

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕРЗЛЫХ ИЛИ ГИДРАТОСОДЕРЖАЩИХ ОБРАЗЦОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ P-T УСЛОВИЯХ

Аркадий Николаевич Дробчик

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, e-mail: A.N.Drobchik @gmail.com

Николай Алексеевич Манченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, e-mail: manch_kol@mail.ru

Никита Александрович Голиков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, e-mail: golikovna@ipgg.sbars.ru

Исследование физических свойств осадков (грунтов) в процессе их промерзания (таяния) или разложения газогидратов имеет значение как при изучении структуры и устойчивости многолетнемерзлых пород, так и при изучении скоплений газовых гидратов. Лабораторные измерения физических свойств на разных стадиях фазового перехода позволит оценить возможности их идентификации геофизическими методами. В работе приводятся результаты по созданию установки для автоматизации измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) и упругих свойств осадков в различных P-T условиях.

Ключевые слова: удельное электрическое сопротивление, метод сопротивлений, лабораторные эксперименты, автоматизация измерений, упругие свойства мерзлых пород.

DEVELOPING LABORATORY DEVICES FOR MEASURING PHYSICAL PROPERTIES OF FROZEN OR HYDRATE SEMPLS AT VARIOUS P-T CONDITIONS

Arkadiy N. Drobchik

A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Ac. Koptyuga ave., e-mail: A.N.Drobchik @gmail.com

Nikolay A. Manchenko

A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Ac. Koptyuga ave., e-mail: manch_kol@mail.ru

Nikita A. Golikov

A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Ac. Koptyuga ave., e-mail: golikovna@ipgg.sbars.ru

Measuring physical properties of freezing sediments is important for studying the structure and stability of permafrost and gas-hydrate bearing sediments. Therefore, performing laboratory measurements of these properties at different stages of freezing will allow assessing possibility to identify them by geophysical methods. In the paper we present the results of developing laboratory setup for automated measurements of electrical resistivity by the four-electrode probe and measurements of acoustic properties in different P-T conditions.

Key words: electrical resistivity, resistance method, laboratory experiments, electrical properties of permafrost, automation of measurements, elastic properties of permafrost.

Исследование физических свойств промерзающих осадков (грунтов) имеет значение как при изучении структуры и устойчивости многолетнемерзлых пород, так и при изучении процессов формирования и разложения газовых гидратов [1,2]. Поэтому важной задачей является изучение физических свойств осадков на разных стадиях промерзания, что позволяет оценить возможности их дифференциации геофизическими методами. Определяющими физическими свойствами горных пород в электроразведке и сейсморазведке являются: удельное электросопротивление (УЭС) и скорость продольных и поперечных волн, соответственно. В настоящее время существует лабораторная установка, позволяющая в небольшом объеме моделировать условия формирования газогидратов с возможностью регулировки температуры и давления в камере. В данной работе дается описание зондов, разработанных для изучения электрофизических и упругих свойств в этой установке.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Эксперимент по измерению УЭС методом сопротивлений заключается в создании первичного поля совокупностью точечных источников, располагаемых различным способом на поверхности или внутри образца, и последующему анализу созданного в образце поля.

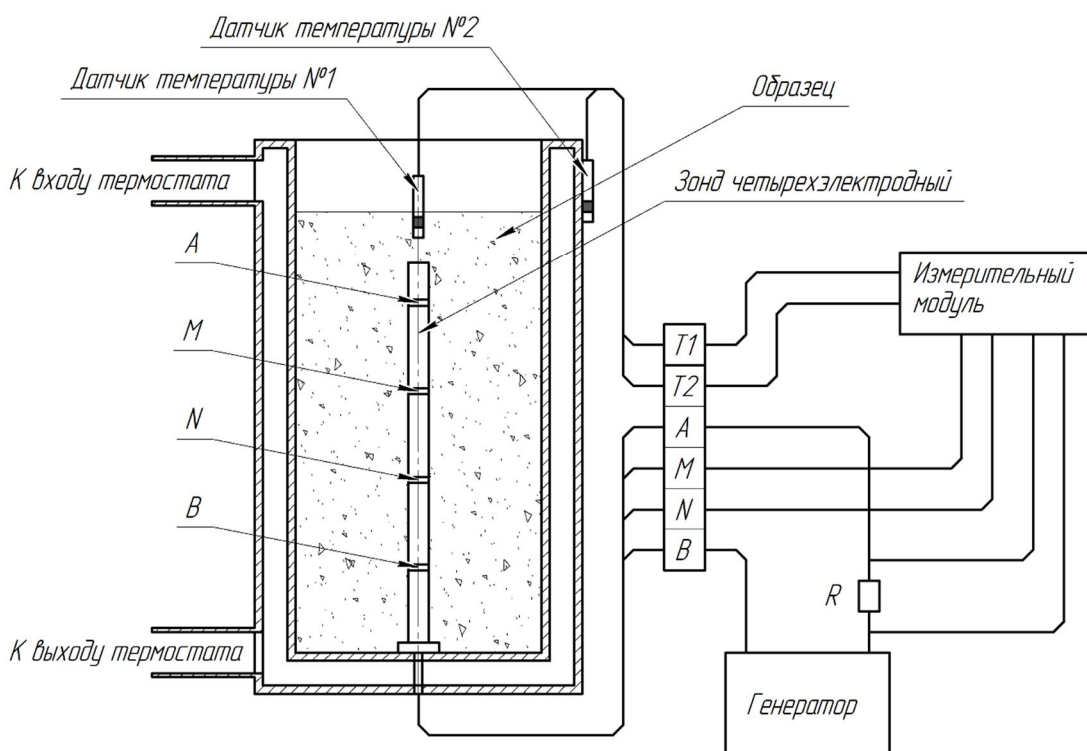


Рис. 1. Схема эксперимента по измерению УЭС методом сопротивлений

В нашем случае образец помещался в камеру высокого давления (рис. 1) в которой может меняться температура в диапазоне от -20 до $+70^{\circ}\text{C}$ с помощью термостата и давление до 10 МПа. Эта установка может быть использована как для промораживания и замерзания грунтов, так и формирования осадков, содержащих газовые гидраты.

Для измерения УЭС использовался цилиндрический игольчатый четырехэлектродный зонд. На электроды А и В подается синусоидальное переменное напряжение с частотой 600 Гц. Величина тока, протекающего через образец, регистрируется по падению напряжения на эталонном сопротивлении R (рис.1). Зная разность потенциалов на измерительных электродах MN можно получить по закону Ома УЭС образца. Подробно метод сопротивлений рассматривается в [3]. Регистрация температуры осуществляется цифровыми датчиками DS18S20, которые расположены в образце и на стенке камеры высокого давления (T_1 , T_2 , рис.1).

Проведение одного эксперимента составляет $5-7$ часов. Для автоматизации проведения эксперимента был разработан прибор, регистрирующий разность потенциалов до 10В и температур в интервале от -25 до 50°C . Это позволяет строить непрерывные зависимости УЭС, потенциалов и температур от времени на протяжении всего эксперимента ($5-7$ часов).

Прибор построен на базе платы Seeeduino 3.0. В данной плате имеется 8 аналоговых входов, по 10 бит на канал. Диапазон регистрируемых напряжений от 0 до $+5\text{В}$. То есть минимальная регистрируемая величина напряжения без усиления составляет $0,0048\text{ В}$. В эксперименте же диапазон измеряемых величин составляет $0-2,5\text{В}$. При этом, если мы будем измерять сразу разницу потенциалов, то диапазоны будут $0,001-0,03\text{В}$ для UR2 и $0,01-0,6\text{В}$ для разницы UM-UN. Была создана схема на дифференциальных усилителях, на вход которой подаются пары потенциалов, а на выходе получается искомая разность потенциалов. Также схема производит приведение исходного диапазона к диапазону АЦП для исключения потери битности, и как следствие точности измерений.

Была написана программа под микроконтроллер. При получении команды через последовательный порт микроконтроллер проводит сбор данных о разности потенциалов с аналоговых входов, считывание температуры с цифровых датчиков и организывает отправку данных через последовательный порт.

ТЕСТИРОВАНИЕ

Полученная система была протестирована на описанной выше установке (рис. 1). В качестве образца для тестирования измерительной системы использовался кварцевый песок при полном насыщении порового пространства раствором NaCl в дистиллированной воде ($C=0.3$ г/л). Сначала в камеру (рис. 1) заливалось 650 г раствора NaCl (0.3%), затем в раствор медленно засыпался кварцевый песок (после загрузки уровень жидкости

превышал образец на 2 см). Предполагается, что такой метод позволяет полностью заполнить поровое пространство раствором. После этого с помощью термостата камера высокого давления охлаждалась от комнатной температуры (24 °С) до полного замерзания образца.

На рис. 2 показан пример такого графика; показана зависимость расчетного значения УЭС и температуры внутри и снаружи камеры в зависимости от времени. Из графика видно, что до момента полного оледенения воды в образце наблюдается повышение УЭС. По окончании оледенения УЭС резко падает и принимает значение близкое нулю. Это может быть объяснено тем, что на электродах произошло намерзание ледяной корки, и ток перестал течь через образец.

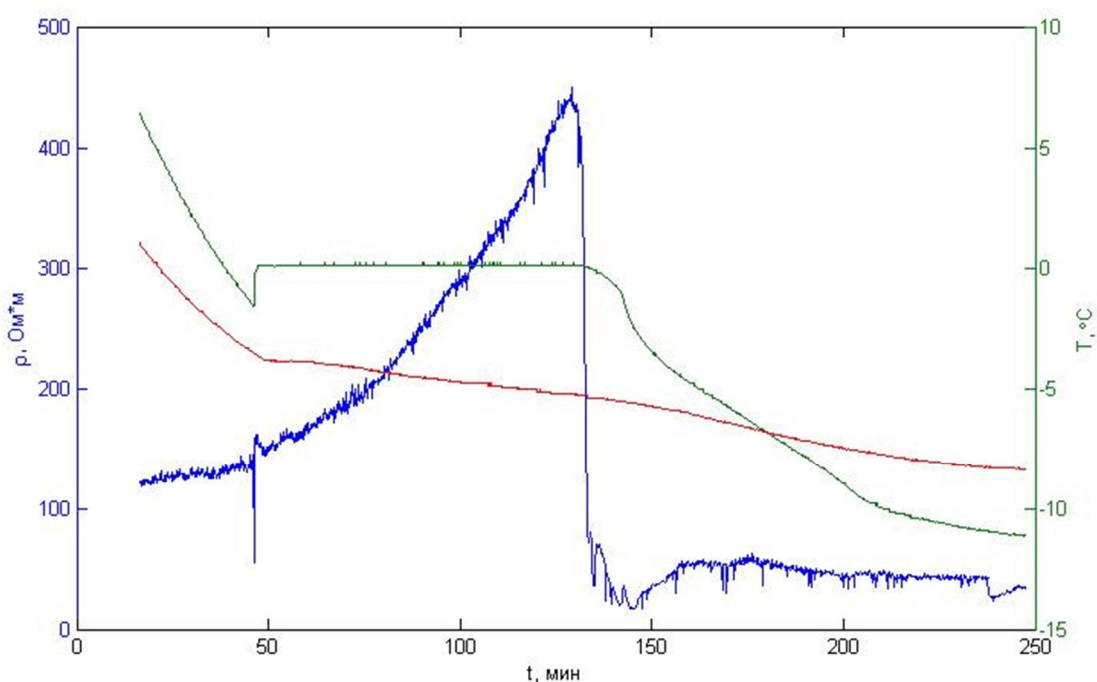


Рис. 2. Синяя кривая - зависимость УЭС от времени. Красная кривая – датчик температуры №2 (снаружи камеры). Зеленая кривая – датчик температуры №1 (в центре камеры)

ИЗМЕРЕНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ

Для изучения акустических свойств был создан зонд (рис. 3). Зонд состоит из пьезокерамического излучателя и приемника расположенных друг напротив друга и удерживаемыми стержнями.

Между излучателем и приемником размещается исследуемый образец. Излучатель и приемник схожи по конструкции (рис. 4). В латунный корпус укладывается подложка из текстолита, в которую клеиваются 2 пьезокерамические шайбы. Одна шайба служит для возбуждения продольных волн, а другая - поперечных. Для возбуждения волн на контакты U_p и U_s подается дельта импульс относительно потенциала земли. По времени

задержки прихода импульса на приемник можно судить о скорости распространения волны. Сверху подложка задавливается свинцом, так что один контакт соединяется с корпусом и тем самым заземляется. Все стыки проливаются эпоксидной смолой для обеспечения герметичности. На пьезокерамику подаются импульсы с импульсного высоковольтного генератора длительностью порядка 1 мкс и амплитудой 60В. Предполагаемые частоты возбуждаемых волн 500-700 кГц. Для данных измерений планируется использовать цифровой осциллограф с возможностью управления с ПК.

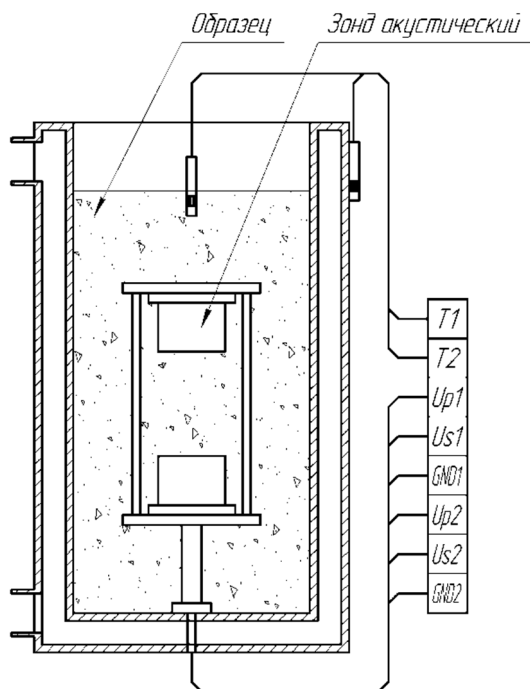


Рис. 3. Акустический зонд

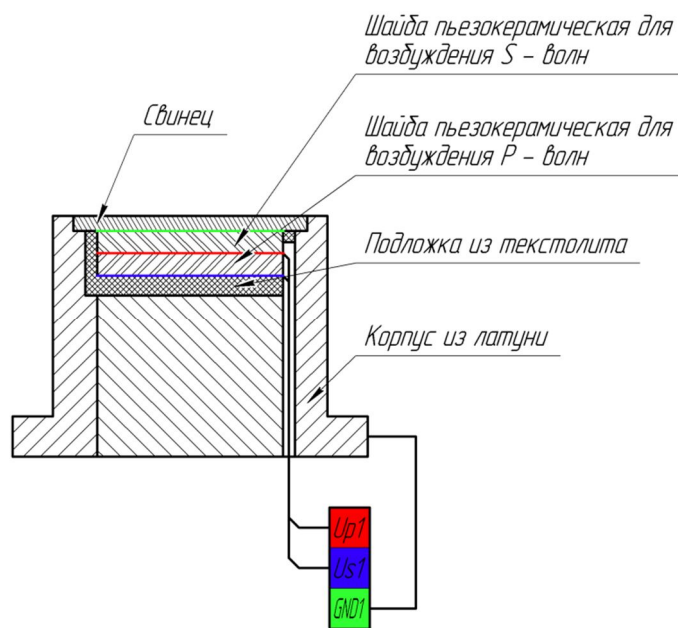


Рис. 4. Пьезокерамический излучатель

ВЫВОДЫ

В работе описано устройство, которое разработано и создано для автоматизации длительных экспериментов по измерению УЭС и температуры осадков в процессе моделирования мерзлых и гидратсодержащих промерзания или оттаивания образцов. Устройство создано на базе платы Seeeduino 3.0 и имеет графический интерфейс под Matlab.

Был создан зонд для измерения упругих свойств.

Разработанные устройства позволят измерять УЭС и упругие свойства осадков и грунтов на разных стадиях замерзания/оттаивания, а также в процессе разложения газогидратов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Дучкову А.Д., Манакову А.Ю., Дучкову А.А., Манштейну А.К. и Пермякову М.Е. за помощь в работе. Работа была поддержана МИП СО РАН №19 и грантом РФФИ (12-05-00415-а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гинсбург Г. Д., Соловьев В. А. Субмаринные газовые гидраты. // СПб.: ВНИИ Океангеология, 1994.
2. Дучков А.Д., Соколова Л.С., Аюнов Д.Е., Пермяков М.Е. Оценка возможности захоронения углекислого газа в криолитозоне Западной Сибири. // Криосфера Земли, т. XIII, №4, 2009, с. 62-68
3. Якубовский Ю. В., Ренард И.В. Электроразведка. // Недра, 1991. – 358 с.

© А. Н. Дробчик, Н. А. Манченко, Н. А. Голиков, 2014