

## РАЗРАБОТКИ ИНСТИТУТА

### Цифровая станция экологического мониторинга (температура, уровень воды, метеопараметры)»

Задачи экологического контроля решаются путем непрерывного слежения за важнейшими параметрами окружающей среды, такими как температура, влажность, уровень воды, давление, освещенность и др. Большая часть этих параметров является критически важной и для обеспечения решения задач геодинамического мониторинга.

В 2016 году была разработана и изготовлена многофункциональная станция, способная регистрировать перечисленные выше параметры в режиме мониторинга (Рис. 1 а). К устройству возможно подключать до 20 цифровых и 5 аналоговых датчиков различных физических параметров. Ядром устройства является платформа на базе высокопроизводительного микроконтроллера STM32F407VE (Рис. 1б). Для подключения датчиков на платформе предусмотрены различные интерфейсы: 1-Wire и I2C для цифровых датчиков и входы для аналоговых датчиков.

Для мониторинга температуры использованы цифровые датчики DS18B20. Для задач, где необходимо высокое разрешение и точность измерения температур, могут быть использованы полупроводниковые терморезисторы. В качестве датчика давления выбран цифровой датчик BMP180, позволяющий измерять абсолютное давление (контроль уровня воды в скважинах) в диапазоне 300 – 1100 гПа с разрешением 0.06 гПа в режиме энергосбережения и 0.02 гПа в режиме повышенной точности. Остальные использованные на данном этапе датчики: цифровой датчик влажности DHT-22, освещенности BH1750FVI (диапазон 1 до 65535 люкс). В настоящее время «Станция экологического мониторинга окружающей среды» проходит лабораторные и полевые испытания.

а



б

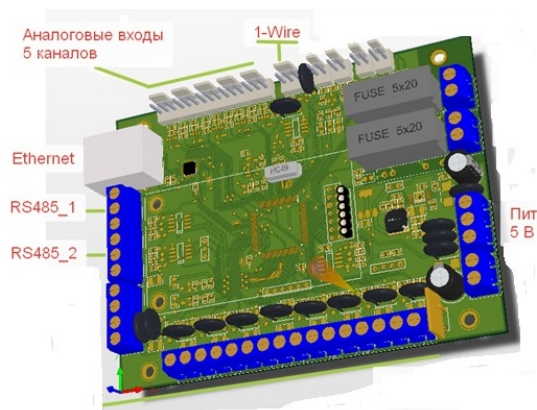


Рис. 1. Внешний вид станции в корпусе с подключёнными датчиками (а) и вид платы со стороны разъёмов для подключения датчиков (б).

### Программно-алгоритмические и аппаратурные разработки для методов электромагнитного профилирования и зондирования

За время работы над проектом НИР 2013-2016 гг. в ИНГГ СО РАН запатентован способ и устройство для индукционного частотного зондирования. Патент на изобретение № 2502092 "Способ и устройство для индукционного частотного зондирования" принадлежит ИНГГ СО РАН. Предложен новый способ компенсации прямого поля генераторной

катушки, заключающийся в расположении приёмной катушки на линии, вдоль которой вертикальная компонента напряжённости магнитного поля равна нулю. Такая схема позволяет создать прибор с одной измерительной катушкой и обуславливает преобладание одного экстремума в кривой профилирования над аномалией по удельному электрическому сопротивлению. Последнее было теоретически подтверждено. Был создан макет аппаратуры, который состоял из пяти приёмных катушек с разносом от 0.5 м (1-й зонд) до 2.5 м (5-й зонд) и позволял выполнять измерения мнимой (синфазной) и реальной (квадратурной) компонент э.д.с. на 14-ти частотах (от 2.5 до 250 кГц).

На территории обсерватории «Ключи» (ИНГГ СО РАН), расположенной вблизи Новосибирского Академгородка, находится электрометрический полигон, предназначенный для испытаний существующих и новых разработок в области малоглубинной геофизической аппаратуры. На полигоне созданы 10 квадратных площадок по 100 м<sup>2</sup> каждая, на которых заложено 33 объекта (металлические листы, бочки, фляги; металлические и пластиковые трубы, канистры; имитации мин, бомб, снарядов и т.п.). В ходе испытаний макета были выполнены измерения вдоль 4-х опорных профилей, проходящих по местам заложения 16-ти мишеней (металлические листы, алюминиевые фляги, стальные бочки и имитации различных объектов).

Разработан и программно реализован математический аппарат для моделирования и трансформации данных радиально частотного зондирования. В ходе программной реализации численных процедур оценки величины э.д.с., был проведён расширенный анализ, выбраны оптимальные параметры интегрирования. Среди них: порядок квадратур Гаусса, величина интервала интегрирования, а также количество подынтервалов, вычисляемых с геометрическим шагом. Это позволило обеспечить приемлемую скорость решения прямой задачи для будущего применения в инверсии, а также высокую скорость трансформации сигналов в кажущееся удельное сопротивление, позволяющую выполнять эту трансформацию в реальном времени на мобильном устройстве.

В результате сравнения синтетических и экспериментальных данных было определено следующее: предложенный принцип компенсации прямого поля вполне реализуем на практике. Были созданы 5 широкополосных приёмных катушек с ферритовыми сердечниками и с ними была достигнута компенсация прямого поля в 100 и более раз. При этом даже невысокая точность и жёсткость макетной конструкции позволила удерживать уровень компенсации, на фоне которого выделялись все тестовые объекты; подтверждено, что точка записи разработанной аппаратуры для всех приёмных катушек одина и может быть отнесена к центру генераторной катушки; доказано преобладание единого экстремума в диаграмме сигнала над локальным проводящим объектом (рисунок 2).

### Пр4.к3.Мод.f04

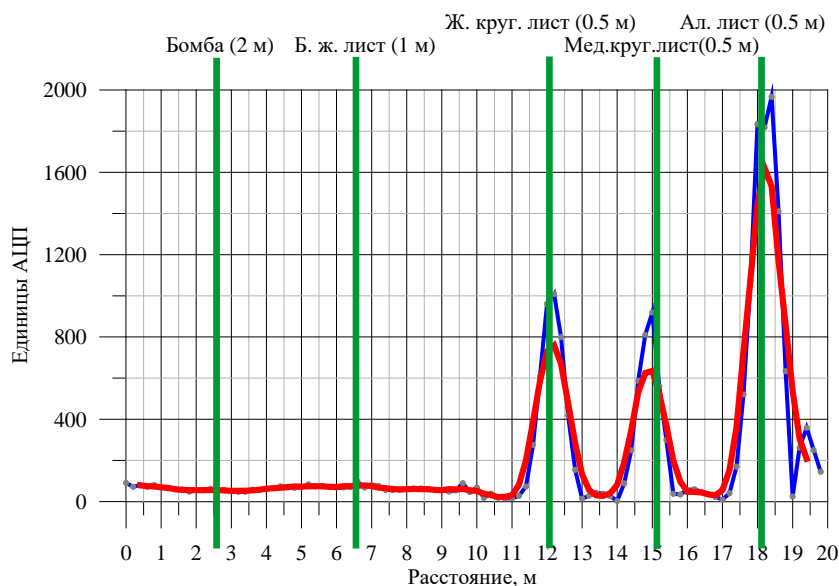


Рисунок 2 Модуль сигнала макета аппаратуры электромагнитного профилирования. Разнос 1.5м. Частота 5 кГц.

Анализ большого количества экспериментальных данных, полученных описанным макетом над более чем десятком объектов полигона, позволил выделить два перспективных направления развития описанного макета. Так как большинство локальных проводящих объектов, заложенных на глубину до 3 метров выделяются с помощью короткого зонда (горизонтальный разнос 0.5 м) на одной из двух частот близких к 10 и 100 кГц, то перспективно для целей профилирования создать двухчастотную компактную двухкатушечную аппаратуру. Для осуществления зондирования необходимо развивать многокатушечную версию аппаратуры РЧЗ.

Были изготовлены опытные образцы новой компактной аппаратуры электромагнитного профилирования. Первый вариант (прототип №1) был сконструирован и изготовлен совместно с резидентами Технопарка Новосибирского Академгородка ООО «Конструкторское бюро электрометрии» и ООО «Логикс» (см. рисунок 3). Выполнены экспериментальные работы по поиску технических решений временной стабильности режима компенсации прямого электромагнитного поля собственного генератора аппаратуры. В результате испытаний была установлена низкая механическая жесткость и недостаточная технологичность представленной конструкции, что приводило к высокому уровню шумов в измеряемом сигнале и сложности в настройке компенсации.

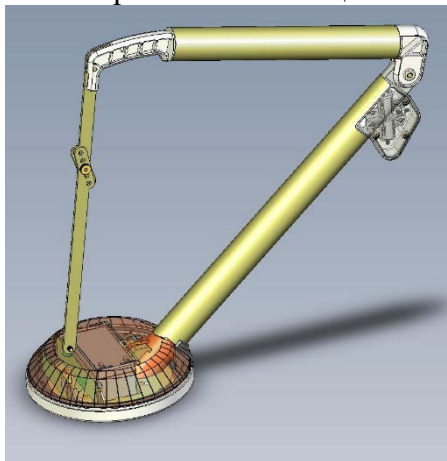


Рисунок 3 Прототип №1 аппаратуры электромагнитного профилирования: 3Д модель.

Совместно с ООО «Конструкторское бюро электрометрии» была разработана новая технологичная конструкция корпуса прибора, имеющая в своём составе жесткий несущий каркас из листового композитного материала. В настоящий момент изготовлен корпус прототипа №2 проведен монтаж радиоэлектронных компонентов (см. рисунок 4), изготовлены генераторная и приемные катушки.

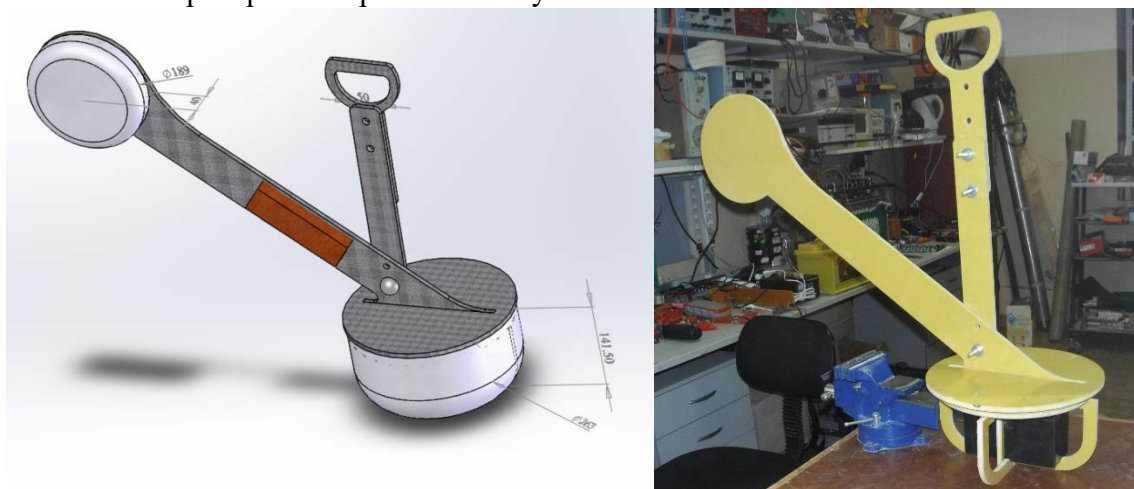


Рисунок 4 Прототип №2 аппаратуры электромагнитного профилирования: 3Д модель (слева); изготовленный несущий каркас аппаратуры (справа).

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для моделирования и трансформации данных радиально-частотных зондирований. Применимость предлагаемой реализации аппаратуры возможно показать, основываясь на трансформации данных, полученных над синтетическими средами.

Результаты проведенного математического моделирования демонстрируют благоприятные условия для проведения инверсии данных в рамках горизонтально-слоистой модели среды. В ходе исполнения настоящего проекта было разработан программно-алгоритмический аппарат для инверсии данных радиально-частотных зондирований. Программное обеспечение консольного типа было создано в среде разработки Compaq Visual Fortran v6.5. Инверсия производится минимизацией среднеквадратичной функции отклонения экспериментальных и расчетных данных методами Ньютона и Нелдера-Мида. Первый из них, использующий первые производные целевой функции, в большинстве случаев дает быстрый и достаточно точный результат. Второй – работает медленнее, однако позволяет находить решение в сложных случаях зашумленных данных и высокой эквивалентности геоэлектрических моделей. К настоящему моменту программно-алгоритмическое обеспечение успешно протестировано на ряде синтетических моделей.