

А.А.МИЛЛЕР, канд. техн. наук, доцент, *andreymiller@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.A.MILLER, *PhD in eng. sc., associate professor, andreymiller@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОРОД С ПОМОЩЬЮ ШТАНГ УСТАНОВКИ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ИЛИ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Если рассматривать погруженный стержень установки для опробования механических свойств грунта как электрод четырехэлектродной установки для измерения удельного сопротивления почвы, то, замеряя ток и напряжение на соответствующих электродах этой установки и глубину погружения стержня, можно определить удельное электрическое сопротивление грунта в зависимости от глубины.

Ключевые слова: неглубокие скважины, удельное электрическое сопротивление, динамическое и статическое зондирование, глубина.

MEANS OF MEASURING OF SPECIFIC RESISTIVITY OF GROUND WITH ASSISTANCE OF RODS OF DINAMIC OR STATIC SET FOR GROUND TESTING

One can take rod of set for ground testing as one of electrodes in four-point set for measuring of specific resistivity of soil. With help of current and voltage measuring on electrodes of this set, we can obtain value of specific resistivity of soil with accordance of depth.

Key words: low deep boreholes, specific resistivity of soil, dynamic and static probing, depth.

Как известно, для измерения механических свойств пород можно применять установку для динамического зондирования. Подсчитывается число ударов, которые необходимы для погружения пенетратора на наращиваемых штангах на определенную глубину, например 10 см. Удары совершаются мерным грузом, падающим со стандартной высоты. Существует также способ электродинамического зондирования, когда одновременно с подсчетом числа ударов измеряется и сопротивление между двумя электродами, расположенными на конусе пенетратора. Это позволяет получать дополнительную информацию об исследуемых породах. Однако этот способ получения информации, связанной с удельным электрическим сопротивлением (УЭС) пород, обла-

дает очевидными недостатками. Поскольку используется двухэлектродная схема измерений, на измеряемую величину в основном влияет переходное сопротивление электродов и в меньшей степени собственно параметры грунта.

Можно предложить другой способ измерения УЭС пород, который позволит добиться большей глубинности и даст возможность определять значения УЭС без влияния переходной зоны вблизи электрода. Для этого можно использовать схему измерений, в которой штанга установки для динамического зондирования будет применена в качестве электрода в несимметричной четырехэлектродной установке (в электроразведке традиционно называемой трехэлектродной), например, в качестве питающего

электрода A ; измерительные электроды MN будут располагаться в окрестностях электрода A ; питающий электрод B будет вынесен на практическую бесконечность. Изменяя ток в питающей цепи и разность потенциалов MN по мере погружения штанги, можно получить информацию об УЭС пересекаемых штангой пород.

Для построения математической модели измерений были приняты следующие допущения: горизонтально-слоистая среда, ток распространяется от электрода A , в том числе от конца электрода, горизонтально.

Были использованы формулы для потенциала, создаваемого цилиндрическим заземлением, и сопротивления такого заземления*. Вычисляемым параметром является отношение ΔU_{MN} к току погружаемого электрода I_A . Зададимся постоянным потенциалом электрода A относительно удаленного электрода B . Для однородной среды из формулы для сопротивления заземления можно найти ток электрода, отсюда найти ток в цепи AB . Зная фиксированный потенциал электрода A и удельное сопротивление среды, можно найти потенциал, создаваемый электродом A в точках M и N , а также разность потенциалов и вычислить $\Delta U_{MN} / I_A$.

Для многослойной среды используется принцип суперпозиции полей потенциалов, созданных отрезками зонда A в разных слоях, и тот факт, что ток в электроде A представляет сумму токов, ответвляющихся в каждый из слоев. По результатам расчетов (рис.1) видно, что можно отчетливо выделить слои с разным УЭС.

На рис.2 показаны результаты моделирования в баке для двух значений УЭС раствора и двух расстояний AM : 5 и 10 см. Расстояние $MN = 5$ см.

Установлено, что общий ход зависимостей отношения $\Delta U_{MN} / I_A$ от глубины погружения зонда A для эксперимента и теоретических расчетов аналогичен.

Чтобы отличать этот метод измерения удельного сопротивления среды от других,

для него предлагается название цилиндрическое зондирование (ЦЗ), так как в отличие от наземных методов электроразведки, где электроды считаются точечными, в данном методе учитываются конечные размеры и форма электрода, который аппроксимируется цилиндром**.

Решение обратной задачи осуществляется на основе решения прямой задачи методом подбора такого удельного сопротивления среды для каждой глубины погружения электрода, которое позволит получить значение отношения $\Delta U_{MN} / I_A$, совпадающее с экспериментальным. После подбора значения удельного сопротивления на какой-то глубине оно затем не меняется. Таким образом, интерпретация является однозначной и не подверженной принципу эквивалентности. Это возможно, так как в отличие от наземных способов электроразведки, у нас имеются данные о глубине погружения электрода.

Были проведены полевые испытания предложенного метода. Сопоставление ЦЗ с результатами вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) в той же точке показывает, что оба метода дают примерно одинаковую среднюю величину УЭС (рис.3). Граница слоя с повышенным сопротивлением по данным ЦЗ лежит на глубине примерно 2,7 м, по данным ВЭЗ – на глубине 3,2 м. Слой пониженного сопротивления с кровлей на глубине 6,7 м по данным ВЭЗ соответствует снижению сопротивления на глубине 6,2 м по данным ЦЗ. Слой повышенного сопротивления на глубине до 1 м (по данным ВЭЗ) на кривой ЦЗ отмечается только малой изрезанностью кривой. В общем данные двух методов с учетом влияния эквивалентности на ВЭЗ не противоречат друг другу. Абсолютные значения УЭС в среднем по скважине практически совпадают.

Такая же схема измерений может быть применена в процессе бурения неглубоких скважин, т.е. информация об УЭС

*Дахнов В.Н. Промысловая геофизика. М.: Гостоптехиздат, 1959. 692 с.

Dakhnov V.N. Oil field geophysics. Moscow: Gostoptechizdat, 1959. 692 p.

**Патент 2466430 (РФ), МПК G01V3/06. Способ электроразведки / А.А.Миллер; Опубл. 10.11.2012. Бюл. № 31.

RF Patent 2466430. G01V3/06. Mean of electrical survey / A.A.Miller; Publ. 10.11.2012. Bul. № 31.

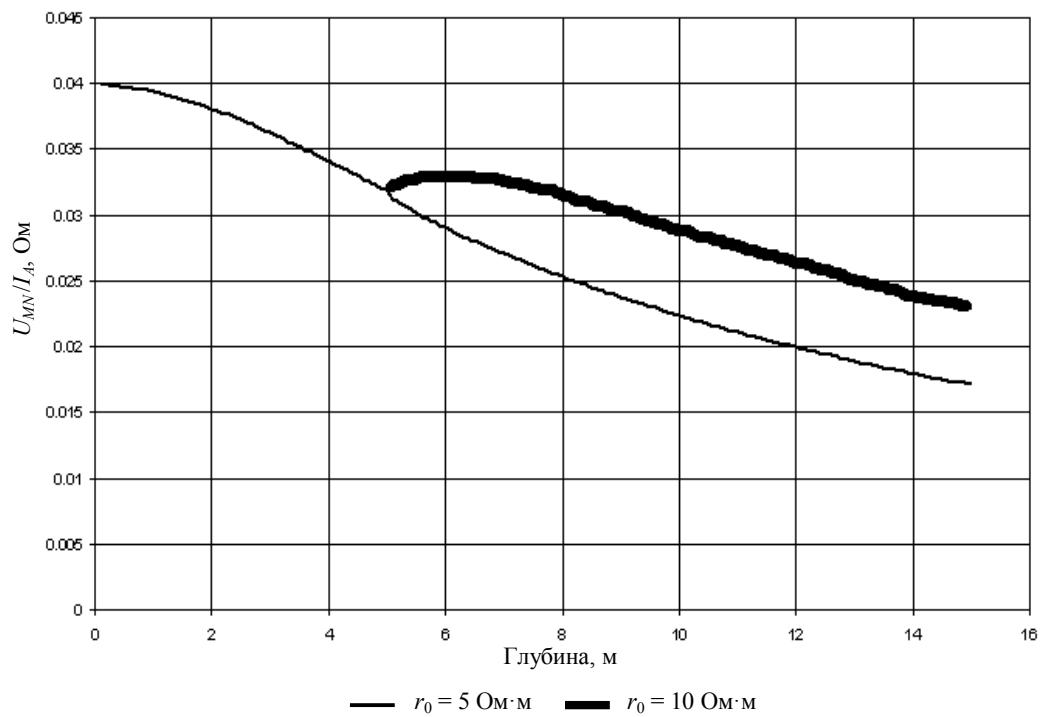


Рис.1. Теоретический расчет зависимости отношения $\Delta U_{MN}/I_A$ от глубины погружения цилиндрического электрода A для случая однослойной УЭС = 5 Ом·м и двухслойной среды, верхний слой от 0 до 5 м, УЭС = 5 Ом·м и нижний от 5 до 15 м, УЭС = 10 Ом·м

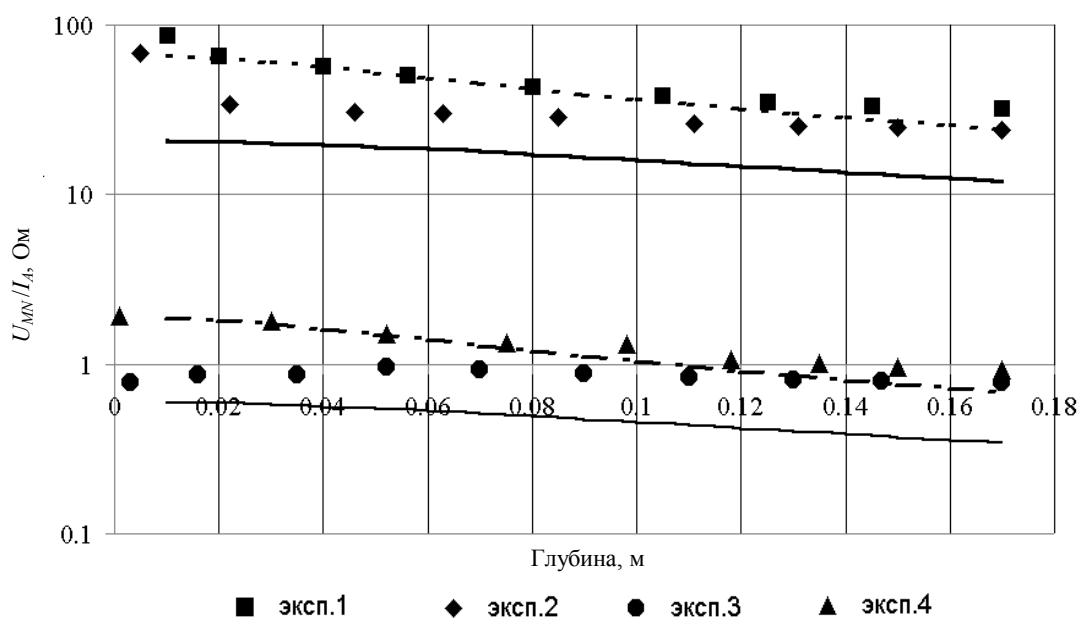


Рис.2. Сопоставление замеров в баке с теоретическими расчетами; по оси X глубина погружения электрода A , м; по оси Y отношение $\Delta U_{MN}/I_A$; эксперимент 1 – сопротивление раствора 81 Ом·м, $AM = 5$ см; эксперимент 2 – сопротивление раствора 81 Ом·м, $AM = 10$ см; эксперимент 3 – сопротивление раствора 2,3 Ом·м, $AM = 10$ см; эксперимент 4 – сопротивление раствора 2,3 Ом·м, $AM = 5$ см; расстояние MN везде 5 см

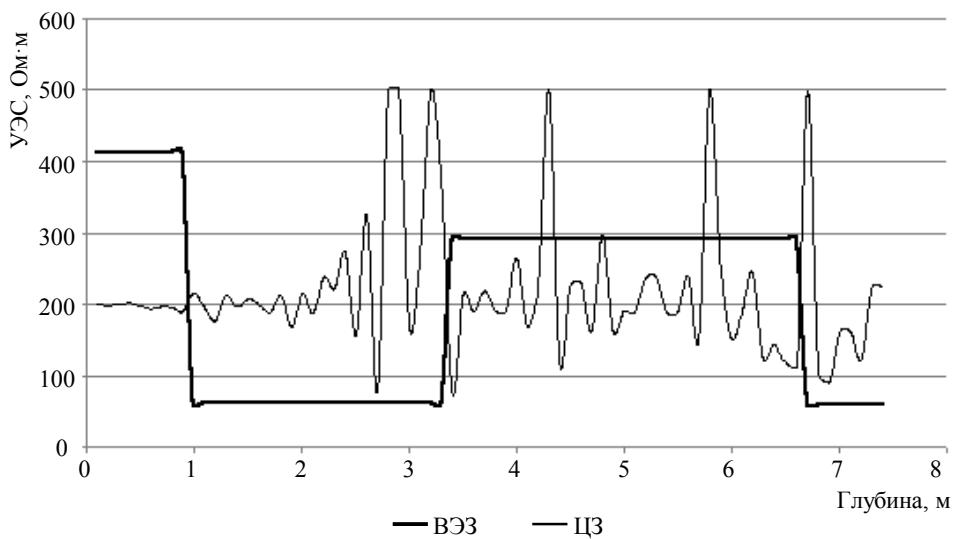


Рис.3 Результаты замеров УЭС грунта в района села Хаболово (Ленинградская обл.)

может быть получена без скважинного прибора, теоретически возможны замеры без остановки бурения. Возможность измерять УЭС пород с использованием в качестве электрода бурового инструмента приобретает особое значение, если учесть, что при проходке верхних слоев грунта (обычно первые десятки метров) спуск обсадной колонны происходит в одном цикле с бурением и измерить УЭС в открытом стволе с помощью электрического каротажа не представляется возможным. В то же время такие замеры могут представлять интерес для инженерной геофизики. Первый экспе-

римент по измерению УЭС грунта при бурении был проведен и может быть признан успешным.

Таким образом, предложенный новый способ электроразведки позволяет проводить измерения УЭС грунта в диапазоне глубин, который не охватывается традиционными измерениями в скважинах. В то же время измерение сопротивления грунта без влияния принципа эквивалентности, т.е. с независимой информацией о глубине измерений, в верхних слоях грунта может быть полезно как для инженерной геофизики, так и для целей гидрогеологии.