

Новая эра российской электроразведки: от импортозамещения к собственной высокотехнологической среде

■ Агафонов Ю.А., Шарлов М.В., Агафонов Е.А., Немцева Д.Б.,
ООО «СИГМА-ГЕО», г. Иркутск

Введение

В последние годы российская геофизика переживает важный технологический этап. Если ещё недавно ключевой задачей считалось импортозамещение отдельных компонентов и программных решений, то сегодня всё более очевидным становится другой процесс — формирование полноценной отечественной технологической среды.

Особенно ярко это проявляется в электроразведке. Современные российские компании уже создают не отдельные приборы, а комплексные производственные системы - от аппаратуры до программного обеспечения и высокотехнологичных мобильных полевых партий

Аппаратурные и технологические решения компании СИГМА-ГЕО

Современная электроразведка уже давно перестала быть исключительно «методом измерений». Сегодня её эффективность определяется качеством всей технологической цепочки — от проектирования сети наблюдений до построения комплексной геологической модели. По сути, современная электроразведочная партия превращается в распределённую цифровую систему, где объединяются:

- измерительные станции;

- генераторные установки;
- системы синхронизации;
- телеметрия;
- цифровой контроль качества;
- автоматизированная обработка;
- геологическая интерпретация.

Одним из наиболее показательных примеров комплексной реализации подхода является компания СИГМА-ГЕО, развивающая современные технологии электромагнитной разведки и полный производственный цикл электроразведочных работ.

На сегодняшний день, в компании существуют современные высококачественные решения — аппаратура, прошедшая масштабную апробацию и по своим характеристикам превосходящая импортные аналоги:

- FASTSNAP — мобильный высокоскоростной телеметрический программно-аппаратурный комплекс для мЗСБ;
- SGS-TEM — многоканальная помехозащищённая высокоточная аппаратура для ЗСБ;
- SMT-32 — Инновационная 32-х разрядная 5 канальная станция для МТЗ и АМТЗ.

Современные высокотехнологичные полевые партии СИГМА-ГЕО, выполняющие электроразведочные работы на масштабных проектах, показывают

▼ Рис. 1. Аппаратурные решения СИГМА-ГЕО — SMT-32 (слева), FASTSNAP (в центре) и SGS-TEM (справа).





▲ Рис. 2. Мобильность и автономность. Мощная генераторная установка и смоточные агрегаты, интегрированные в автомобиль повышенной проходимости УРАЛ-NEXT.

реальные результаты и высокое качество съемок в самых разных регионах и геоэлектрических условиях.

Новое поколение электроразведочной аппаратуры

За последние десять лет произошёл качественный скачок в развитии отечественной аппаратуры ЗСБ. Фактически речь идёт уже не об эволюции отдельных приборов, а о переходе к новой архитектуре электроразведочных исследований.

32-разрядные измерительные системы: рост чувствительности и детализации

Одним из наиболее важных технологических шагов стал переход на 32-разрядную измерительную аппаратуру. До 2019 года в большинстве проектов широко применялись 24-разрядные системы. СИГМА-ГЕО по сути разработала и внедрила новый стандарт к электроразведочной аппаратуре. На первый взгляд подобное изменение может показаться исключительно инженерным, однако его практическое значение для геологии оказалось принципиальным.

Повышение разрядности позволило:

- уменьшить собственные шумы аппаратуры;
- повысить чувствительность измерений;
- улучшить регистрацию слабых сигналов;
- уверенно работать на поздних временах становления;
- повысить детализацию геоэлектрического разреза.

Особенно важным это стало для глубинных исследований и работ в районах с высокой индустриальной зашумлённостью. Фактически современные измерительные комплексы позволили существенно повысить информативность электроразведочных данных без радикального увеличения объёмов полевых работ.

Мощные генераторные системы и борьба с помехами

Ещё одним важнейшим направлением развития стала модернизация генераторных комплексов. Современные системы используют коммутаторы тока с рабочими токами 250–300 А, тогда как ранее типовыми являлись значения

порядка 200А. Для глубинной электроразведки это имеет критическое значение.

Рост мощности генераторных установок обеспечивает:

- увеличение отношения сигнал/шум;
- повышение качества регистрации на больших глубинах и, в принципе увеличение глубины исследования;
- возможность исследований в условиях сильных промышленных помех.

Именно поэтому помехозащищённость аппаратуры становится не дополнительным преимуществом, а обязательным отраслевым требованием.

Высокоплотная 3D электроразведка

Отдельного внимания заслуживает развитие технологий 3D и 4D электроразведки. Как известно, геологические объекты зачастую характеризуются сложной блоковой структурой, латеральной изменчивостью свойств, трещиноватостью и неоднородностью коллекторов, что требует соответствующего подхода к изучению среды.

Развитие современных вычислительных систем и алгоритмов инверсии фактически стало одним из главных драйверов прогресса 3D электроразведки. Ключевы-

ми факторами здесь являются:

- высокоплотные сети наблюдений;
- мощные источники возбуждения;
- автоматическая 3D-инверсия;
- пространственное накопление данных;
- высокопроизводительные вычислительные комплексы.

В результате электроразведка получает возможность формировать объёмные геоэлектрические модели высокого разрешения.

Благодаря перечисленным технологическим решениям становится возможным проведение наиболее информативных и точных результатов исследований.

Электроразведочные исследования в структуре ГРП и при решении задач разработки:

Развитие аппаратурных решений и методик измерений само по себе было бы недостаточно без их интеграции в реальный производственный цикл. Ключевое значение имеет то, как эти возможности реализуются на практике. Переходя от чисто технологического описания к производственному контексту, рассмотрим место современной электроразведки в общей структуре ГРП и при решении задач разработки месторождений.

▼ *Рис. 3. Опыт СИГМА-ГЕО в проведении полевых площадных электроразведочных работ в комплексе с сейсморазведочными работами.*



Электроразведка как часть комплексной модели месторождения

Сегодня электроразведка всё реже рассматривается как отдельный самостоятельный метод. На практике она становится частью единой системы геолого-геофизического изучения месторождения и работает в тесной связке с сейсморазведкой, данными бурения и геомеханическими исследованиями. Именно такой комплексный подход позволяет существенно снизить геологические неопределенности и повысить достоверность прогнозов.

Особенно важным становится совместное использование электроразведки и 3D сейсморазведки. Если сейсмика хорошо показывает геометрическое строение среды и структуру ловушек, то электроразведка позволяет получать информацию о физических свойствах пород и характере насыщения. В результате появляется возможность не только

видеть структуру объекта, но и лучше понимать его природу и перспективность.

Цифровая интерпретация и машинное обучение

Современные программные комплексы позволяют заранее проектировать оптимальные сети наблюдений, контролировать процесс регистрации данных непосредственно в поле, автоматически выполнять обработку и инверсию материалов, оперативно оценивать качество измерений и объединять разномасштабные геолого-геофизические данные в единую систему интерпретации. В результате электроразведка становится значительно более управляемой, технологичной и предсказуемой с точки зрения конечного результата.

Отдельным направлением становится внедрение алгоритмов машинного обучения. В материалах компании отме-

▼ Рис. 4 Варианты полевых электроразведочных партий СИГМА-ГЕО –высоко-мобильная «лёгкая» партия для выполняющая малоглубинные работы мЗСБ в Аргентине (слева), колёсная партия на базе автомобилей УРАЛ-NEXT (справа), и гусеничная партия для выполнения работ в труднодоступных регионах (внизу).



чается использование подобных технологий для прогноза условий бурения на основе совместного анализа данных электроразведки, сейсморазведки и информации по скважинам. Такой подход позволяет не просто накапливать большие объемы данных, а выявлять скрытые закономерности и повышать достоверность прогноза.

Мобильные партии нового поколения

Серьёзные изменения сегодня происходят и в самой организации полевых электроразведочных работ. Если раньше работа партии во многом была привязана к стационарным базам и сложной инфраструктуре, то современные подходы всё больше ориентированы на мобильность, автономность и гибкость выполнения исследований.

Такой подход позволяет существенно сократить логистические затраты, повысить оперативность выполнения проектов и снизить необходимость создания крупных стационарных баз. Одновременно уменьшается и воздействие на окружающую среду за счёт более компактной и технологичной организации работ.

Фактически в отрасли формируется новый тип электроразведочной партии — мобильной высокотехнологичной системы.

Электроразведка в сложных условиях

Одним из главных признаков современного уровня электроразведочной аппаратуры становится её способность стабильно работать в самых сложных природных и производственных условиях. Практика показывает, что современные российские комплексы успешно применяются как в районах вечной мерзлоты Западной и Восточной Сибири, так и на густонаселённых урбанизиро-

ванных территориях с высоким уровнем промышленных помех.

Это особенно важно для современной геологоразведки, поскольку всё больше проектов выполняется на зрелых месторождениях, в районах развитой инфраструктуры, промышленной застройки и на территориях с серьёзными экологическими ограничениями. В подобных условиях уже недостаточно просто иметь высокую чувствительность аппаратуры — критически важными становятся устойчивость к помехам, мобильность полевых комплексов, возможность выполнять высокоплотные наблюдения и оперативно контролировать качество данных непосредственно в процессе работ.

Заключение

Современная российская электроразведка сегодня находится на этапе серьёзного технологического обновления. За последние годы в отрасли произошёл качественный переход от отдельных аппаратных решений к созданию полноценных программно-аппаратных комплексов, объединяющих высокоточную измерительную технику, современные системы управления, цифровую обработку данных, машинное обучение и комплексную геологическую интерпретацию. Компания СИГМА-ГЕО стоит на передовой технологического прогресса в области разработок высокоточной электроразведочной аппаратуры и программного обеспечения для методов ЗСБ и мЗСБ.

При этом уже сегодня российские электроразведочные решения демонстрируют высокий технологический уровень и способность эффективно работать в самых сложных геологических, климатических и производственных условиях. Современная отечественная

аппаратура успешно применяется как для инженерных и экологических исследований, так и для решения сложных нефтегазопоисковых задач, включая глубинные исследования и высокоплотные 3D-проекты.

Разумеется, несмотря на огромные преимущества, кадровый и технологический потенциал, многие компании, в т.ч. СИГМА-ГЕО, сталкиваются с рядом проблем. Недостаточное финансирование, отсутствие механизмов инвестирования и авансирования со стороны Заказчиков, значительное увеличение сроков оплат по выполненным проектам, достаточно сложные механизмы поддержки со стороны государства, устаревшие стандарты по проведению электроразведочных работ – все эти факторы значительно сдерживают темпы технологического развития отечественных компаний.

Тем не менее, фактически в российской электроразведке формируется новый этап развития — этап создания собственной высокотехнологичной инженерной среды, способной обеспечить не только технологическую независимость отрасли, но и дальнейшее развитие отечественных геофизических технологий на мировом уровне.

Литература

1. Приборы и системы разведочной геофизики. СПЕЦВЫПУСК. 2025. Электроразведочная аппаратура компании «СИГМА-ГЕО», как технологическое решение для геологоразведки нового поколения
2. Приборы и системы разведочной геофизики. СПЕЦВЫПУСК. 2025. СИГМА-ГЕО: от геологических задач к эффективным решениям;
3. Поспеев А.В, Буддо И.В., Ю.А. Агафонов, - Современная практическая электроразведка, - Академическое издательство «ГЕО», 2018
4. Материалы компании СИГМА-ГЕО. <https://sigma-geo.ru/>