

Электроразведочная аппаратура компании «СИГМА-ГЕО», как технологическое решение для геологоразведки нового поколения

- Шарлов М.В., ООО «СИГМА-ГЕО», ООО «СИГМА ЭЛЕКТРОНИКА», г. Иркутск.
- Агафонов Ю.А., ООО «СИГМА-ГЕО», г. Иркутск.
- Пестюрин Т.Н., ООО «СИГМА ЭЛЕКТРОНИКА», г. Иркутск.

Методы электроразведочных исследований являются популярным и востребованным инструментом в комплексе геологоразведочных работ; с их помощью решается широкий круг задач в различных отраслях — от нефтегазовой геологии и рудных месторождений до инженерных и экологических задач. Одновременно с развитием теории электроразведки, а также благодаря неуклонному улучшению элементной базы в микроэлектронике и прогрессу в области компьютерных технологий, совершенствуются и расширяются возможности аппаратуры для проведения полевых электроразведочных исследований. Требования заказчиков к информативности, точности и производительности таких исследований постоянно увеличиваются, вследствие чего разрабатываются и выпускаются новые модификации разнообразной измерительной электроразведочной аппаратуры.

Эффективные решения для полевых работ требуют использования высокотехнологичной электроразведочной аппаратуры, а также внедрения современных алгоритмов обработки и интерпретации полученных данных. Именно такие решения, разработанные группой компаний «СИГМА ЭЛЕКТРОНИКА» и «СИГМА-ГЕО», завоевали заслуженное доверие в отрасли. В результате этого их используют в качестве современного стандарта электроразведки в целом по индустрии, что не только укрепило репутацию бренда, но и фактически создало новый отраслевой стандарт оснащенности для компаний, проводя-

щих комплексные геофизические исследования. В итоге сформировался независимый спрос на современную и надежную аппаратуру, который успешно удовлетворяется компанией «СИГМА-ГЕО», поставляющей инновационные решения для рынка.

Многоканальная телеметрическая цифровая электроразведочная станция SGS-ТЕМ ПИКЕТ-32

Разработана в 2017 году (с обновлениями в 2019 и 2022 годах) М.В. Шарловым и Т.Н. Пестюриным на базе аппаратуры SGS-ТЕМ ПИКЕТ-2 предыдущего поколения [1]. Новая модификация отличается применением современных электронных компонентов с улучшенными характеристиками, включая 32-битный АЦП и малошумящий инструментальный усилитель, а также расширенными техническими параметрами (точность синхронизации, диапазон времен регистрации сигнала, скорость передачи данных по цифровому каналу, беспроводной интерфейс передачи данных и др.). При этом архитектура станции осталась аналогичной многоканальным телеметрическим сейсморазведочным комплексам, основанным на централизованной работе одноканальных измерителей. Это позволяет одному оператору контролировать работу оборудования на профиле, а результаты измерений с всех каналов становятся доступными для анализа в моменте измерений, что повышает качество работы и минимизирует вероятность ошибок.

Высокоточный многоканальный



▲ Рис. 1. Состав аппаратуры SGS-TEM ПИКЕТ-32: А – измеритель, Б – рюкзак и цифровая линия связи на катушке, В – коммутатор тока CTU-300 с силой тока до 300 А.

комплекс SGS-TEM ПИКЕТ-32 (рис. 1) предназначен для проведения электроразведочных работ на больших глубинах. Технические решения и полнофункциональный программный комплекс делают SGS-TEM ПИКЕТ-32 одной из самых совершенных и универсальных измерительных систем для масштабных работ с многоразностной зондирующей установкой. Станция предназначена для структурных и нефтегазопроисловых работ, изучения осадочных бассейнов, геологического картирования, рудной электроразведки, инженерной геологии, гидрогеологии, геоэкологических исследований и 3D-исследований. С помощью этой станции доступны методы электромагнитных исследований, такие как зондирование в ближней (ЗСБ) и дальней

(ЗСД) зонах, метод вызванной поляризации (ВП), частотные зондирования (ЧЗ) и методы постоянного тока.

Телеметрический аппаратно-программный комплекс SGS-TEM включает следующие ключевые компоненты (рис. 2):

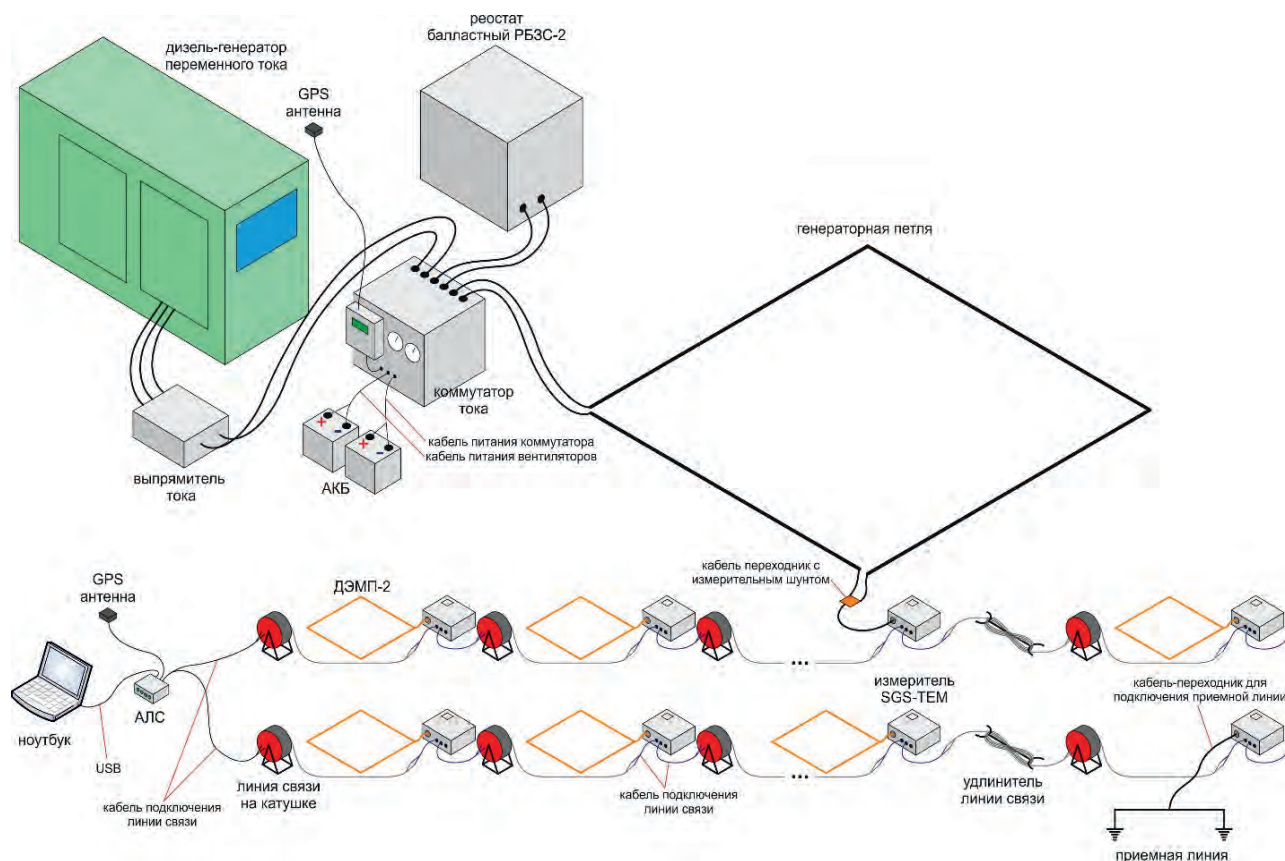
1. Полевые телеметрические модули (измерители)

- Максимально используемое количество каналов: 32 (возможное расширение до 64).

2. Бортовой комплекс

- Состоит из адаптера линий связи (АЛС) и персонального компьютера или ноутбука.

- Предназначен для управления параметрами измерителей, сбора и обработки зарегистрированных данных.



▲ Рис. 2. Схема подключения компонентов станции SGS-TEM ПИКЕТ-32.

Из Учебника «Современная практическая электроразведка»

/ науч. ред. чл.-кор. РАН Д.П. Гладкочуб ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние,

Ин-т земной коры. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2018. – 231 с. –

ISBN 978-5-9909584-1-8 (в пер.). DOI: 10.21782/B978-5-9909584-1-8.

3. Система возбуждения электромагнитного поля

- Основана на мощном транзисторном коммутаторе тока (СТУ-250 или СТУ-300) со спутниковой системой синхронизации GPS/GLONASS.

4. Программный комплекс

- Для регистрации, обработки и интерпретации данных электромагнитных зондирований.

Технические характеристики измерителя SGS-TEM ПИКЕТ-32

Измеритель построен на базе 32-разрядного АЦП ADS1262 фирмы Texas Instruments с использованием современных технологий поверхностного монтажа.

- Тип и разрядность АЦП: дельта-сигма ($\Delta\Sigma$), 32 разряда (включая знак).

- Шаг дискретизации: 25, 31, 62.5, 250 мкс, 1 мс, 3 мс, 20 мс.

- Измерение и сохранение входного сигнала с арифметическим шагом регистрации (full waveform recording) открытым каналом (без применения фильтрации и интегрирования во временные «окна»; данные операции выполняются при последующей обработке в программном обеспечении с настройками по выбору пользователя).

- Количество мультиплексируемых входных каналов (секций): 2. К разным входным секциям одновременно могут быть подключены датчики электромагнитного поля с разным магнитным моментом, для измерения как ранних, так и поздних времен становления сигнала, т.е. изучения как малых, так и больших глубин геоэлектрического разреза.

- Вход: дифференциальный (симметричный).
- Коэффициент усиления измерительного канала: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 256, 512; задается оператором индивидуально для каждого измерителя. Перед регистрацией измеряется с погрешностью не более 0,3 %.
- Полный теоретический динамический диапазон измерительной системы: более 240 дБ.
- Максимальное количество отсчетов при регистрации единичной реализации сигнала: 20 000 (диапазон измеряемых времен от 25 мкс до 400 секунд).
- Приемник поля: любой тип (многовитковая петля, активный индукционный датчик, заземленная линия).
- Программное управление коммутацией встроенного параллельного шунта: позволяет снизить паразитные осцилляции многовитковых датчиков.
- Скорость передачи данных: 0.1 - 3 Мбит/с на расстоянии до 1 км между измерителями (устанавливается в зависимости от качества и длин сегментов цифровой линии связи).
- Доступны модификации с беспроводными интерфейсами передачи данных (LoRa, WiFi).
- Встроенный GNSS-приемник: для фиксации координат расположения измерителя.
- Система синхронизации с точностью не хуже 10-6 сек: на основе GNSS или внешней проводной синхронизации.

Преимущества аппаратуры SGS-ТЕМ ПИКЕТ-32

Высокая разрешающая способность: регистрирующее оборудование и полевые технологии отвечают требованиям электроразведки, обеспечивая повышенную пространственно-времен-

ную плотность измерений; применение современного 32-разрядного АЦП позволяет измерять поздние времена становления с высокой точностью.

Принцип "открытого канала": реализован с регистрацией неизменных исходных сигналов с арифметическим шагом дискретизации по времени.

Беспроводной интерфейс передачи данных: позволяет организовывать высокоплотные 3D сети наблюдений и повысить производительность полевых работ.

Внешняя обработка сигналов: Обработка сигналов целиком вынесена на внешний компьютер, что позволяет использовать высокоэффективные математические алгоритмы для подавления помех.

Гибкость применения: Конфигурация станции позволяет применять метод зондирования в ближней зоне (ЗСБ) в промышленных районах, где использование электромагнитных зондирований ранее было невозможно или крайне затруднено.

Возможность работы в любых типах климата: от арктического до пустынного, от экваториальных джунглей до Сибирской тайги;

Высокая производительность в работе: комфортная и надежная система, компактная и легкая по весу; за счет интуитивно понятного интерфейса обеспечивается быстрое обучение операторов-геофизиков.

Телеметрический программно-аппаратурный комплекс FASTSNAP

Предназначен для проведения малоглубинных электроразведочных исследований.

Устойчивый интерес к изучению верхней части разреза (ВЧР) для решения инженерных, рудных и других задач,



▲ Рис. 3. Коммутатор тока и измерительный модуль комплекса FASTSNAP четвертого поколения.

связанных с малой глубиной, способствует развитию специализированной аппаратуры. Группа специалистов из Иркутска и Новосибирска (С.М. Стефаненко, А.В. Поспеев, Ю.А. Агафонов и М.В. Шарлов), опираясь на более чем десятилетний опыт в области цифровой электроразведочной техники, в 2005 году разработали первую версию скоростной телеметрической электроразведочной станции FastSnap [1,2]. Эта станция была ориентирована на решение задач малой и средней глубины с использованием метода зондирования в ближней зоне (ЗСБ). Успешное применение первой модификации станции, которое обеспечило высокое качество результатов электроразведки, позволило осуществить ее дальнейшую доработку. В 2007 году была выпущена вторая версия, отличающаяся улучшенной схемотехникой. В 2014–2015 годах М.В. Шарлов и Т.Н. Пестюрин разработали третье поколение станции, которое выделялось новым уровнем интеграции компонентов, увеличенным количеством каналов и улучшенными техническими характеристиками. На данный момент актуальным является четвертое поколение аппаратуры FastSnap, появившееся в 2022 году, основными улучшениями в котором

стала работа с ранними временами сигнала и минимизированный собственный отклик измерителя, расширенный набор периодов (частот) работы коммутатора, а также беспроводная модификация станции.

С момента появления FASTSNAP было проведено более 100 000 зондирований как в России, так и за границей, что привело к успешному решению десятков инженерных, геологических и экологических задач. Благодаря компактным размерам и малому весу полевых телеметрических измерителей и коммутатора тока (рис.3.) стало возможным проводить полевые работы в пешеходном режиме. При исследовании в условиях сложного (пересеченного) рельефа это позволяет осуществлять зондирование с любым заданным шагом.

Более того, уникальная скорость и разрешение аналого-цифрового преобразования, а также использование компьютерных технологий для обработки данных позволяют проводить исследования в условиях высокого уровня промышленных помех.

Приемный канал измерителей FASTSNAP основан на использовании двух АЦП (высокочастотном конвейерном АЦП и низкочастотном $\Delta\Sigma$ АЦП),

которые обеспечивают минимальный шаг дискретизации в 25 нс (с частотой дискретизации 40 МГц в высокочастотном режиме) и длительность регистрации до 3 секунд на поздних временах (в низкочастотном режиме), что позволяет исследовать геоэлектрические параметры на глубинах от 3–5 м до 1000–1500 м. В дополнение к методу ЗСБ, станция FastSnap также может применяться для измерений методами постоянного тока, ВП и радио-магнитотеллурического зондирования.

Технические характеристики измерителя FASTSNAP RXU-V3:

- Аналого-цифровые преобразователи (АЦП): Высокочастотный: 14 - 22 разряда, ΔT от 25 нс; Низкочастотный: 24 разряда, Δt от 25.6 мкс.
- Шаг дискретизации: арифметический: 25, 100, 800 нс; 6.4, 25.6, 204.8 мкс.
- Количество отсчетов на регистрацию: до 14 500 на единичную реализацию сигнала.
- Время регистрации сигнала от 25 нс до 3 с.
- Вход сигнала дифференциальный, макс. уровень входного сигнала:
 - Для высокочастотного АЦП: ± 1 В.
 - Для низкочастотного АЦП: ± 3 В.
- Предварительный усилитель: двухкаскадный, изменение коэффициента усиления от 1 до 280.
- Входное сопротивление усилителя: 5 кОм, при коммутации буферного каскада: 3 МОм.
- GNSS-приемник: встроенный, с точностью синхронизации ± 90 нс и определением пространственных координат.
- Система связи: двухпроводная линия «витая пара» длиной до 450 м, скорость передачи данных 1 Мбит/с.
- Доступна модификация с беспровод-

ным интерфейсом передачи данных (LoRa).

- Энергоснабжение: внутренние аккумуляторы для длительной работы.

Технические характеристики коммутатора тока FASTSNAP CTU-30:

- Управление: Автономное (с пульта управления) или с ПК (кабель управления или беспроводной интерфейс LoRa).
- Масса: Около 7 кг, встроенный аккумулятор 6 В, емкость 12 А·ч.
- Питание: Входное напряжение до 400 В; макс. ток 30 (45) А; макс. мощность ~2000 Вт.
- Синхронизация: Высоточная на основе GNSS (точность не хуже ± 90 нс).
- Период следования импульсов: 9 частотных и временных диапазонов, от 0.0001 (10 кГц) до 128 сек.
- Скважность токовых импульсов: Без паузы, 3:1, 1:1, 1:3.
- Набор шунтирующих резисторов (50 – 2000 Ом), для автоматического шунтирования колебательного процесса («звона») в генераторной петле.
- Время выключения тока (ramp): 3.5 мкс для генераторной петли 100 × 100 м.

Программное обеспечение:

Программное обеспечение FASTSNAP является частью единого программного комплекса для электромагнитных исследований. Программа FastEM-registration управляет параметрами измерителей и коммутатора, сбором и визуализацией сигналов, а также их сохранением в базе данных. Это обеспечивает возможность работы как в ручном, так и в автоматическом режиме с возможностью экспрессной обработки сигналов в реальном времени.

Данные характеристики делают систему FastSnap эффективным инструментом для выполнения геоэлектрических исследований с высоким качеством и

мобильностью, необходимыми в современном научном и практическом контексте.

Преимущества системы FASTSNAP

1. Обеспечивает высокую производительность работ, что позволяет проводить комплексные исследования в кратчайшие сроки.

2. Возможность работы в любых типах климата — от арктического до пустынного, а также в экваториальных джунглях и Сибирской тайге. Это делает оборудование пригодным для глобального применения.

3. Высокая частота дискретизации: Измеряемый сигнал с частотой дискретизации от 25 нс позволяет проводить сверхточные исследования строения геоэлектрического разреза.

4. Повышенная помехозащищенность: Аппаратура имеет высокую устойчивость к помехам, что гарантирует точность и надежность измерений даже в сложных условиях.

5. Экологичность: 100% экологичность аппаратуры делает её безопасной для использования в природных экосистемах, что особенно важно для современных исследований.

6. Высокая мобильность: Легкий вес

оборудования обеспечивает простоту транспортировки и высокую мобильность полевых партий, что ускоряет процесс развертывания в любой местности.

7. Интуитивно понятный интерфейс: Простота управления и интуитивно понятный интерфейс способствуют быстрому обучению операторов-геофизиков, что позволяет минимизировать время на подготовку к работе и повысить общую эффективность.

8. Наличие беспроводного интерфейса управления коммутатором тока и измерителем позволяет организовывать сложные сети наблюдений на земле, а также применять аппаратуру для съемки с использованием БПЛА в режиме зондирования или сканирования.

Эти преимущества делают систему FastSnap идеальным выбором для проведения геофизических исследований в самых различных условиях, обеспечивая высокую точность, надежность и удобство в использовании.

SMT32 – цифровой регистратор АМТ/МТ-поля

Аппаратура разработана в 2021 году и построена на базе лидирующего 32-разрядного АЦП [3]. Предназначена для

▼ Рис. 4. Внешний вид регистратора магнитотеллурического поля SMT-32 и устройства для калибровки индукционных магнитометров.



выполнения регулярных площадных или профильных измерений методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ и АМТЗ), а также для работы в составе мониторингового оборудования для долговременного измерения естественного МТ-поля на специализированных оборудованных полигонах.

Данный комплекс предназначен для регистрации магнитных (H_x , H_y , H_z) и электрических (E_x , E_y , а для мониторинговых измерений также оснащен шестым каналом – E_z) компонентов естественного магнитного поля Земли. Устройство позволяет выполнять измерения как в диапазоне частот, характерных для глубинного магнитотеллурического зондирования (от 0.0001 до 400 Гц), так и в аудио-диапазоне (АМТЗ) (от 1 до 10000 Гц), что значительно расширяет возможности решения задач на всех этапах геологоразведочных работ: региональном, поисково-оценочном и разведочном.

Область применения:

- Региональное картирование геологических структур
- Поиск и разведка месторождений полезных ископаемых
- Изучение глубинного строения Земли
- Мониторинг сейсмической активности

Технические характеристики SMT32

- Тип регистрирующей станции: цифровая, 32-разрядная
- Частотный диапазон измерителя: от 0.0001 до 10 000 Гц
- Измеряемые параметры: E_x , E_y , E_z , H_x , H_y , H_z
- Рабочий диапазон температур: от -40 °С до +60 °С

- Рабочая влажность: 0-95% (без наличия сплошной пленки воды)
- Входное сопротивление для электрических каналов: не менее 20 Мом.
- Частота дискретизации сигнала: 24 000, 2 400, 150, 15 Гц (возможность сохранения недецимированного сигнала на частотах 24 000 и 2 400 Гц).
- Фильтрация: настраиваемые цифровые децимирующие фильтры нижних частот; режекторные фильтры на 50/60 Гц.
- Память для сохранения данных: встроенная, объемом 128 Гб
- Подключение и управление: Wi-Fi, Высокоскоростной USB-разъем, HDMI.
- Габариты: 22 × 25.5 × 9.5 см.
- Масса: 2 кг.

SMT32 является эффективным инструментом для выполнения различных измерений и исследований в реализации проектов с использованием технологии МТ-зондирования.

Заключение

Компании «СИГМА-ГЕО» и «СИГМА ЭЛЕКТРОНИКА» разрабатывают собственную линейку электроразведочной аппаратуры для обеспечения высококачественных и точных измерений в геологоразведочных исследованиях. Самостоятельная разработка позволяет адаптировать технологии под конкретные потребности клиентов и гарантировать надежность и эффективность решений, обеспечивая при этом импортонезависимость.

Создание уникального оборудования и программного обеспечения способствует укреплению конкурентных позиций группы компаний и отвечает на растущий спрос на высокоточные технологии в области геофизики, позволяя

уверенно двигаться к своей цели — быть лидером в предоставлении передовых решений для геологоразведки.

Литература

1. Шарлов М.В., Агафонов Ю.А., Стефаненко С.М. Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap. Эффективность и опыт использования. // ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ, 2010, №1, с. 27–31.

2. Шарлов М.В., Буддо И.В., Мисюркеева Н.В., Шелохов И.А., Агафонов Ю.А. Опыт эффективного изучения верхней части разреза методом зондирования становлением поля в ближней зоне с системой FastSnap // ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ, 2017, №2, с. 8–24.

3. Куклина Ф.Р., Семинский И.К., Немцева Д.Б., Гомульский В.В., Давыденко С.А., Шарлов М.В., Агафонов Ю.А. Новейший российский аппаратно – программный комплекс

для магнитотеллурических зондирований «SMT-32» // ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ, 2024, №1, с. 45–51.

Современная практическая электроразведка» / науч. ред. чл.-кор. РАН Д.П. Гладкочуб ; Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Ин-т земной коры. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2018. – 231 с. – ISBN 978-5-9909584-1-8 (в пер.). DOI: 10.21782/B978-5-9909584-1-8