3–5 раз, причем показания частотомера выдерживали с точностью до 100 единиц счета за 10 с. Из табл. 4 видна вполне удовлетворительная сходимость расчетных данных и результатов измерений с помощью ШГП. Точность измерений может быть повышена путем увеличения числа

Таблица 5

Объемная масса образца по расчету ρ, г/см³	$N_{гр}$	$N_{кту}$	$K = \frac{N_{гр}}{N_{кту}}$	Объемная масса образца по градуировочной кривой, г/см³	Абсолютная погрешность ρ, г/см³
	337,0	184,3			
	332,9	186,5			
	334,7	185,1			
	331,1				
	332,8				
	335,3				
1,48	Ср. 334,0	Ср. 185,3	Ср. 1,80	1,51	0,03
	285,7	186,1			
	287,0	187,1			
	284,1	185,8			
	285,3				
	285,0				
	285,5				
1,60	Ср. 285,4	Ср. 186,0	Ср. 1,53	1,63	0,03
	244,5	186,8			
	243,7	186,5			
	244,3	186,9			
	245,0	189,0			
	244,1	188,4			
	245,1	187,1			
1,80	Ср. 244,4	Ср. 187,5	Ср. 1,30	1,80	0,0
		182,3			
	181,4	182,1			
		184,8			
	180,0	185,5			
		184,2			
	180,0	186,0			
2,0	Ср. 180,5	Ср. 184,2	Ср. 0,98	2,08	0,08

измерений, а при измерениях в грунте – путем парных измерений с поворотом платформы на 180°.

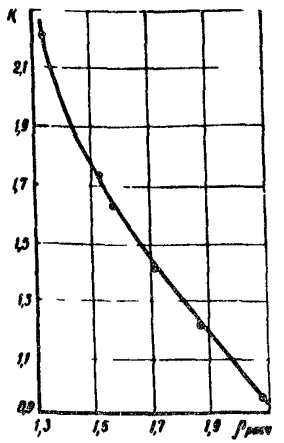

Рис.10. Градуировочный график гамма-плотномера ПГП-2 с приставкой

3.12. Проверка точности работы ШГП совместно с ПГП-2. Проверка совместной работы ШГП с ПГП-2 проводилась на образцах грунта, приготовленных в алюминиевых формах с особой тщательностью и забетонированных снаружи для придания им жесткости. Форму размером 50х50х70 см предварительно калибровали, заполняя ее точно вымеренными объемами воды по 30 л. Уровень воды в форме отмечали метками. Затем по этим меткам был изготовлен контрольный шаблон. Для заполнения формы приготовляли грунт однородного состава. Форму заполняли грунтом слоями по 30 $дм^3$. Каждый слой грунта взвешивали с высокой точ-

ностью. Поверхность грунта выравнивали и уплотняли ручной трамбовкой. Контролировали с помощью шаблона по меткам формы. В форму укладывали 6 слоев равномерно уплотненного грунта. Всего приготовляли 4 образца и сразу измеряли плотномером (табл.5 и рис.9). Из табл. 5 видно, что результаты измерений на образцах грунта сходятся с градуировкой на модели грунта (рис.10). Расхождение в точке ρ = 2 г/см^3 можно объяснить некоторым переуплотнением грунта в показывающей сфере плотномера из-за трудности приготовления образца из глинистого грунта.

Оглавление

	Стр.
Предисловие.	3
1. Общие требования к радиоизотопным средствам измерений плотности и влажности земляного полотна.	4
2. Радиометрические средства измерений плотности и влажности	5
3. Штыревой гамма-плотномер ШГП	12

Ответственный за выпуск Л.В.Королева

Редактор О.А.Ильина
Технический редактор А.В.Евстигнеева
Корректор Ж.П.Иноземцева

Подписано к печати 31.03.1977г. Формат 60x84/16
Л 114448
Заказ 105-7 Тираж 800 1,6 уч.-изд.л. Цена 13 коп.
1,8 печ.л.

Ротапринт Союздорнии

gost.e-ecolog.ru