

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ЕЖЕКВАРТАЛЬНОЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ ИЗДАНИЕ САРАТОВСКОГО
ОТДЕЛЕНИЯ ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

ЯНВАРЬ-МАРТ

01/2010

ТЕМА НОМЕРА:

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

О проблемах охраны труда в геофизических партиях
Зачем нужен супервайзер?

Телеметрические системы XZone® для сейсморазведки без границ

XZone® Bottom Fish - на акваториях



XZone® Marsh Line - в транзитных зонах



XZone® Fly Lander - на суше



■ Колонка редактора

В эти трудные времена...

П.А. Турлов

4

● Тема номера: Инновационные технологии в электро- и сейсморазведке

■ Начала

Инновационная экономика в сфере недропользования России – стратегическая задача развития

Зайченко В.Ю.

5

■ Инновации в электроразведке

Результаты многолетнего применения электротомографии на Александровском геофизическом полигоне в Калужской области

Бобачев А.А., Ерохин С.А.

10

Методика прогнозирования зон коллекторов и мониторинга геоэкологического состояния среды с применением электромагнитных зондирований в условиях юга Сибирской платформы

Компаниец С.В., Буддо И.В., Гомульский В.В.

16

Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap. Эффективность и опыт использования

Шарлов М.В., Агафонов Ю.А., Стефаненко С.М.

20

Аппаратура и программное обеспечение для наземной и морской модификаций ДНМЭ

Алаев В.Н., Давыденко Ю.А., Жуган П.П., Мальцев С.Х.

25

■ Инновации в сейсморазведке

Новая аппаратура ТЕЛСС-2, ЭЛЛИСС-3, ЭЛСИС-1 для повышения качества геофизических исследований

Федотов А.С.

32

Об оптимизации зондирующих сигналов и приемников по критерию отношения сигнал/помеха плюс шум при работе с импульсными невзрывными источниками сейсморазведки

Шайдуров Г.Я., Детков В.А.

35

Совершенствование технологии геофизических исследований

Петров Ю.П., Костицын В.И.

40

От акселерометров к сейсмоприемникам ускорения

Рыжов А.В.

43

■ Геофизические технологии

Зачем нужен супервайзер? Мифы и реалии сейсморазведки

Феоктистов А.В., Феоктистов В.А.

49

Изучение геофизических и геокриогенных характеристик грунтов верхней части разреза Харасавэйского газоконденсатного месторождения

Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Нагодкина Ю.А.

54

Сейсморазведка на отраженных волнах с использованием высокочастотного вибратора СВ-5/300В

Алелюхин Н.П., Сулейманов А.К.

58



СОДЕРЖАНИЕ

Главный редактор
Турлов П.А.
e-mail: paturlov@mail.ru

Выпускающий редактор
Кузнецов Н.М.

Менеджер проекта
Мокроусов Е.И.

Верстка
Коваленко В.А.
e-mail: v425489@yandex.ru

Обложка и оформление
Мокроусов Д.В.

Секретарь редакции
Тупицына Н.А.
e-mail: geoinstruments@mail.ru

Адрес редакции:
Россия, 410019, г. Саратов,
ул. Крайняя, 129

E-mail: paturlov@mail.ru

www.prgf.blogspot.com

Тел./факс: (8452) 64-14-32

Тираж отпечатан
в типографии
ООО "Правильный Вывод"
тел: (845-2) 60-07-07
Тираж: 600 экз.
Подписано в печать
25.03.10
Дата выпуска: 01.04.10 г.
Заказ № 2909

Надание зарегистрировано в
Министерстве РФ по делам
печати, телекоммуникаций и
средств массовых коммуника-
ций за номером ПИ №77-
7906 от 27.04.2001 г.

От редколлегии
Ответственность за подбор
и изложение фактов в статье
несут авторы. Редколле-
гия может публиковать
статьи, не разделяя точки
зрения авторов.

© П.А. Турлов, составление,
2010

© СПО МОО ЕАГО, оформле-
ние, 2010

В эти трудные времена...

Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

Модный термин – инновация выбран ключевым словом этого выпуска журнала. Этот факт легко объясним. Страна переживает трудные времена, которые затронули и топливно-энергетический комплекс. Появились взаимные долги, сократились объемы производства, финансовые планы предприятий «трещат по швам». Самое время подумать о будущем поведении организации на рынке, выходящем из кризиса! В это время креативные сотрудники фирм выдвигают идеи новых товаров и услуг, призванных либо радикально, либо эволюционно решить вопросы заполнения товарных ниш на рынке. О том, как происходят замещение существующих методик геофизических исследований новыми технологиями – подборка материалов в этом выпуске. Читатель найдет в журнале и основные теоретические положения по результатам инновационных технологий, и информацию об инструментари, чаще всего тоже новом, обеспечивающем продвижение в практику работ новых технологий.

Конечно, готовя этот номер, издатель столкнулся с типичными трудностями кризисного времени: рост цен и тарифов, нехватка денег на подготовку и выпуск журнала, увеличение кредиторской задолженности у участников издательского процесса. Однако редакция нашла в себе силы преодолеть эти трудности и подготовила этот, первый в 2010 году номер журнала, с крайне актуальной информацией. Тема оказалась настолько интересной, что объем журнала не вместил все присланные материалы. Однако редакция обещает авторам и читателям, что все полученные по этой теме статьи будут помещены в следующих журналах. А если завяжется дискуссия по тематике номера, в которой стороны поделятся найденными решениями новых сложных и трудных задач, мы будем только рады. Кризис заставляет и редакцию журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» заняться созданием и внедрением новых технологий в редакционно-издательском процессе. В этом вопросе, уважаемые читатели, мы ждем любых ваших идей, предложений и подсказок, которые могут оказаться полезными и востребованными для нашего общего дела. Так что не пропустите этот очередной номер журнала, поспешите высказать свои взгляды в письмах, направленных в редакцию.

Несколько нововведений, ожидающих читателей журнала в этом году:

- Для заполнения журнальных страниц только актуальной информацией редакция вводит обязательное рецензирование всех научных и научно-технических статей, рассчитывая на безусловный подъем уровня качества публикуемых материалов;
- Подписка на следующий год будет проводиться в двух вариантах: редакционной и «почтой России»;
- Журнал внесен в реестр общероссийских и международных изданий;
- Журнал идентифицируется с помощью международного кода ISSN;
- Постепенно заполняется электронный архив предыдущих номеров журналов, организованный на сайте в Интернете.

Все эти действия, надеемся, позволят в дальнейшем решить вопрос о внесении нашего издания в перечень журналов, рецензируемых ВАКом. Эту работу мы инициировали по Вашим, уважаемые авторы и читатели, просьбам, так что обратная связь «Читатель – Редакция» работает! Пишите чаще, больше, интересней, а журнал всегда готов представить вам свои страницы в качестве трибуны.

До встреч на страницах журнала!

С наилучшими пожеланиями
Главный редактор

П.А. Турлов

НАШИ ПАРТНЕРЫ



СП СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ГЕОТЕХ

ООО «Северо-Запад»

ИЭРП институт
интердисциплинарных
исследований



ООО «ТЕОСИГНАЛ»

ООО «Ампер-Мастер»

ИП Феоктистов

ИНГЕОКОМ



Инновационная экономика в сфере недропользования России – стратегическая задача развития

Зайченко В.Ю., ГНЦ РФ ВНИИГеосистем, г. Москва

Введение
В конце XX века человечество вступило в новую стадию своего развития – стадию построения **постиндустриального общества**, в котором главную роль играют информационные технологии и компьютеризированные системы, производственные инновационные технологии, инновационные системы, инновационная организация различных сфер деятельности и другие новаторские достижения.

Инновационная экономика является новой экономической формацией, которая приходит на смену индустриальной экономики. Это новый тип экономики, когда прирост внутреннего валового продукта создается за счет новых знаний, воплощенных в технике и технологиях, новых формах управления производством, иных результатов интеллектуальной деятельности и других новшеств, направленных на достижение минимизации себестоимости продукции, сокращение доли ручного труда, снижение непроизводительных затрат времени, трудоемкости и материалоемкости продукции, повышение эффективности использования оборудования и конкурентоспособности производимой продукции. Эти показатели достигаются путем развития инновационной деятельности, которая является основой инновационной экономики. В развитых странах 80-90 % прироста валового внутреннего продукта (ВВП) приходится на долю новых знаний, воплощенных в технике и технологиях.

Ход развития мировой экономики показывает, что из стран, вставших на путь рыночных преобразований и развития инноваций, только 7-8 стран можно отнести в высокоразвитым, которые удерживают первенство по макротехнологиям. На их долю приходится 92 % мирового объема наукоемкой продукции (доля США – 39 %, Японии – 30 %, Германии – 16 %, Китай – 6 %) [7].

В 2010 году по прогнозам экспертов мировой рынок наукоемкой продукции составит 3,5 трлн. долл., из них 1,2 трлн. долл. приходится на информационные технологии [7].

Объем мировой торговли лицензиями на объекты интеллектуальной собственности ежегодно увеличивается на 12 % при темпах роста мирового промышленного производства на 2,5-3 % в год [10].

Уровень развития инновационной сферы (науки, наукоемких отраслей, технологических центров) создает основу устойчивого экономического роста, поэтому формирование национальных инновационных систем (НИС) является главным фактором долгосрочного роста экономики.

Условиями успешного функционирования инновационной деятельности, кроме передовой науки и образования, по мнению ряда исследователей [5, 6, 7, 8, 11 и др.] являются:

- наличие конкурентоспособного сектора в виде крупных кор-

- пораций;
- приоритет государственной политики в развитии образования, науки и технологий;
- создание благоприятных институциональных условий для инновационной деятельности;
- интеграция в глобальную инновационную сферу.

Реализация этих условий в развитых странах позволяет производить ценные знания и информационные ресурсы для удовлетворения экономических, политических, социальных, научных и культурных потребностей государства. По сути, происходит становление нового производства, в котором наука становится его функцией, придавая ему наукоемкий характер.

Оценка наукоемкости и наукоотдачи национальных экономик

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, наблюдается тесная зависимость роста ВВП и наукоемкой продукции от доли расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в общем объеме ВВП.

Таким образом, анализ современных тенденций развития экономики ведущих стран мира свидетельствует о том, что инновационная экономика – **это экономика общества, основанная на знаниях, инновациях, на доброжелательном восприятии новых идей, новых систем и технологий, новых машин и оборудования, на готовности их практической реализации в сфере материального производства.**

Под влиянием научных и технологических знаний традиционные формы материального производства трансформируются и радикально изменяются, ибо если не используются новые знания и инновации, то в инновационной экономике эти формы оказываются нежизнеспособными.

Состояние формирования инновационной экономики в России

По оценкам многих исследователей [5, 6, 7, 8, 11 и др.] инновационная активность реального сектора экономики России достаточно низка: разработку и внедрение технологических инноваций осуществляют только около 5 % промышленных предприятий (в развитых странах 80-87 %); расходы на инновации составляют 1,01 %, используются только 8-10 % инновационных идей и проектов (в Японии – 95 %, в США – 62 %); из 500 запатентованных изобретений находит применение только одно [11].

По мнению экспертов в настоящее время к основным российским макротехнологиям, кото-

Таблица 1.

№ п/п	Страна	ВВП млрд. долл.	Доля ВВП на занятого тыс.долл.	Доля расходов на НИОКР в % ВВП	Для наукоемкой продукции в экспорте, %	Доля в мировом экспорте информационного оборудования, %
1	США	9875	73,1	2,64	28,2	16,3
2	Китай	5135	7,2	1,00	16,7	4,6
3	Япония	3425	56,0	3,04	26,3	11,5
4	Германия	-	56,0	2,44	15,3	4,8
5	Великобритания	-	54,5	1,87	26,2	5,3
6	Италия	1410	56,5	1,04	7,9	1,1
7	Франция	-	56,5	2,17	19,4	3,4
8	Россия	-	18,0	1,01	3,1	0,2

Примечание: по данным работы [2].

НАЧАЛА
ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



рые могут составить конкуренцию иностранным, можно отнести: космос, судостроение, ядерную энергетику, биотехнологию, микроэлектронику, специальное машиностроение [6].

Определение содержания понятия инновационная деятельность впервые в России было дано в постановлении Правительства РФ от 24.06.1998 г. № 832 "О Концепции инновационной политики Российской Федерации на 1998 – 2000 годы" в следующей формулировке: "Инновационная деятельность – это процесс, направленный на реализацию результатов законченных научных исследований и разработок либо иных научно-технических достижений в новый или усовершенствованный продукт, реализуемый на рынке, а также в усовершенствованный технологический процесс, используемый в практической деятельности, а также связанные с этим дополнительные научные исследования и разработки" [9].

Обращает на себя внимание указание о том, что законченные результаты научных исследований и разработок, а также другие научно-технические достижения должны быть реализованы на рынке, т.е. в производственной практике. Отсюда следует, что все идеи и новшества должны быть реализованы в завершенной научно-технической продукции, пригодной для внедрения в производство. Только тогда они будут являться **инновациями**, обеспечивающими инновационную активность, что является обязательным условием инновационной экономики.

Постановление Правительства Российской Федерации [9] определило основные направления государственной политики в области инновационной деятельности, к которым следует отнести:

- разработку и совершенствование нормативно-правового обеспечения инновационной деятельности;
- создание системы комплексной поддержки инновационной деятельности, развития производства, повышения конкурентоспособности и экспорта наукоемкой продукции;
- обеспечение процесса активизации инновационной деятельности, в котором необходимо участие не только органов государственного управления, коммерческих структур, финансово-кредитных учреждений, но и общественных организаций, как на федеральном, так и на региональном уровнях;
- развитие инфраструктуры инновационного процесса;
- развитие форм малого инновационного предпринимательства;
- совершенствование конкурсной системы отбора инновационных проектов и программ;
- использование технологий двойного назначения.

Как видно, Правительством РФ еще в 1998 году были определены основные направления действий, обеспечивающих развитие в нашей стране инновационной активности, являющейся основой инновационной экономики.

Дальнейшее совершенствование государственной политики в области развития инновационной деятельности в России получило в Распоряжении Президента Российской Федерации от 30 марта 2002 г. № ПР-576 "Основы политики Российской Федерации в области науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу" [10], в котором была определена национальная инновационная система, предусматривающая:

- создание благоприятной экономической и правовой среды;
- построение инновационной инфраструктуры;
- совершенствование механизмов государственного содействия коммерциализации результатов научных исследований и экспериментальных работ (пункт 19).

Установлено, что для ее реализации необходимо решение следующих основных задач:

1) Совершенствование механизмов взаимодействия между участниками инновационного процесса, включая организацию взаимодействия государственных научных организаций и государственных высших учебных заведений и государственных предприятий;

2) Проведение действенной экономической политики в отношении участников инновационного процесса, стимулирование внебюджетного финансирования, создание институциональных правовых условий для развития венчурного инвестирования в наукоемкие проекты;

3) Создание и развитие объектов инновационной инфраструктуры, сети организаций по оказанию консалтинговых услуг в области инновационной деятельности, содействие созданию и развитию в научно-технической сфере малых инновационных предприятий, специальных бирж интеллектуальной собственности и научно-технических услуг (пункт 20).

Таким образом, можно констатировать, что на государственном уровне пути и задачи развития в России инновационной деятельности, являющейся основой инновационной экономики, определены. Однако, как следует из заявлений Президента Российской Федерации Д.А. Медведева, сделанных в последнее время, их реализация идет крайне медленно, что требует кардинального изменения на всех уровнях управления отношения к этому стратегическому направлению развития экономики России.

По мнению многих исследователей [5, 6, 7, 8, 11] основные признаки инновационной экономики заключаются в следующем:

- любой индивидум, группа лиц, предприятия производят, формируют и используют в производстве новые технологии, материалы, машины, современные информационные системы, новые методы организации и управления для повышения его эффективности;
- имеется развитая инфраструктура, обеспечивающая генерации новых идей, технологий, методов, способов и других инноваций, необходимых для поддержания научно-технического прогресса и инновационной деятельности в целях обеспечения устойчивого социально-экономического развития общества;
- происходит воссоединение и расширение капитала участников инновационной деятельности различных сфер;
- доброжелательно воспринимаются новые идеи, знания, технологии и другие инновации и проявляется готовность к их внедрению в производство на всех уровнях управления;
- имеется налаженная система подготовки и переподготовки кадров для инновационной деятельности в конкретной сфере;
- происходит развитие процесса ускоренной автоматизации и компьютеризации всех сфер производства и управления.

Таким образом, неотъемлемыми атрибутами инновационной экономики являются:

- постоянное стремление к использованию новых идей, технологий, приемов управления производством на всех уровнях и других новшеств, обеспечивающих повышение его эффективности;
- совершенствование инфраструктуры создания и внедрения инноваций;
- слияние капитала организаций различных форм собственности при инновационной деятельности;
- подготовка и переподготовка кадров, способных воспринимать и использовать инновации в рыночных условиях;
- конкуренция новых идей, технологий, систем

информатизации и автоматизации, приемов управления и другие нововведения, обеспечивающие эффективное решение социально-экономических задач.

Следует отметить, что переход на инновационный путь всех странах мира является неизбежным, независимо от их социально-экономического развития. Поскольку недропользование является одним из важнейших секторов экономики России, использование минерально-сырьевого комплекса которого обеспечивает 60 % налоговых поступлений и 70 % валютных средств в казну государства и который еще длительное время будет доминировать в нашей стране, рассмотрение наличия предпосылок для перехода данной сферы на инновационную экономику является одним из сложных, но важных вопросов на современном этапе развития отечественной экономики.

Предпосылки формирования инновационной экономики в сфере недропользования России

Рассмотрим предпосылки формирования инновационной экономики в сфере недропользования России в последовательности изложенных выше признаков:

а) **О готовности физических лиц, коллективов, организаций, органов управления сферой недропользования к переходу на инновационную экономику.**

Для ответа на этот вопрос сферу недропользования следует подразделить на две области деятельности:

- геологическое изучение недр;
- использование результатов геологического изучения в промышленности,

и рассматривать их при решении поставленных задач отдельно, исходя из состояния внедрения научных идей, технологий, способов и технических средств, прежде всего, в области геологического изучения недр, результативность которого является основой развития минерально-сырьевого комплекса страны в целом.

Необходимо отметить, что сам процесс геологического изучения недр является инновационным, так как при его реализации используются современные научные идеи и достижения наук о Земле, а также передовые геологоразведочные и информационные технологии познания недр. В связи с этим, на всех уровнях геологоразведочного производства, начиная от рядовых специалистов и кончая сотрудниками органов управления, уже существует готовность и понимание необходимости к переходу на инновационную экономику, однако, по нашему мнению, им недостаточно ясен механизм самого перехода, то есть какие организационные меры следует реализовать для перехода на инновационную экономику. Для этого, прежде всего, необходима разработка целого ряда нормативно-правовых и рекомендательных документов для их обучения. **Это дело поправимое, но готовность сотрудников сферы недропользования к переходу на инновационную экономику будет достигнута лишь в том случае, если они будут убеждены в экономической и социальной эффективности ее использования.** В связи с этим нужна большая подготовительная работа на всех уровнях управления в области геологического изучения недр.

К инновационному движению в сфере недропользования следует отнести и индивидуальное первооткрывательство месторождений полезных ископаемых, на долю которого приходится порядка 40 % открытий новых месторождений [3, 4]. К сожалению, в настоящее время из-за несовершенства нормативно-правовой базы это движение потеряло былую активность. Для его возрождения

следует предпринять ряд организационно-правовых мер, позволяющих обеспечить интеллектуальную активность специалистов, занятых в области геологического изучения недр. Что касается готовности коллективов, организаций и органов управления сферой недропользования в целом, то она определяется уровнем научно-экономической подготовки специалистов, обеспечивающих реализацию инновационного развития на ключевых участках.

б) **О наличии развитой инфраструктуры, обеспечивающей генерацию новых идей, технологий, методов, способов и других инноваций, необходимых для поддержания научно-технического прогресса на современном уровне.**

Геологическое изучение недр Российской Федерации является той сферой, где исторически сложилась система научных организаций и коллективов, способных генерировать инновационные идеи, разрабатывать новые технологии и способы их практического применения, что при тесной связи с геологоразведочным производством облегчает переход на инновационную экономику. Вместе с тем, существует проблема создания инноваций на базе многочисленных идей, пригодных для внедрения в геологоразведочное производство. Анализ научно-технической продукции, созданной за счет средств федерального бюджета в сфере недропользования в предыдущие годы, свидетельствует о том, что только 20 % завершенных разработок соответствуют критериям инноваций, а большинство из них являются рекомендациями, которые хотя и содержат новизну, однако не готовы к внедрению в качестве инноваций.

Таким образом, необходимо, прежде всего, научиться управлять поиском и созданием инноваций, пригодных для внедрения в геологоразведочное производство, а также определять их социально-экономическую эффективность в соответствии с требованиями инновационной экономики. Для этого следует установить, каким критериям должны соответствовать инновации, планируемые к созданию и внедрению в сфере недропользования и руководствоваться ими при отборе технических, технологических, нормативных, финансовых, управленческих и других новшеств, способных обеспечивать кардинальное повышение эффективности геологоразведочного производства [12].

Поиск инноваций, пригодных для внедрения, может облегчить анализ объектов интеллектуальной собственности (ОИС), созданных в сфере недропользования за последние годы, на предмет эффективности их использования при геологическом изучении недр. Это позволит определить возможность их применения на производстве.

Следует отметить, что полного учета ОИС в системе природопользования, к сожалению, не существует. В связи с этим, следует, прежде всего, провести инвентаризацию научно-технической продукции и объектов интеллектуальной собственности, созданных за счет средств федерального бюджета, и установить наличие новшеств, отвечающих критериям инноваций.

К сожалению, в настоящее время в инфраструктуре сферы недропользования России очень мало опытно-конструкторских организаций, способных создавать и тиражировать высокоэффективные образцы буровой, геофизической, геохимической, лабораторно-аналитической и другой современной техники, что не позволяет обеспечивать внедрение создаваемых прогрессивных технологий геологического изучения недр и вынуждает ориентироваться на зарубежные рынки.

Вышеизложенное позволяет констатировать, что в настоящее время в сфере недропользования



НАЧАЛА

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

имеется односторонне развитая инфраструктура, обеспечивающая генерацию новых идей, прогрессивных технологий и новых информационных систем и других новшеств, которые при создании на их основе инноваций могут обеспечить переход на инновационную экономику. Однако она подлежит корректировке и управлению с учетом технического ее развития, обеспечивающего функционирование инновационной экономики.

Весьма важным новым элементом инфраструктуры сферы недропользования является **Ассоциация геологических организаций (АГО)**, образованная в 2007 году с целью создания и совершенствования эффективной системы исследования недр, воспроизводства минерально-сырьевой базы России как основы социально-экономического ее развития и безопасности.

Ассоциация объединяет на добровольной основе целый ряд научно-исследовательских и геологоразведочных организаций различных форм собственности и для достижения поставленных целей имеет право, согласно Уставу, осуществлять любую необходимую для этого деятельность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

По нашему мнению, АГО могла бы стать **центром отбора, создания и подготовки для внедрения в производство инноваций для геологического изучения недр в сфере недропользования**, а также осуществлять контроль за их использованием, что способствовало бы переходу на инновационную экономику. Для этого необходимо разработать и утвердить соглашение между Ассоциацией геологических организаций и Федеральным агентством по недропользованию Минприроды России, в котором должны быть определены цели и задачи АГО в этой области, а также степень ответственности за их реализацию. Следует отметить, что в утвержденном Уставе Ассоциации роль и ее задачи в инновационном процессе не отражены [1].

в) Воссоединение и расширение капитала участников инновационной деятельности различных сфер.

В настоящее время финансирование геологического изучения недр осуществляется из различных источников в зависимости от той или иной стадии или этапа геологоразведочных работ:

- региональные исследования – за счет средств федерального бюджета;
- поисково-оценочные геологоразведочные работы – за счет средств федерального бюджета Российской Федерации и недропользователей;
- разведка выявленных месторождений полезных ископаемых – за счет средств недропользователей;
- доразведка месторождений полезных ископаемых – за счет средств недропользователей;
- эксплуатационная разведка месторождений полезных ископаемых – за счет средств недропользователей.

Как видно, финансирование геологоразведочных работ осуществляется из различных источников – как государственных, так и частных, поэтому их объединение для обеспечения активизации инновационного процесса последовательно на всех этапах ГРП является достаточно сложной проблемой. Одним из путей решения данного вопроса может быть включение в Положение "О порядке лицензирования пользования недрами" специального пункта, предусматривающего выделение определенных объемов финансирования на эти цели при оформлении

лицензий Федеральным агентством по недропользованию Минприроды России. Это решение должно быть утверждено Правительством Российской Федерации. Тогда оно будет иметь обязательный характер. Могут быть и другие объяснения этого вопроса, например – через ассоциацию геологических организаций – через Ассоциацию венчурных фондов. Следует отметить, что задача развития венчурного инвестирования инноваций предусмотрена в постановлении Правительства Российской Федерации [9] в пункте ватционной системы". Таким образом, *пути объединения капитала для целей реализации инновационного процесса при геологическом изучении недр и механизм его осуществления подлежат изучению и разработке.*

г) Доброжелательное восприятие новых идей, знаний, технологий и других инноваций к их внедрению в производство на всех уровнях управления.

Эта особенность инновационной экономики не может быть обеспечена без личного восприятия специалистами различного ранга необходимости и полезности перехода на инновационную экономику. Безусловно, оно будет зависеть от решений, принимаемых федеральными органами исполнительной власти, а также от убежденности работников отрасли в их эффективности.

Следует подчеркнуть тот факт, что в экономической системе, ранее действовавшей в сфере недропользования, характерной чертой специалистов всех рангов было доброжелательное отношение ко всему новому, обеспечивающему эффективное решение геологических задач по изучению недр. Поэтому выполнение этой задачи особых затруднений вызвать не должно.

д) Наличие налаженной системы подготовки и переподготовки кадров для инновационной деятельности в сфере недропользования.

Система подготовки кадров для геологического изучения и использования недр в Российской Федерации имеет многолетнюю историю и действует с достаточной большой эффективностью, но специальной подготовки по инновационной деятельности ее выпускники не имеют. Это требует пересмотра программ обучения студентов, а также ранее подготовленных специалистов путем организации курсов переподготовки кадров при ВУЗах страны.

е) Развитие процесса ускоренной автоматизации и компьютеризации сфер производства и управления.

Этот вопрос следует рассматривать с учетом состояния автоматизации геологоразведочного производства и компьютеризации систем. Если компьютеризация систем – информационных и управленческих в отрасли продвинута весьма значительно, то автоматизация производства происходит достаточно медленно по причине малочисленности опытно-конструкторских организаций, осуществляющих разработку новой геологоразведочной техники – буровой, геофизической, лабораторно-аналитической и иной.

Учитывая то, что внедрение новых технологий, методов и способов геологического изучения недр неразрывно связано с новой техникой, то для решения вопросов автоматизации и компьютеризации производства в этой сфере необходимо разработать и утвердить специальную программу развития технических средств, соответствующих инновационной деятельности. Для реализации данной программы необходимо выделить определенный объем финансирования, желательно из федерального бюджета, в

противном случае переход сферы недропользования в части геологического изучения недр на инновационную экономику будет весьма проблематичным.

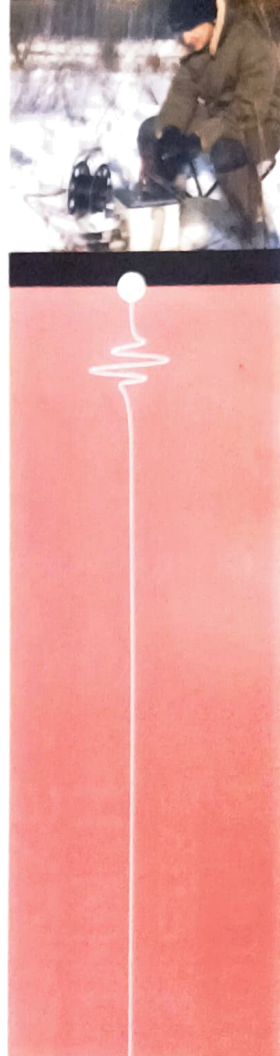
Подводя итоги рассмотрения предпосылок формирования инновационной экономики в сфере недропользования Российской Федерации можно сделать следующие выводы:

- Принятая государственная политика в России обеспечивает активизацию инновационной деятельности, что в перспективе позволит осуществить переход ее ведущих отраслей на инновационную экономику;
- Сфера недропользования Российской Федерации по ряду признаков имеет достаточно высокую готовность для перехода на инновационную экономику;
- Оценка готовности сферы недропользования в части использования результатов геологического изучения недр промышленностью подлежит дополнительному рассмотрению с учетом ее специфики и нормативных положений законодательства Российской Федерации;
- Для перехода на инновационную экономику сферы недропользования необходимо разработать специальную программу, предусматривающую обеспечение постепенного перехода страны на этот вид экономики, что уже реализуется во всех высокоразвитых странах мира.

Литература

1. Устав Ассоциации геологических организаций. – М.: фонды ассоциации, 2007.
2. Бендиков М.А., Фролов И.Э. Рынки высокотехнологичной продукции: тенденции и перспективы развития. // Маркетинг в России и за рубежом. 2001, № 2.

3. Зайченко В.Ю. Первооткрывательство месторождений полезных ископаемых и гражданское право в России. // Горный журнал. 2009. № 3.
4. Зайченко В.Ю. Интеллектуальная собственность и недропользование. – М.: "Геоинформмарк", 2004.
5. Исмаилов Т.А., Гамидов Г.С. Инновационная экономика – стратегическое направление развития России в XXI веке. // Инновации 2003. № 1.
6. Иванова Н.И. Инновационная экономика России в глобальном контексте. // Передовые технологии России, 2004.
7. Лукьянов Ф.И. Неевропейская Россия. // "Россия в глобальной политике", 2004.
8. Мартынюк Е.А. Прикладные проблемы формирования инновационной экономики России. // Межвузовский сборник научных трудов "Проблемы предпринимательства в экономике России", 2005, вып. 8.
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 24.06.1998 г. № 832 "О Концепции инновационной политики Российской Федерации на 1998 – 2000 годы".
10. Распоряжение Президента Российской Федерации от 30 марта 2002 г. № ПР-576 "Основы политики Российской Федерации в области науки и технологий на период до 2010 года и дальнейшую перспективу".
11. Фомичев Ю.А. Интеллектуальная собственность: правовая защита, управление, коммерциализация. // Человек и труд, 2004, № 3.
12. Федоров Е. Рынок интеллекта, как обеспечить спрос экономики на инновации. // Российская газета от 13 января 2010 г., № 3.



ГЕОТЕХ

Оборудование для электроразведки



ЛОГИС

"ОМЕГА-48" ЭЛЕКТРОРАЗВЕДЧНЫЙ АППАРАТУРНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС

выполняет наблюдения методами электрических зондирований (ВЭЗ) и вызванной поляризации (ВП) с применением технологии электротомографии, т.е. с размещением приемных и передающих электродов в косе



ИНГГ

"СКАЛА 48" МНОГОЭЛЕКТРОДНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДЧНАЯ СТАНЦИЯ

предназначена для работы методом сопротивлений: ВЭЗ, ЭП, 2D и 3D томографией. Генератор, измеритель и коммутатор в одном компактном корпусе.



"СКАЛА 4" ЧЕТЫРЁХЭЛЕКТРОДНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДЧНАЯ СТАНЦИЯ

предназначена для работы методом сопротивлений: ВЭЗ, ЭП. Генератор и измеритель в одном компактном корпусе.



Результаты многолетнего применения электротомографии на Александровском геофизическом полигоне в Калужской области

Бобачев А.А., Ерохин С.А., Геологический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Введение

С 1992 года на геофизическом полигоне кафедры геофизики геологического факультета МГУ в деревне Александровка Юновского района Калужской области проводятся студенческие геофизические практики. Кроме летней практики для студентов МГУ проводятся практики для студентов-геофизиков целого ряда других вузов (Российский Государственный Геологический Университет, Саратовский Государственный Университет, Дубницкий международный университет природы, общества и человека) [Бобачев и др. 2009]. Там же проходят различные семинары по электро-магнитным методам. За прошедшие годы накопился большой объем геофизических данных. Помимо образовательных задач, в рамках практики исследуются также вопросы опытно-методического характера. Для изучения геологического строения территории полигона применяется целый комплекс геофизических методов, подкрепленных на некоторых участках данными бурения.

Одним из основных методов при малоглубинных геофизических исследованиях является электроразведка методом сопротивлений. В ходе учебных практик использовались различные методики наблюдений этим методом: электроразведка, ВЗЗ, ДЗЗ, сплошные электротрассирование. С 2002 года начались работы по методике электротомографии [Бобачев и др., 2006]. За это время было отработано более 10 км профилей с шагом 5-10 метров (рис. 1). При этом использовались различные измерительные комплексы и электроразведочные установки. Полученные данные и опыт проведения исследований позволяют сравнивать различные методики, выявляя их особенности, преимущества и недостатки. Кроме того, сейчас уже можно оценить возможности и ограничения электротомографического подхода при решении геологических задач в наших условиях. Это особенно актуально, так как сейчас метод электротомографии активно внедряется в практику отечественной геофизики.

Краткое описание геологического строения геофизического полигона

Верхняя часть разреза участка сложена ледниковыми отложениями (моренные супилки мощностью до 20 м с удельным сопротивлением около 50 Ом·м, перекрытые покровными флювиогляциальными песками (мощности до 4 м с сопротивлением 200-4000 Ом·м в зависимости от влажности)). Кроме того, в долинах рек Воря и Угра распространены аллювиальные отложения. Подморенные отложения — это терригенно-карбонатная толща нижнего карбона с интегральным удельным сопротивлением 150 Ом·м. Верхняя часть этой толщи сложена плотными известняками веневского горизонта визейского яруса.

Создается впечатление относительно простой геологической ситуации. Однако проведенные исследования показали, что изучаемые гео-



Рис. 1 Карта изученности Александровского геофизического полигона методом электротомографии. Координатная сетка 1х1 км.

литические структуры оказываются достаточно сложными для геофизической и геологической интерпретации геофизических данных. Толща моренных супилок оказалась неоднородной. В ней встречаются прослойки песков и супесей. Возможно, эти отложения принадлежат к двум фазам московского оледенения. Внизу морены иногда встречаются глины, которые могут быть как среднего возраста (по мнению проф. Алексеева А.С.), так и относиться к нижнему карбону. В целом кровля толщ нижнекарбоната оказалась достаточно неровной. Кроме того, рядом с современными руслами рек могут находиться палеорусла. Нельзя исключать и наличие тектонических нарушений, к которым могут быть приурочены долины рек. Таким образом, изучаемый разрез существенно отличается от однородного.

На территории полигона пробурено более десятка неглубоких скважин (около 25 метров) и одна скважина глубиной 300 м. Данные бурения подтвердили наши предположения о сильной латеральной изменчивости верхней части изучаемого разреза.

Электротомография

В первые годы проведения геофизических наблюдений на Александровском полигоне для изучения верхней части разреза применялись классические вертикальные электрические зондирования с шагом 100-200 метров с последующей одномерной интерпретацией. Опыт показал, что при работах обилии современных речных долин этот подход мало информативен. Даже ступенное шага наблюдений до 20 метров не дало результата из-за ограничений одномерной интерпретации для разрезов с быстрыми латеральными изменениями [Шевнин, Бобачев, 2009].

Переход от одномерной интерпретации к двумерной позволяет работать с моделями

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ
ИННОВАЦИИ В ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКЕ

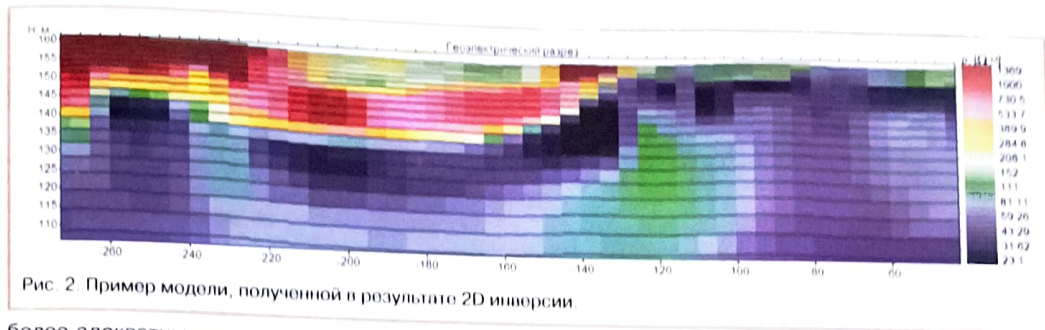


Рис. 2. Пример модели, полученной в результате 2D инверсии.

более адекватными геологической среде. Практическая двумерная интерпретация основана на двумерной инверсии данных (Loke and Barker, 1996). Она использует всю совокупность данных по профилю (матрицу данных) для получения единой геоэлектрической модели. Результат 2D инверсии - это модель геоэлектрического разреза (ГЭР), состоящая обычно из прямоугольных блоков небольшого размера (рис.2), размеры которых определяются методикой наблюдений: шагом по профилю и диапазоном разносов. Удельное сопротивление каждого блока определяется при решении обратной задачи. Как правило, подбирается гладкое распределение удельного сопротивления в разрезе. Поэтому результирующую модель показывают как непрерывное распределение сопротивления в вертикальном разрезе, приписывая сопротивление каждого блока его центру. В этом случае нет явного выделения границ геологических объектов, которые можно лишь предполагать по положению зон максимальных градиентов.

Для устойчивой двумерной инверсии нужна высокая плотность наблюдений, что в свою очередь требует использования высокопроизводительной аппаратуры и специализированных

методик наблюдений. Такой комплекс, включающий в себя как методику полевых наблюдений, так и технологию обработки и интерпретации полевых данных, и позволяющий проводить двумерную интерпретацию получил название - электротомография [Бобачев и др., 2006]. На Западе он основывался на методике многоэлектродных зондирований [Griffiths, Barker, 1993]. В России к этой технологии были наиболее близки сплошные электрические зондирования [Бобачев и др., 1995].

В 2D моделях удельное сопротивление может меняться по горизонтали и вертикали разреза произвольно, что более адекватно отражает строение геологической среды. Также при расчете прямой и обратной задачи учитывается влияние рельефа профиля на измеренное кажущееся сопротивление. 2D инверсия в неоднородных средах дает более внятные результаты, которые нередко оказываются ближе к реальным геологическим ситуациям. Преимущества 2D инверсии перед традиционной одномерной интерпретацией привели к тому, что сегодня во всем мире большинство данных электрических зондирований получают и обрабатывают по электротомографической 2D технологии.

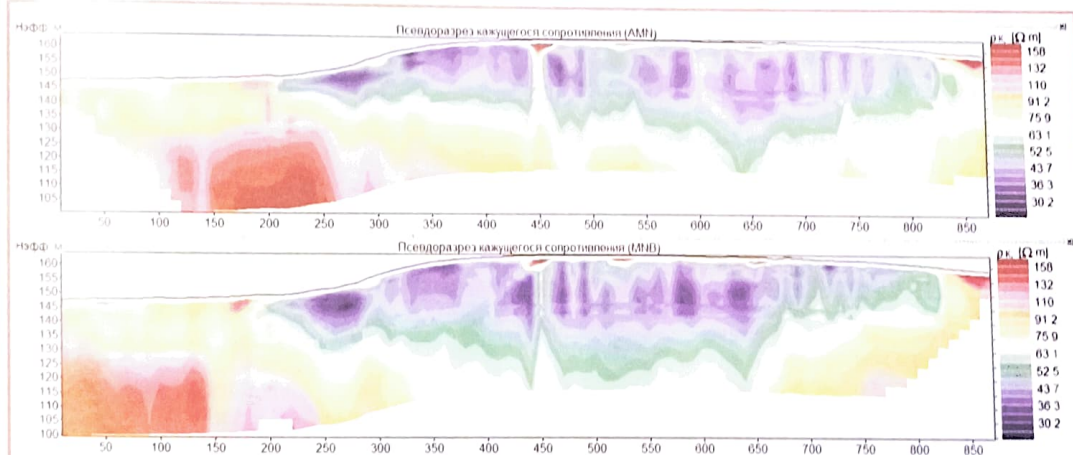


Рис. 3. Псевдоразрезы кажущегося сопротивления для прямой (вверху) и встречной (внизу) установок.

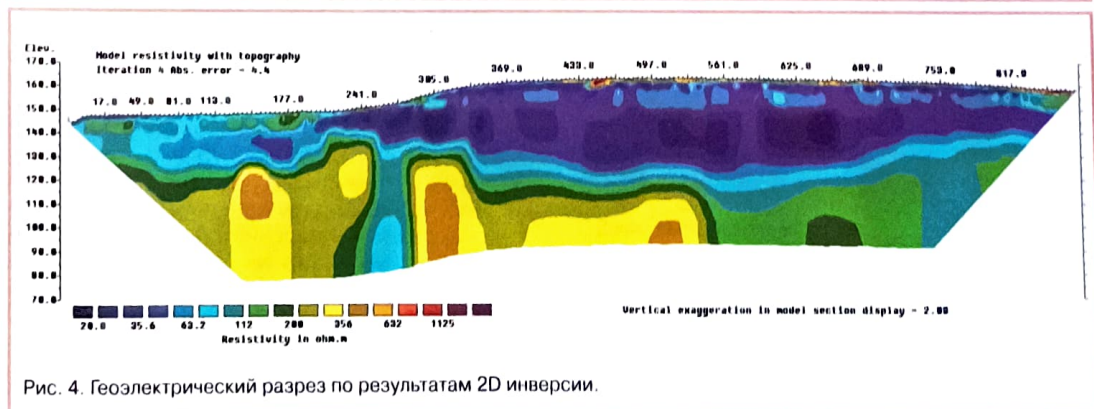


Рис. 4. Геоэлектрический разрез по результатам 2D инверсии.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Для достижения высокой скорости и плотности полевых измерений оптимальным является использование многоэлектродной аппаратуры. Однако раньше такая аппаратура нам была недоступна, поэтому работы проводились с обычной аппаратурой при адаптации сетки разносов

Электротомография с обычной аппаратурой
Рассмотрим результаты работ 2006 года. Для измерений мы использовали комбинированную трех электродную установку Шлюмберже с адаптированной сеткой разносов (табл. 1).

Таблица 1. Сетка разносов, адаптированная к электротомографии с шагом 2 м.

AB/2	3	4	5	7	9	11	15	19	25	35	45
MN	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
AB/2	45	55	55	65	75	85	95	105	115	125	
MN	14	2	14	14	14	14	14	14	14	14	

В такой сетке разносов выполняется условие $AM=n \cdot MN$, где n -целое число. Исключением является второй разнос ($AB/2=4$), который добавлен, чтобы уменьшить разрыв между первым и третьим разносами (3 и 5 м), характерный для многоэлектродных зондирований.

За один полевой день удавалось измерить 200-300 метров профиля с шагом между точками зондирования 10 метров. Это примерно 1000 измерений в день.

В результате работ по профилю, пересекающему террасу реки Воря (ПК0-250), получены псевдоразрезы кажущегося сопротивления представленные на рис. 3.

Псевдоразрезы построены в линейном вертикальном масштабе с учетом рельефа. Точка записи – центр приемного диполя. Отметим существенное различие между прямой и встречной установками в зонах резкого изменения кажущегося сопротивления (ПК150-300 и 750-850), что указывает на двухмерность разреза на этих пикетах. В результате 2D инверсии по программе Res2dinv (Geotomo software, Малайзия) получился разрез, представленный на рис. 4.

В целом, геоэлектрический разрез, полученный по автоматической инверсии, хорошо согласуется с априорными данными. Высокоомное основание соответствует терригенно-карбонатной толще нижнего карбона. Выше лежащий проводящий слой – это моренные суглинки с прослеживающимся прослоем песчанистых пород (ПК 300-820). На террасе выделяется слой аллювиальных песков (ПК 10-180). Более детальный анализ результатов вызывает вопросы. В первую очередь непонятно насколько отвечает действительности кровля карбона. Ее понижение в центре профиля может быть связано с завышенной мощностью суглинков из-за неправильно определенного их сопротивления. Наблюдаемая корреляция между рельефом и глубиной карбона выглядит странно. На ПК 260 в результате инверсии получилась вертикальная проводящая зона, существование которой маловероятно.

Электротомография с коммутацией приемных электродов (COMx64)

Электротомография с обычной аппаратурой оказалась достаточно трудоемкой. Необходимая высокая скорость измерений негативно сказывается на качестве результатов. Поэтому на кафедре геофизики был разработан коммутатор приемных



Рис. 5. Полевые работы с коммутатором COMx64 в комплекте с измерителем МЭРИ-24.

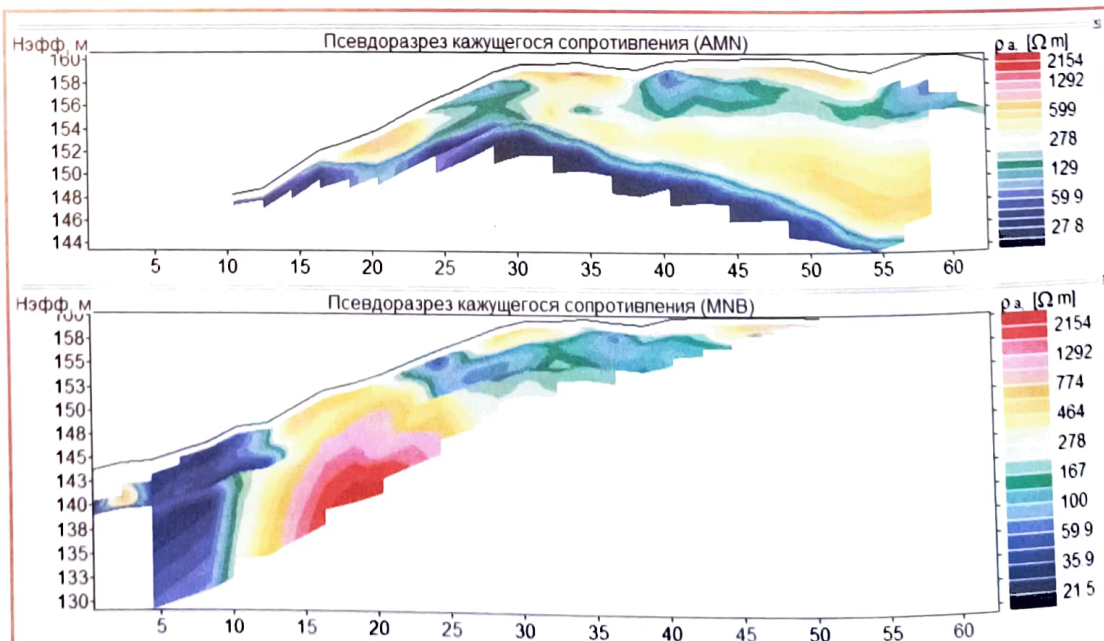


Рис. 6. Псевдоразрезы кажущегося сопротивления для прямой (вверху) и встречной (внизу) установок.

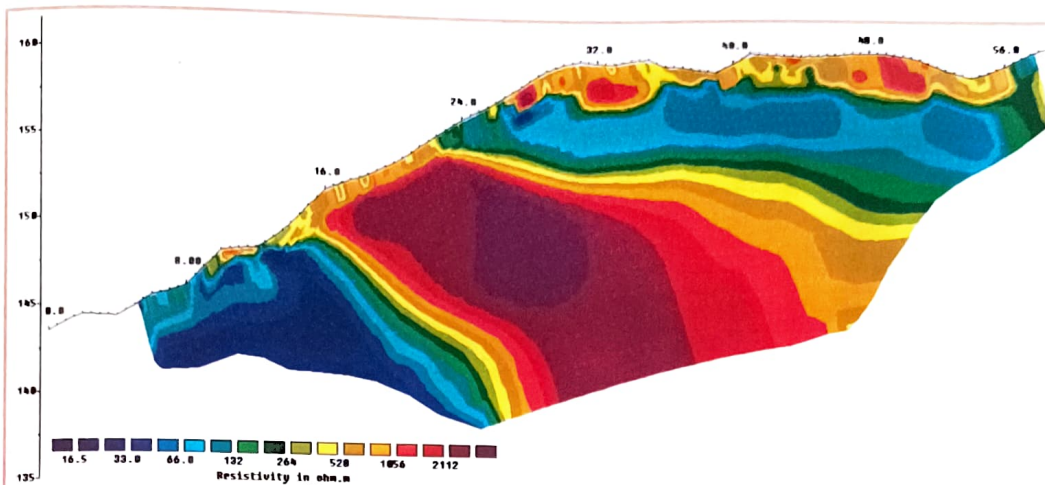


Рис. 7. Геоэлектрический разрез по результатам 2D инверсии (вертикальный масштаб равен горизонтальному).



Рис. 8. Полевые работы на зимней практике со станцией Syscal-Pro.

линий COMx64, работающий в комплексе с обычной аппаратурой (рис. 5) [Бобачев, Модин, 2008].

Идея предлагаемого подхода в том, что в процессе съемки коммутируются только приемные электроды, соединенные косою. Выбор рабочей пары приемных электродов обеспечивается программой, записанной в памяти интеллектуального коммутатора. Питательный электрод переносится вручную. Для возбуждения и измерения электрического поля используется обычная электроразведочная аппаратура, применяемая в методе ВЭЗ (ЭРА-МАКС, ЭРП-1, МЭРИ-АСТРА). При этом предусматривается использование трех электродной установки Шлюбмерже. Тогда можно так организовать коммутацию, что при одном положении питающего электрода проводятся измерения для всех требуемых приемных диполей.

Использование коммутатора позволило повысить качество и эффективность полевых измерений. Неподвижность измерителя во

время измерений и разделение приемных и генераторных линий дало возможность проводить полевые работы в любую погоду. За один полевой день удавалось измерить 350-500 метров профиля с шагом между точками зондирования 3 метра и максимальным разносом АО=120 м. Получается 2000 - 3000 измерений в день.

С этим комплексом удалось провести исследования на крутом берегу р. Воря (крутизна склона превышает 30 градусов). Рассмотрим результаты по одному из коротких профилей детальных работ с шагом 1 м. На рис.6 представлены полевые разрезы кажущегося сопротивления.

Псевдоразрезы построены в линейном вертикальном масштабе с учетом рельефа. Резкий разрыв на псевдоразрезах кажущегося сопротивления на эффективной глубине примерно 6 м связан с изменением длины приемной линии. На первых разносах кажущееся сопротивление для обеих установок практически совпадает. На больших разносах высокоомная аномалия для встречной установки (MNB) соответствует резкому падению кажущегося сопротивления для прямой установки (AMN). В таких условиях проведение одномерной интерпретации практически невозможно.

На рисунке 7 показан результат автоматической 2D инверсии по этому профилю. Полученный мощный (около 5 м) высокоомный прослой соответствует сухим пескам, залегающим на границе между двумя слоями моренных суглинков. Ошибкой 2D инверсии является наклонное залегание этого слоя. Более вероятным представляется, что он залегает почти горизонтально.

Электротомография со станцией Syscal-Pro

Благодаря поддержке фирмы «Северо-Запад», удалось показать студентам и получить значительный объем данных с помощью современной 10-канальной многоэлектродной электроразведочной станции Syscal-Pro (Iris Instruments, Франция) (рис.8). 10-канальный измеритель позволяет добиться скорости до 200 измерений в минуту [Бобачев и др., 2006]. Таким образом, время полевых наблюдений с шагом 5 метров для одной расстановки составляет всего 30 минут. За один день можно отработать более 1-2 км, выполнив более 20000 измерений. Такая высокая скорость позволила не только резко увеличить объемы наблюдений, но и проводить сравнение различных методик и электроразведочных установок. Многоэлектродная аппаратура позволила также провести наблюдения по профилям, пересекающим русло р. Вори. В лет-

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

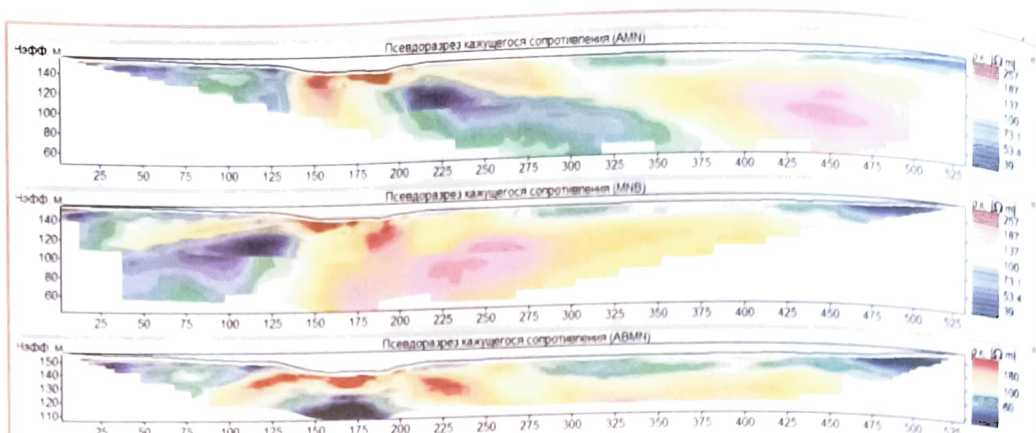


Рис. 9. Псевдоразрезы кажущегося сопротивления для прямой (вверху), встречной (по центру) и дипольной осевой установок.

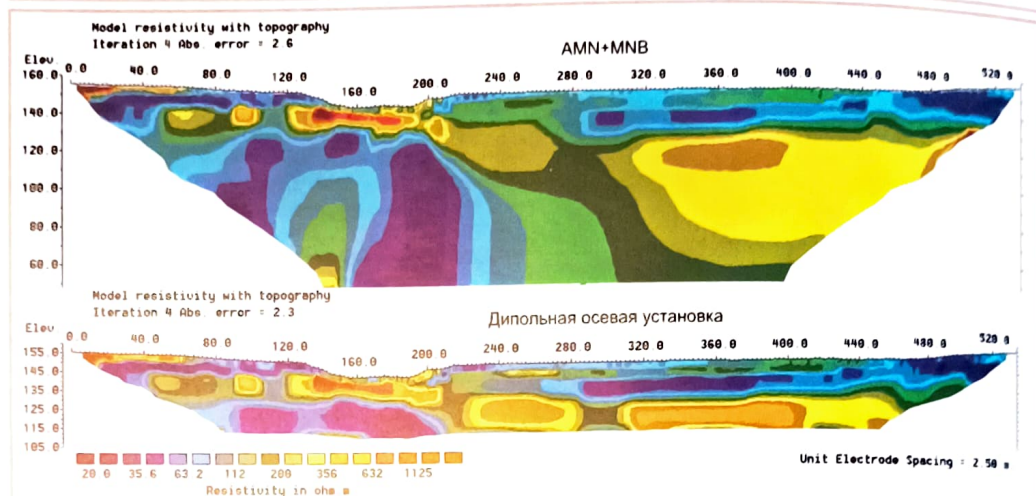


Рис. 10. Геоэлектрические разрезы по результатам 2D инверсии для комбинированной трех электродной (вверху) и дипольной (внизу) установок по одному профилю.

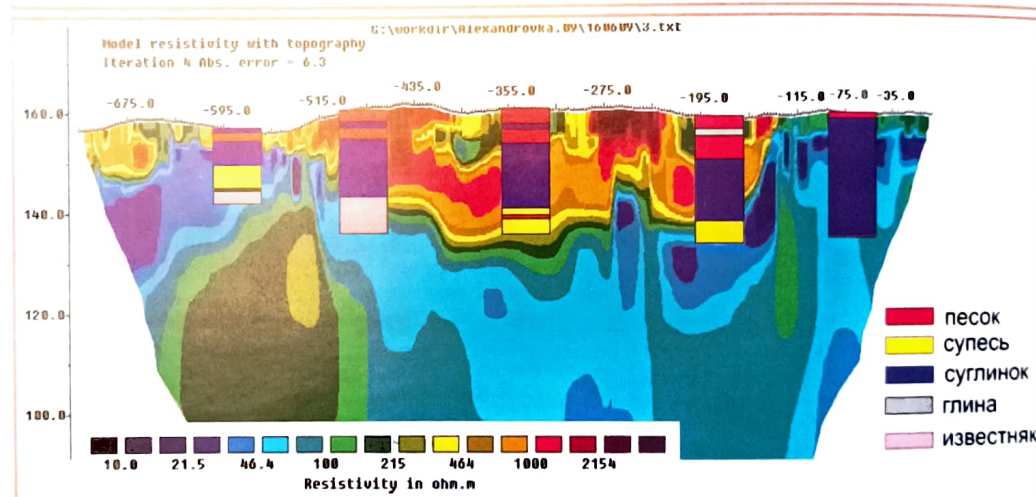


Рис. 11. Верхняя часть геоэлектрического разреза по результатам 2D инверсии с наложением результатов бурения (вертикальный масштаб в 8 раз крупнее горизонтального).

них условиях коса выкладывалась на дно реки (глубина реки на исследуемом участке до 1.5 м). Зимой во льду бурились лунки, через которые проводилось заземление электродов.

Рассмотрим результаты по участку профиля, пересекающего русло реки. Измерения проводились с тремя электроразведочными установками - прямой (AMN) и встречной (MNB) трех электродная установка Шлюмберже (максимальный разнос АО=250 м), плюс дипольная осевая установка (максимальный разнос ОО'=140 м) (рис. 9).

На псевдоразрезах кажущегося сопротивления видны резкие латеральные изменения кажущегося сопротивления, особенно вблизи русла реки (ПК 155-180). Одномерная интерпретация для таких данных практически не работает. Отметим также, что псевдоразрез для дипольной установки наиболее контрастный, что указывает на высокое разрешение этой установки для верхней части разреза.

На рисунке 10 показаны результаты автоматической 2D инверсии по этому профилю для двух

электроразведочных установок. Результаты, полученные на террасе р. Вори, похожи на геоэлектрический разрез по соседнему профилю (рис. 4). Блочный характер высокоомного слоя, соответствующего карбонатным отложениям, объясняется сложным характером кровли этого слоя. Вблизи русла получились субвертикальные структуры, несвойственные отложениям карбона. По-видимому, такой результат связан с эффектом экранирования на горизонте плотных известняков (удельное сопротивление более 500 Ом·м). Падение глубинности исследований под этим аномальным слоем и привело к раздвинутой мощности нижележащих глинистых пород. Сравнение результатов по двум различным установкам показывает, что дипольная установка имеет более высокое разрешение и результаты с этой установкой более контрастные и четкие. Комбинирование этих двух установок позволяет повысить качество результатов. Резкая смена разреза на ПК 220 требует специального изучения.

Пример неблагоприятного геоэлектрического разреза

Летом 2009 г. по одному из профилей электротомографии были пробурены пять скважин глубиной до 25 метров. Только в двух из них была вскрыта кровля известняков.

На рис. 11 результаты бурения наложены на геоэлектрический разрез. Очевидно плохое совпадение результатов 2D инверсии и бурения. На трех центральных скважинах бурение вскрыло суглинки на глубине 7-20 метров. По результатам инверсии на этих глубинах получились высокоомные пески. Такая ситуация нуждается в изучении и объяснении. Все эти скважины на глубинах примерно 4-7 метров прошли прослой песков. 2D инверсия раздвинула мощность этого слоя высокого сопротивления. Это результат неоднозначности интерпретации электрических зондирований.

На рис. 12 показан пример двух эквивалентных моделей с различным распределением удельного сопротивления. Модель, показанная зеленым цветом, отвечает результатам бурения, а синим – близка к результатам электротомографии. Алгоритм 2D инверсии основан на поиске решения в рамках гладких, наименее контрастных моделей. Это приводит к завышению мощности для высококонтрастных слоев. Более того, наличие таких высококонтрастных слоев приводит к эффекту экранирования. Высокоомный слой на глубине 35 м никак не проявляется на кривой ВЭЗ, хотя максимальный разнос $AB=300$ м.

Таким образом, мы получили пример геоэлектрического разреза, неблагоприятного для изучения методом сопротивлений в целом, в том числе и при использовании электротомографии. Для получения более адекватных геологических результатов в таких условиях необходим переход от полностью автоматической инверсии к 2D интерпретации, учитывающий априорные данные.

Заключение

Метод электротомографии завоевал весь мир и в последние годы все шире распространяется в России. Некоторое отставание с внедрением этой методики томографии в России было вызвано высокой стоимостью специализированного западного оборудования и отсутствием опыта. В последнее время ситуация стала меняться в лучшую сторону. Технология позволяет получать хорошие результаты там, где классический метод ВЭЗ практически неприменим. Применение современных измерительных комплексов повышает скорость и качество полевых измерений. Использование автоматической 2D инверсии предельно упрощает процесс интерпретации.

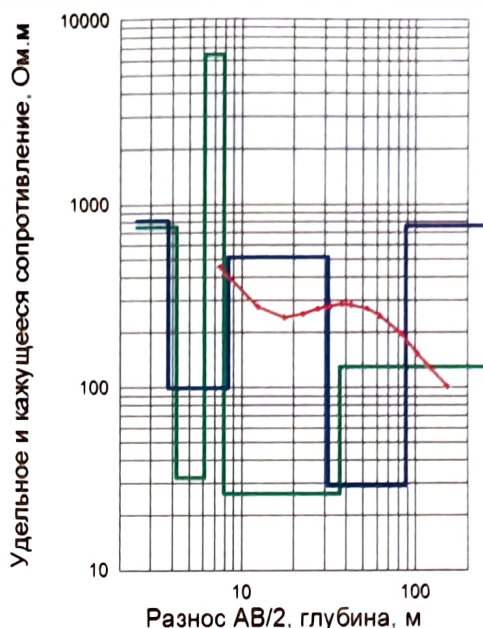


Рис. 12. Кривая ВЭЗ (красная) и две эквивалентные одномерные модели.

Однако, как и всякому другому геофизическому методу, электротомографии присущи свои недостатки и ограничения: падение разрешения с увеличением глубины исследования, существование эквивалентных моделей, проблема экранирования высококонтрастными горизонтами. Все это приводит к неоднозначности в интерпретации. Таким образом, результат 2D инверсии это всего лишь одно из возможных решений обратной задачи, далеко не всегда совпадающее с реальной геологией. В нашей работе мы на практических примерах постарались показать преимущества и недостатки электротомографии при изучении геологического строения Александровского геофизического полигона.

Литература

1. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. // Физика Земли. 1995 - N 12 - с. 79-90.
2. Бобачев А.А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, N02, 14-17.
3. Бобачев А.А., Модин И.Н. Электротомография со стандартными электроразведочными комплексами. Разведка и охрана недр. 2008, N1, 43-47.
4. Бобачев А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электроразведка на отделении геофизики геологического факультета МГУ. Журнал "Приборы и системы разведочной геофизики" 2009, N01, 26-28.
5. Шевнин В.А., Бобачев А.А. 2D инверсия данных, полученных по обычной 1D технологии ВЭЗ. 13 стр. Опубликовано в электронном журнале Георазрез в выпуске №3-2009 (5).
6. Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
7. Griffiths, D.H., Barker, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. J. Appl. Geophysics 29, 211-226.

Методика прогнозирования зон коллекторов и мониторинга геологического состояния среды с применением электромагнитных зондирований в условиях юга Сибирской платформы

Компаниец С.В., Буддо И.В., Гомульский В.В., ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие», г. Иркутск

Введение

Основной задачей электромагнитных исследований, проводимых в Восточной Сибири, является прогноз зон коллекторов в отложениях осадочного чехла. Данные работы могут быть связаны с поиском нефтегазонасыщенных целевых горизонтов, а также аномальных коллекторов с высоким или низким пластовым давлением, водонасыщенных коллекторов в верхней части разреза. Порода, способные концентрировать и отдавать флюиды, как правило, отличаются по своим электрическим свойствам относительно вмещающих их толщ, характеризуются более высокой проводимостью.

Применение современной телеметрической аппаратуры для глубинных и малоглубинных зондирований SGS-TEM и FastSnap дает возможность на новом качественном уровне решать как традиционные задачи поиска и разведки углеводородов, так и применять технологию для решения актуальных во всем мире задач геологического мониторинга в районах работы предприятий химической и нефтяной промышленности, инженерных задач. Технологии зондирования, имеющие глубину исследований от первых десятков до первых километров, позволяют фиксировать коллекторы на реальных глубинах залегания в разрезе.

Особенности применения метода ЗСБ на юге Сибирской платформы

В геологическом строении осадочного чехла Сибирской платформы принимают участие породы венд-кембрийского возраста карбонатно-галогенного и терригенного состава, для которых характерно высокое удельное электрическое сопротивление. Средние значения продольного сопротивления осадочной толщи составляет 50–100 Ом·м. Практически во всех стратиграфических подразделениях присутствуют горизонты-коллекторы, насыщенные рассолами (минерализация вод в которых превышает 300 – 400 г/л) или углеводородами [1]. В разрезе может насчитываться до 10 – 15 горизонтов, проявляющихся в той или иной степени на различных территориях. Порода таких горизонтов характеризуются значительно более низкими значениями сопротивления (в 5 – 20 раз ниже) относительно вмещающих отложений. Резкая контрастность электрических свойств является главным признаком выявления зон развития коллекторов. Чаще всего, объектом поиска для ЗСБ являются коллекторы нижней части разреза, приуроченные к терригенным отложениям, на глубине более 2000 м.

На основании анализа многочисленных (более 15000) зондирований и данных бурения определены интервалы значений проводимости/сопротивления для пород коллекторов и неколлекторов, а так же региональная зависимость распределения таких значений на Сибирской платформе.

В геоэлектрических условиях, когда горизонты-коллекторы характеризуются пониженным сопротивлением относительно вмещающих высокоомных пород и суммарная проводимость осадочного чехла не превышает 40 – 60 Ом, метод ЗСБ имеет высокую чувствительность к

наличию в разрезе горизонтов-коллекторов. С высокой степенью надежности в разрезе выделяются интервалы, соответствующие продуктивным или аномальным коллекторам (поглощающие или рапопроявляющие).

Следует отметить, что Восточно-Сибирский регион отличается сложными тектоническими условиями, присутствием трапповых интрузий и многолетнемерзлых пород, сложным рельефом и климатом. В таких условиях значительно возрастают требования к технологиям изучения среды.

Применение ЗСБ на основных этапах геологоразведочных работ

В настоящее время ЗСБ с успехом решает широкий круг геологических задач – как при малоглубинных, так и при глубинных исследованиях. Полевые работы ЗСБ производятся с многоканальными телеметрическими измерительными системами. При нефтегазоперспективных работах сигналы регистрируются во временном диапазоне от 100 микросекунд до 1 – 2 секунд с арифметическим шагом дискретизации 30, 250 микросекунд. При малоглубинных съемках измерительная аппаратура имеет шаг дискретизации от 25 наносекунд.

Применение метода ЗСБ эффективно при выполнении геологоразведочных работ на основных этапах поиска, разведки и эксплуатации нефтегазовых месторождений [2]:

1. На региональном этапе электромагнитные зондирования проводятся по профилям большой протяженности с целью выявления основных закономерностей распределения геоэлектрических параметров. По результатам ЗСБ оценивается структура территорий, выделяются нефтегазоперспективные районы. На основании получаемой информации могут быть оптимизированы дальнейшие геолого-геофизические исследования в наиболее перспективных областях.
2. На поисковом этапе актуально исследование лицензионных участков электроразведкой, в некоторых случаях в комплексе с геохимическими методами, что позволяет более детально изучать свойства всех структурных этажей, оценить особенности тектонического строения и определить перспективность участков на обнаружение коллекторов. На основе прогноза ЗСБ предлагаются рекомендации по выбору мест заложения поисковых скважин.
3. При подготовке к бурению – актуальны опережающие детальные электроразведочные работы на проектных площадках скважин с целью оценки горно-геологических условий бурения. Технология зондирования подразумевает высокую пространственную плотность наблюдений на участке размером в среднем 3–5 км. Результаты наблюдений ЗСБ позволяют изучать объемное распространение коллекторов, оценивать их насыщение, выявлять в разрезе рапопроявляющие и поглощающие интервалы, способные вызвать осложнения при бурении. Значительное увеличение стоимости буровых работ, риск аварийности скважины – делают прогноз

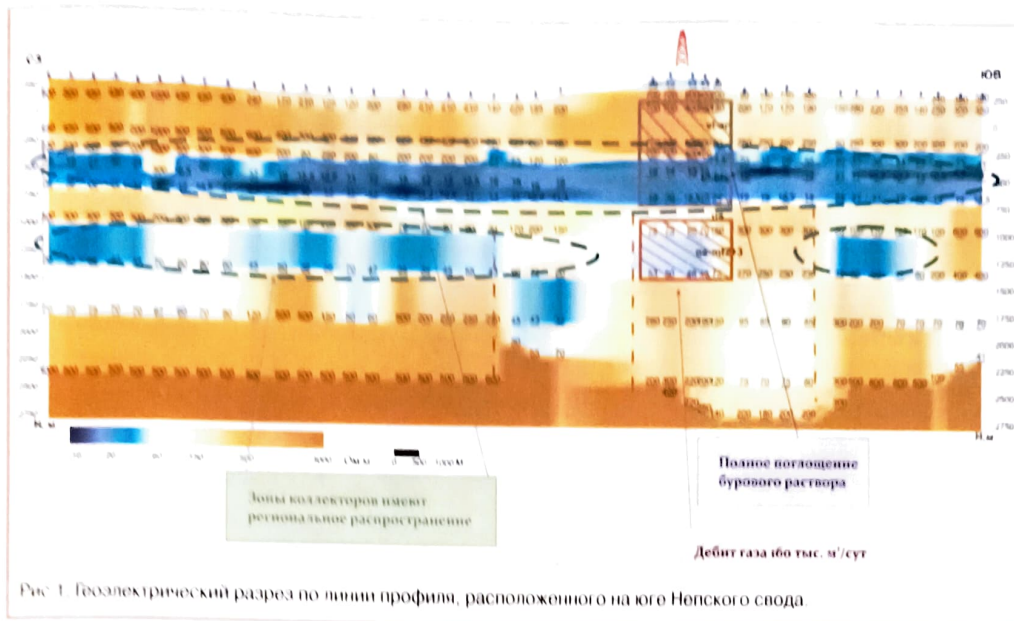


Рис. 1. Геоэлектрический разрез по линии профиля, расположенного на юге Непского свода.

горно-геологических условий методом ЗСБ очень актуальным в процессе освоения месторождений на юге Сибирской платформы. Петрофизической основой успешного прогноза является контраст электрического сопротивления плотных вмещающих пород и горизонтов коллекторов.

4. В процессе эксплуатации месторождения контроль состояния резервуаров возможен при проведении 4-D электромагнитного мониторинга по сети с повышенной пространственной плотностью наблюдений. Измерения производятся по определённому временному регламенту и направлены на выявление тенденций изменения параметров горизонтов в процессе воздействия.
5. На этапе разработки месторождений актуальным является поиск подземных вод, решение инженерно-геологических и геоэкологических задач на трубопроводах и объектах инфраструктуры по технологии мало-глубинных исследований. Мобильная и высокопроизводительная методика работ позволяет в короткие сроки получать информацию о детальном строении верхних горизонтов геологической среды. Как правило, используются установки ЗСБ малого размера 25x25,

50x50, 100x100 м.

Примеры выделения зон коллекторов при поисках и разведке углеводородов.

Одним из показательных примеров являются результаты ЗСБ при изучении коллекторов на площади, расположенной в пределах Непско-Ботубинской антеклизы. Основной задачей работ было прогнозирование проявления коллекторов в галогенно-карбонатном и подсолёвом комплексах и оценка горно-геологических условий бурения.

В результате проведенных электроразведочных работ методом ЗСБ на месте заложения параметрической скважины определены геоэлектрические характеристики пород основных комплексов осадочного чехла до глубины свыше 2500 метров. На основании инверсии данных ЗСБ построены контрастные геоэлектрические разрезы, на которых области относительно пониженного сопротивления в интервалах глубин от 500 до 700 м, а также от 1000 до 1300 м связаны с зонами улучшенных коллекторских свойств (рис. 1).

Прогноз наличия коллекторов в подсолёвых отложениях, отмечающихся низким сопротивлением, подтвердился данными глубокого бурения. В частности, в венд-кембрийских отложениях вскрыт газонасыщенный хамакинский горизонт-коллектор, характеризующийся улучшенными фильтрационно-ёмкостными свойствами, в процессе бурения и испытания которого получены промышленные притоки газа. По результатам ЗСБ распространение данного горизонта отмечается в северо-западном направлении.

Также интересен интервал, приуроченный к нижней части карбонатных отложений бельской свиты. Низкие значения сопротивления горизонта связаны с рассольным насыщением пластов, имеющих площадное распространение и выклинивающихся по направлению вглубь платформы.

Интерпретация данных ЗСБ показала, что отложения литвинцевско-ангарского комплекса непосредственно в месте заложения скважины характеризуются

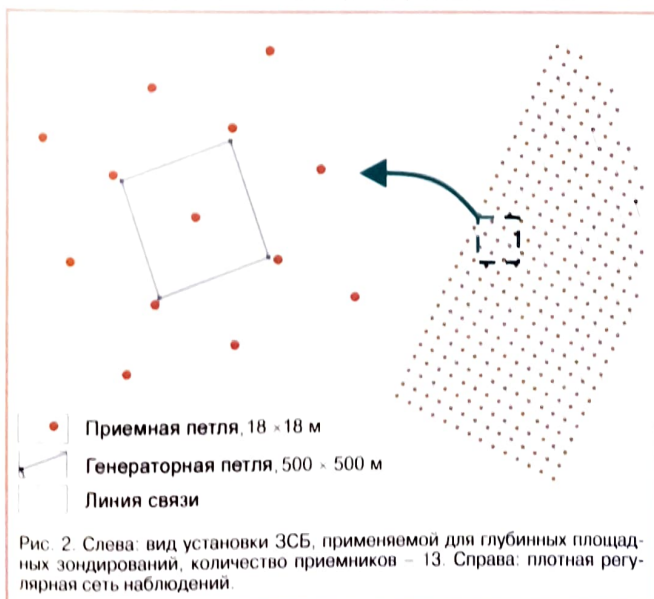


Рис. 2. Слева: вид установки ЗСБ, применяемой для глубоких площадных зондирований, количество приемников – 13. Справа: плотная регулярная сеть наблюдений.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

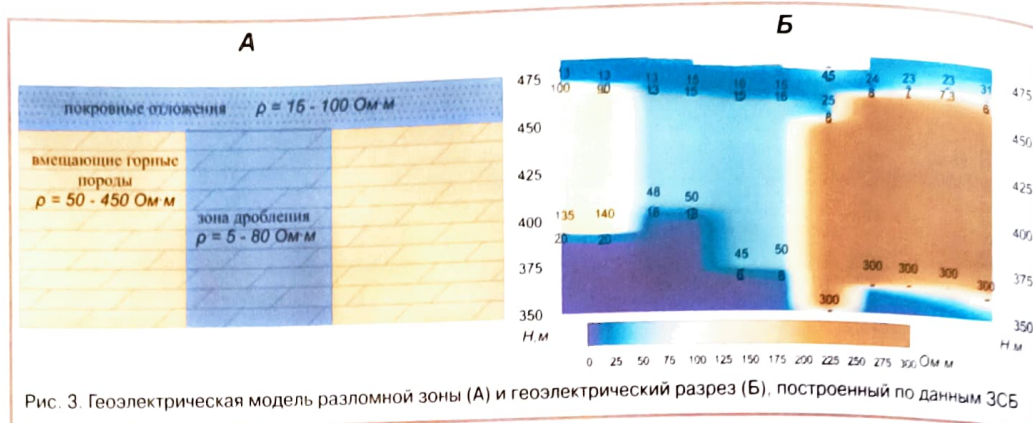


Рис. 3. Геоэлектрическая модель разломной зоны (А) и геоэлектрический разрез (Б), построенный по данным ЗСБ

высокими значениями сопротивления, что может свидетельствовать о наличии «сухих» карстовых пустот в породах комплекса. Прогноз был подтвержден результатами бурения. В этом интервале отмечалось полное поглощение бурового раствора.

Мониторинг резервуаров, инженерно-геологические и геоэкологические задачи.

В настоящее время использование высокотехнологичной методики зондирования делает возможным создание сложных систем наблюдения, когда необходимо с большей точностью изучать зоны распространения коллекторов в плане. Применение ЗСБ в площадном варианте (рис. 2) эффективно при детальном изучении геоэлектрического строения площади, определении контура залежи, положения газо-водяного контакта. Данная технология так же применяется для исследований, направленных на изучение процессов изменения геоэлектрических свойств коллектора и вмещающих его пород в пространстве и времени.

Мониторинговые наблюдения ЗСБ проводятся по сети с повышенной пространственной плотностью наблюдений. Пример решения новых геоэкологических задач – изучение осадочного чехла в районе промышленных комбинатов, где происходит интенсивное технологическое взаимодействие в системе окружающая среда – горизонты-коллекторы (источники сырья) – производство – резервуары для утилизации отходов. Мониторинговые исследования могут проводиться в следующей последовательности. На начальной стадии участок работ детально изучается методом ЗСБ с повышенной пространственной плотностью, картируются зоны распространения пластов-коллекторов, изучаются их геоэлектрические характеристики. После того как на целевой пласт-коллектор производится технологическое воздействие, закачивается или извлекается существенный объем флюида, проводятся последующие исследования ЗСБ по той же сети наблюдений. Получаемые по результатам ЗСБ карты и разрезы позволяют представить объемную геоэлектрическую модель, следить за эволюцией свойств коллекторов во времени и изменением их флюидонасыщения, судить о свойствах флюида. На основе изучения динамики распространения флюида возможен прогноз дальнейших процессов и последствий. Подобные работы проводились на одном

из газоконденсатных месторождений в Восточной Сибири, а также в районе крупного химического комбината.

Примером исследований ЗСБ на объектах инфраструктуры являются результаты работ по линии проектного трубопровода. В процессе строительства трубопровода важным моментом является учет нарушенных зон, которые, как правило, приурочены к активным разломам. Нередко нарушения являются каналами, по которым поступают глубинные воды повышенной минерализации и температуры. При этом существенно понижается электрическое сопротивление. Обобщенная геоэлектрическая модель подобной тектонической структуры представлена на рисунке 3 А.

Для решения данной задачи применены исследования методом малоглубинных ЗСБ, характеризующихся высокой разрешающей способностью при поисках обводненных зон в верхней части разреза (ВЧР). Полученные результаты наблюдений (геоэлектрический разрез представлен на рисунке 3 Б) показали высокую информативность метода в условиях весьма высокого уровня промышленных, импульсных помех, а также при наличии объектов-помех – трубопроводов, скважин, железной дороги. К достоинствам ЗСБ следует также отнести индукционный принцип изучения электромагнитного поля, при котором не требуется гальванических заземлений для зондирующей установки. Соот-

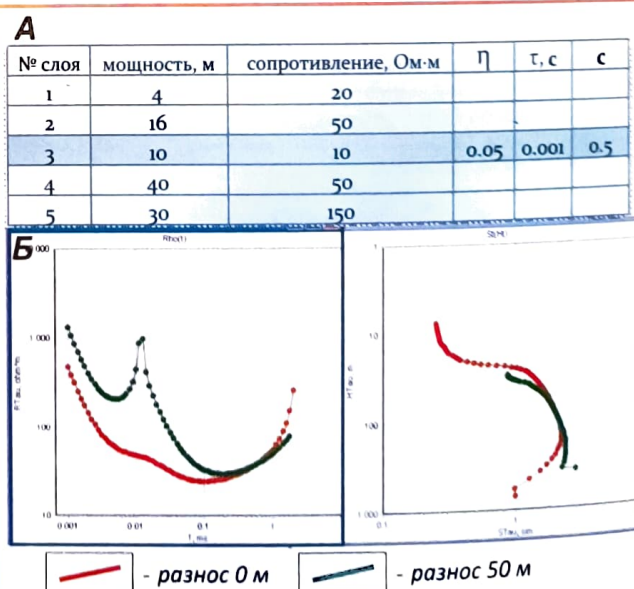


Рис. 4. Геоэлектрическая модель с присутствием поляризующегося пласта (А) и рассчитанные сигналы ЗСБ для соосной и разнесенной установок (кривые сопротивления и проводимости).

ветственно расширяются возможности исследований в зимний период.

Исследования ВЧР с применением малоуглубинной технологии возможны для оценки проникновения углеводородов в грунтовые воды. Ситуации с разливом нефтепродуктов в районе добычи и переработки зачастую приводят к серьезным последствиям, угрожающим жизнедеятельности района.

Основным признаком присутствия углеводородов является повышение удельного сопротивления и вызванной поляризуемости водонасыщенных горизонтов [3]. Результаты математического моделирования сигналов ЗСБ для модели, соответствующей разрезу с присутствием водонасыщенного пласта, загрязненного углеводородами, представлены на рисунке 4. О проявлении вызванной поляризуемости свидетельствует характерное расхождение кривых, полученных на соосной и разнесенной установках. Использование многоразностных установок ЗСБ позволяет фиксировать проявление данного эффекта. Учет параметров ВП и оценка электрического сопротивления пород позволяют определить пространственные границы, глубину залегания техногенной залежи УВ, выделить возможные промываемые (трещиноватые) зоны миграции.

Заключение

Электромагнитные зондирования методом ЗСБ занимают прочные позиции в комплексе геофизических методов, используемых в Восточной Сибири. Выделение зон коллекторов по результатам ЗСБ производится как в районах, где имеются скважины глубокого бурения, так и на неизученных бурением территориях. Проведение электроразведочных работ на лицензионных площадях в несколько этапов, зачастую с

опережением сейсморазведки, позволяет рационально планировать направления поисковых геологоразведочных работ. По результатам ЗСБ выделяются наиболее перспективные для изучения области, зоны с улучшенными коллекторскими свойствами по всем этажам разреза, даются рекомендации по выбору мест заложения скважин глубокого бурения.

Исследования, направленные на изучение геоэкологического состояния среды, занимают небольшой процент от всего объема работ, но при этом имеют весомое значение. В нашей стране недропользователи не всегда в достаточной мере уделяют внимание состоянию окружающей среды и последствиям воздействия на нее. Однако, подобного рода данные могут быть использованы для принятия управленческих решений, цель которых, в свою очередь, состоит в предотвращении или снижении до минимума ущерба от негативных проявлений природных и техногенных процессов.

Список литературы:

1. Г.Л. Берштейн, М.М. Мандельбаум и др. Геофизические методы обнаружения нефтегазовых залежей на Сибирской платформе. М., Недра, 1983.
2. Поспеев А.В., Агафонов Ю.А., Компаниец С.В. Состояние и пути развития электромагнитных технологий при нефтегазопроисловых исследованиях в Восточной Сибири // IV Международный научный конгресс ГЕО-Сибирь-2008: Сборник материалов, Новосибирск, СГГА, 2008, с. 3 – 6.
3. Hallbauer-Zadorozhnaya, V., Stettler, E.H., 2007. The detection of Hydrocarbon Contaminated of Groundwater by Using the IP Effect in TDEM Soundings. South African Journal of Geology: 529 – 540.

Письмо в редакцию

Рычков В.И., г. Тюмень

Уважаемый Павел Алексеевич!

Как мне представляется, сегодня назрела настоятельная необходимость поднять и обсудить на страницах журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» проблемы охраны труда в полевых геофизических партиях. Моя многолетняя практика работы на различных должностях в геофизических предприятиях нашей Страны, а в последнее время в качестве геофизика-супервайзера, позволяют мне судить о серьезности ситуации, сложившейся в полевых геофизических партиях в области охраны.

Суть проблемы заключается в следующем.

Условия работы в полевых партиях относятся к экстремальным. Здесь целый набор экстремальных факторов для человека: суровый климат, дискомфорт, оторванность от семьи, несоместимость людей, находящихся длительное время в ограниченном пространстве и т.д..

В условиях жесткой конкуренции сейсморазведки выдаются довольно-таки большие объемы работ, которые нужно выполнить в сжатые сроки, качественно, с достоверным сейсмическим материалом.

Возможно, высокий уровень безработицы в стране сказывается на стиле управления большинства работодателей: "Не нравятся – уходи!". При этом, грамотные психологические методы управления напрочь игнорируются.

Практика показывает, что эмоциональная психологическая атмосфера в полевой партии оказывает большое влияние на конечный резуль-

тат труда. De jure, одним из самых перспективных способов повышения производительности труда и его качества является нематериальное стимулирование персонала. Прописная истина – кадры решают всё! Не учитывать психологическое состояние людей, в наше время, по крайней мере, не выгодно.

Руководители подразделений должны быть обучены грамотной и эффективной мотивации труда, совершенствованию навыков психологической игры, должны избегать унижений и конфликтов.

Считаю, что в "Проект на производство сейсморазведочных работ" должен быть включен раздел "Психогигиена труда". Руководители полевых подразделений должны быть обеспечены методическими пособиями, иметь психологическую подготовку с учетом специфики сейсморазведочных работ.

В настоящее время с группой тюменских энтузиастов-психологов мы пытаемся на профессиональном уровне разработать комплекс мер, средств, учебную программу, методички и т.д., в области психогигиены, психопрофилактики труда в полевых геофизических партиях. Но, хотелось бы знать более широкое мнение "полевиков" –

А нужно ли все это ?

С уважением,
01.02.10г.

Валерий Иванович Рычков
г. Тюмень

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Современные телеметрические электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap. Эффективность и опыт использования

Шарлов М.В., Агафонов Ю.А., ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие», г. Иркутск, www.ierp.ru;
Степаненко С.М., ООО НПК «СибГеоСистемы», г. Новосибирск, www.sibgeosystems.ru

Введение

Электромагнитные методы исследований занимают все более заметное место в комплексе геофизических работ, направленных на изучение строения осадочного чехла при решении глубинных, структурных и нефтегазопромысловых задач, а также на решение инженерных, гидрогеологических, рудных и других задач при изучении верхней части разреза. Особого внимания заслуживает метод нестационарных электромагнитных зондирований в ближней зоне (ЗСБ), который доказал свою высокую эффективность при решении сложных геологических задач, когда применение исключительно методов сейсморазведки не гарантирует получение надежного результата.

Возросшая в последнее время популярность исследований методом ЗСБ (в России, и особенно в Восточной Сибири) напрямую связана с новыми возможностями, появившимися благодаря современной электроразведочной аппаратуре, значительно продвинувшейся вперед в техническом и математико-алгоритмическом аспектах.

В данной статье рассмотрены цифровые телеметрические электроразведочные системы SGS-TEM и FastSnap (г. Новосибирск, г. Иркутск, 1998-2009 гг.), являющиеся, по мнению авторов, примерами электроразведочных программно-аппаратных комплексов, в полной мере отвечающих современным техническим требованиям.

Факторы, определяющие требования к измерительной системе.

Рассматривая в качестве примера метод ЗСБ, можно выделить основные факторы, определяющие современные требования к аппаратно-программным измерительным средствам:

- Широкий диапазон измеряемого сигнала в приемном датчике: от единиц вольт в момент отключения тока в источнике поля, до долей микровольта на поздних стадиях становления поля;
- Возможность проведения работ в урбанизированных и промышленных районах, определяющаяся степенью помехозащищенности инструмента и наличием эффективных математических средств фильтрации гармонических и импульсных электромагнитных помех;
- Высокая производительность и технологичность выполнения работ. Таким образом, актуальным является применение многоканальной портативной аппаратуры, предоставляющей широкие возможности для организации профильных и площадных сетей наблюдений с повышенной пространственно-временной плотностью и сложными зондирующими установками;
- Надежность и простота эксплуатации аппаратуры при работе с большим количеством измерительных каналов в сложных природно-климатических условиях;
- Невысокие требования к качеству линий связи при сохранении приемлемой в многоканальном варианте скорости передачи данных.

С учетом данных факторов были разработаны и продолжают развитие электроразведочные системы SGS-TEM и FastSnap.

Область применения электроразведочных станций SGS-TEM и FastSnap

Электроразведочные станции SGS-TEM и FastSnap предназначены для регистрации сигналов электромагнитного поля при проведении работ методом ЗСБ, либо другими методами электромагнитных исследований.

Принцип устройства обеих станций схож и основан на применении многоканальной архитектуры, реализуемой независимыми телеметрическими измерителями, которые соединяются последовательно в цепочку посредством цифровых линий связи и централизованно управляются оператором с бортового компьютера. Данная архитектура позволяет осуществлять одновременную регистрацию сигналов от одного источника с нескольких пространственно-отдаленных приемников поля, что дает возможность организовывать сложные зондирующие системы с повышенной пространственно-временной плотностью. Расположение телеметрических измерителей непосредственно у датчиков поля (отсутствие аналоговых кондукторов для передачи сигнала) и арифметический шаг регистрации сигналов (широкие возможности математической фильтрации) позволяют значительно повысить помехозащищенность аппаратуры и обеспечивают высокое качество исходных данных, даже при работе в урбанизированных и промышленных районах с значительным уровнем импульсных и гармонических помех с промышленной частотой 50 Гц.



Рисунок 1. Полевой измеритель (вверху) и коммутатор тока с пультом управления (внизу) станции FastSnap.

Программное обеспечение станций унифицировано и поддерживает полный производственный цикл работ методом ЗСБ (топо- и картографическое обеспечение, регистрация, хранение и обработка сигналов с помощью современных технологий баз данных, качественная и количественная интерпретация, предварительная и финальная визуализация материала и др.). Оператор имеет возможность одновременно контролировать и тестировать рабочие параметры всех включенных измерителей, видеть регистрируемые и накопленные сигналы в реальном времени, выполнять экспрессную оценку качества записываемого материала по информативным трансформантам поля $dU(t) - \rho_z(t) \text{ и } S_z(H_z)$.

Станции SGS-TEM и FastSnap предназначены для различных областей применения и, соответственно, имеют существенно отличающиеся технические параметры измерителей и силовой части (коммутаторов тока).

Скоростная цифровая телеметрическая электроразведочная станция FastSnap (2005-2009 г.г.) предназначена для выполнения мало- и среднелинных исследований при решении рудных, инженерных, гидрогеологических, геоэкологических и других задач (рисунк 1). Глубинность исследований методом ЗСБ – от первых метров

(4-5) до 1000 метров и более и определяется размерами применяемой установки и геоэлектрическими параметрами верхней части разреза. Станция позволяет осуществлять регистрацию в одно- и двухканальном вариантах.

Многоканальная телеметрическая станция SGS-TEM (1998-2009 г.г.) предназначена, в основном, для решения структурных, нефтегазописковых работ, изучения осадочных бассейнов, геологического картирования, глубинного электромагнитного мониторинга и др., и может применяться для производства электроразведочных работ различными методами – ЗСБ, ВП, ЧЗ, методами постоянного тока (рисунк 2). Глубинность исследований, в зависимости от применяемого метода и геологического строения разреза, может достигать 4 – 6 км. Станция обладает широкими возможностями по организации сложных сетей наблюдения и позволяет осуществлять подключение и одновременную регистрацию с числом каналов до 63.

Технические параметры станции FastSnap

Станция состоит из одного или двух телеметрических мобильных измерителей (вес со встроенным аккумулятором около 2 кг) и коммутатора тока (вес 3 кг). Измерители подключаются к портативному компьютеру либо посредством проводных линий связи, либо через беспроводной интерфейс Wi-Fi. Схема подключения станции приведена на рисунке 3.

Основными отличительными особенностями станции FastSnap являются:

Измерители FastSnap

- Применение в измерительном тракте двух АЦП («скоростной» - 14 разрядов, «стандартный» - 24 разряда) обеспечивает начальное время измерения от 25 наносекунд и временной интервал записи сигналов до 3 секунд.
- Входное сопротивление – 10 кОм, при коммутации буферного каскада – не менее 1.5 МОм;
- Возможность регистрации сигналов от приемников поля любого типа – петля, линия, активный датчик и др.;
- Арифметический шаг дискретизации регистрируемого сигнала – 25, 100, 800 наносекунд, 6.4, 25.6, 204.8 микросекунд;
- Двухкаскадный предварительный усилитель с коэффициентом усиления 1 – 130;
- Высоточная система синхронизации на основе GPS с точностью не хуже ± 90 нс, проводная синхронизация при отсутствии сигнала GPS;
- Цифровые линии связи (витая пара) дают возможность работы на значительном удалении от бортового компьютера (до 500 метров) и позволяют организовывать сложные системы наблюдений (соосно-разнесенные, площадные, с перекрытием и др.);
- Беспроводной интерфейс Wi-Fi обеспечивает повышенную мобильность станции при работе в «пешеходном» варианте. Радиус действия 50 - 100 метров. Беспроводной интерфейс позволяет

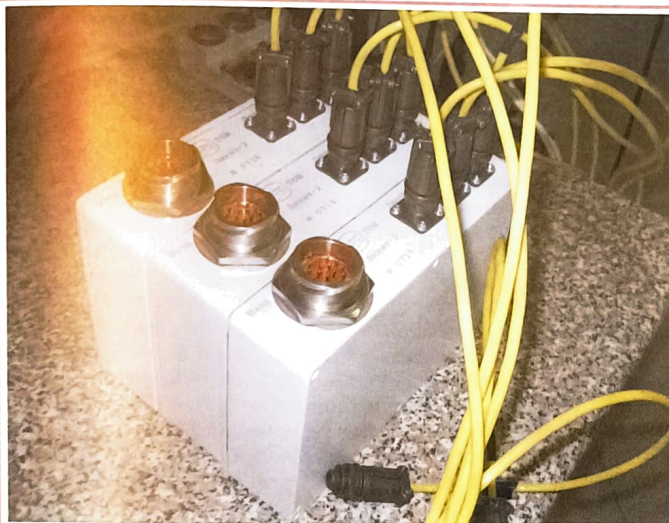


Рисунок 2. Внешний вид полевых измерителей многоканальной телеметрической станции SGS-TEM.

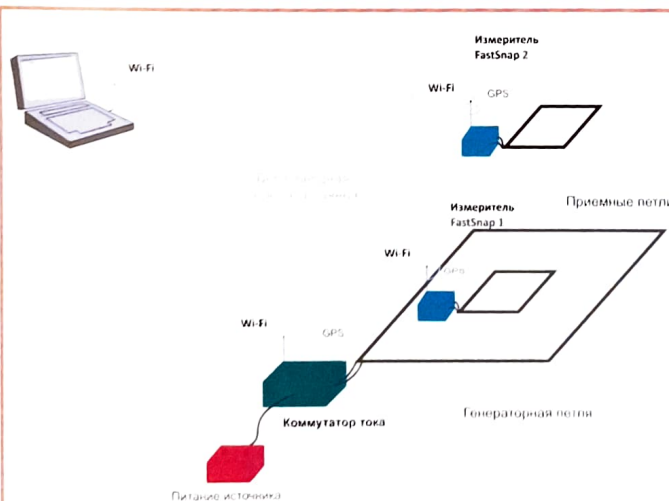


Рисунок 3. Схема программно-аппаратурного комплекса FastSnap в беспроводном варианте передачи данных через Wi-Fi.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



одновременно осуществлять регистрацию сигналов от двух измерителей и управлять коммутатором тока.

Коммутатор тока FastSnap

- Управление с бортового компьютера посредством проводной линии связи, беспроводного интерфейса Wi-Fi, либо портативного пульта управления;
- Входное напряжение для питания источника поля 12 – 400 В;
- Максимальный ток – 10 А;
- Задаваемый период следования (20 мс – 1 с) при скважности токовых импульсов (1:1, 3:1, без паузы);
- Применение в качестве источника поля петли или заземленной линии;
- Время отключения тока для петли 100 Ч 100 мс – 10 мкс, 25 Ч 25 – 2 мкс.

Технические параметры станции SGS-TEM

Основными компонентами станции являются бортовой модуль в составе: персональный компьютер и адаптер линий связи, телеметрические измерители (полевые модули), устройство синхронизации и управления коммутатором тока, коммутатор тока. Количество одновременно подключаемых каналов – до 63, в среднем 5 – 10.

Измерители SGS-TEM

- Два коммутируемых входа для подключения датчиков поля;
- Вход сигнала – симметричный (дифференциальный);
- Входное сопротивление – 700 кОм. При подключении буферного каскада – до 10 МОм;
- Аналого-цифровой преобразователь – 24 разряда (со знаком);
- Максимальный измеряемый входной сигнал – не менее 5,5 В;
- Шаг дискретизации сигнала арифметический – 31, 250, 500 мкс; 1, 4, 16 мс;
- Максимальное количество отсчетов на одну реализацию сигнала – 14000;
- Временной интервал регистрации – от 31 мкс до 3 минут;
- Предварительный усилитель с коэффициентами усиления 1 – 512;
- Динамический диапазон измеряемого сигнала – не менее 160 дБ;
- Подключение шунтирующего резистора для борьбы с паразитным колебательным процессом («звоном петли»);
- Цифровые линии связи длиной до 1 км.

Устройство синхронизации и измерения тока SGS-US и коммутатор тока CT-2

- Высокоточная система GPS синхронизации (точность не хуже 10 мкс);
- Внешняя проводная синхронизация по синхроимпульсу;
- Периоды следования токовых импульсов – 500 мс, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 секунды;
- Входное напряжение – 100 – 600 В;
- Максимальный коммутируемый ток – 200 А;
- Погрешность измерения тока – не хуже 1 %;

Программный комплекс станций SGS-TEM и FastSnap

Программное обеспечение станций SGS-TEM и FastSnap развивается с 1999 года (г. Иркутск, г. Новосибирск). На сегодняшний день программный комплекс позволяет с успехом решать круг задач, связанных с проектированием

сети наблюдений, регистрацией электромагнитных сигналов, обработкой, интерпретацией и визуализацией электромагнитных данных.

В основе комплекса лежит универсальная программная архитектура, которая позволяет сравнительно простым способом добавлять поддержку нового аппаратного обеспечения (в данный момент программный комплекс работает с аппаратурой SGS-TEM, FastSnap, SGS-E, SGD-EMT). Поддержка аппаратной части основана на применении трехзвенной архитектуры – драйвера команд, реализующего обмен с конкретным типом аппаратуры; интерфейсного объекта, организующего стандартный программный интерфейс ввода/вывода команд и данных; объектов хранения и представления данных, полученных от аппаратуры. Такой подход позволяет унифицированным способом (со стороны программы регистрации сигналов) работать с аппаратурой различных типов. При этом модули программы, отвечающие за расчеты, визуализацию и сохранение получаемых данных в БД, остаются одними и теми же.

Архитектура программного комплекса является открытой и расширяемой на любом этапе поступления/обработки данных. Это дает возможность организовать поддержку импорта и экспорта данных в форматах сторонних электро-разведочных станций – ТЭС-24, Цикл, Phoenix, ЛЭМИ.

Ядром комплекса является база данных, предназначенная для хранения и организации доступа к электроразведочной информации (рисунок 4). Универсальная структура БД обеспечивает хранение следующих основных видов информации – всех реализаций исходных сигналов, полученных от измерителей с арифметическим шагом; параметров работы измерителей и других аппаратных настроек (дискретизация, усиление, период импульсов тока, длительность регистрации и т.п.); пространственной информации о геометрии установок (типы источников/приемников и координаты петель/заземлений); финальной обработанной и проинтерпретированной информации (кривые зондирования в различных трансформациях, подобранные геоэлектрические модели среды и т.п.). Доступ к БД осуществляется через технологию ADO, используемая СУБД может быть любой, поддерживаемой в ОС Windows (MS SQL Server, MySQL, MS Access и др.).

Приведем краткое описание основных программ комплекса:

Программа «Project Manager 3» предназначена для организации доступа и управления



единой базой данных комплекса, а именно - для создания, редактирования и удаления геофизической и пространственной информации. Программа позволяет осуществлять импорт/экспорт из базы данных в сторонние форматы. Поддерживается работа с пространственной информацией с помощью встроенной геоинформационной системы «GeoMap» – отображение картографической информации, проектирование профильных и площадных систем наблюдений, прием и передача координатной информации от портативных GPS-приемников, преобразование координат между системами СК42 и WGS84. Запрограммированные точки наблюдений и геометрия установок сохраняется в БД.

Процесс регистрации электромагнитных сигналов происходит с помощью программы «TEM-Registration» для глубинных зондирования и «FastEM» для малоглубинных. Программы управляют параметрами измерителей (дискретизация, усиление и др.), регистрацией и визуализацией сигналов, сохранением всех реализаций сигналов в БД с арифметическим шагом. Производится экспрессная обработка сигналов, расчет трансформант поля непосредственно в момент регистрации. В программах отображается реальная сеть наблюдений (координаты приемных точек поступают от встроенных в измерители GPS-приемников). В программах имеется возможность создавать набор режимов регистрации («пресеты»), в которых последовательно перечисляются различные параметры работы измерителей и записи сигналов (указывается дискретизация, усиление, количество отсчетов и др.). Регистрация сигналов при наличии подобного «пресета» осуществляется автоматически, путем последовательного применения параметров из списка к измерителям и сохранения получаемых сигналов в БД. Таким образом, однократно созданный оператором «пресет», подходящий для определенного участка работ, исключает ошибочный «человеческий фактор» и гарантирует наличие количества накопленных сигнала, необходимого для получения качественного результата. Встроенные в программы модули для тестирования и контроля работоспособности аппаратуры позволяют выполнять ежеднев-

ные проверки параметров работы измерителей и датчиков и оперативно выявлять те из них, которые вышли из строя. Тестирование аппаратуры документируется в БД, после чего возможно автоматическое формирование отчета по параметрам работы аппаратуры.

Этап углубленной обработки электромагнитных сигналов осуществляется в программе «TEM-Processing». В программе реализован широкий набор алгоритмов минимизации помех и обработки данных (гармонические фильтры, робастные и статистические процедуры фильтрации, интерполяционные и сглаживающие алгоритмы). Сигналы для просмотра и обработки загружаются из БД в специализированный программный контейнер обработки. Далее, записи могут быть обработаны вручную, либо автоматически с помощью выбранного «графа обработки» (в графе выбирается способ фильтрации и суммирования записей, пересчет сигнала на заданную сетку, получение финальной кривой и др.). Оценить качество работы алгоритмов фильтрации и выбрать наилучший можно в специальном окне, где рассчитывается отношение сигнал/помеха для каждого способа фильтрации. Одним из достоинств программы является наличие мощного визуализатора, позволяющего просматривать и детально исследовать сигналы в различных масштабах и трансформациях, а также оценивать спектр сигналов. Кроме того, программа обладает открытым программным интерфейсом, позволяющим загружать внешние динамически подключаемые библиотеки (DLL), реализующие цифровые фильтры. Таким образом, возможности программы по обработке и фильтрации данных не ограничиваются запрограммированным набором функций. При необходимости, можно реализовать и подключить внешний цифровой фильтр, реализующий необходимую функциональность.

Этапы качественной и количественной интерпретации в программном комплексе представлены программами «Profile 3.1» и «Model 3». Количественная интерпретация основывается на решении прямых и обратных задач, разработанных в Институте Геофизики СО РАН (г. Новосибирск, Е.Ю. Антонов и др.). Программы имеют



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

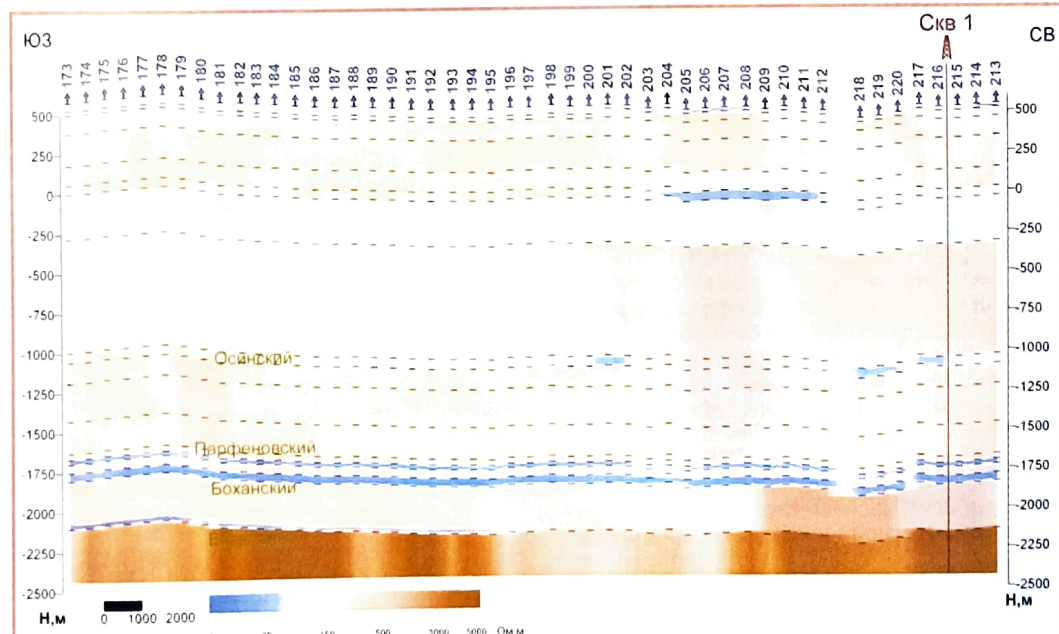


Рисунок 5. Геоэлектрический разрез, полученный в рамках «тонкослойной» модели.

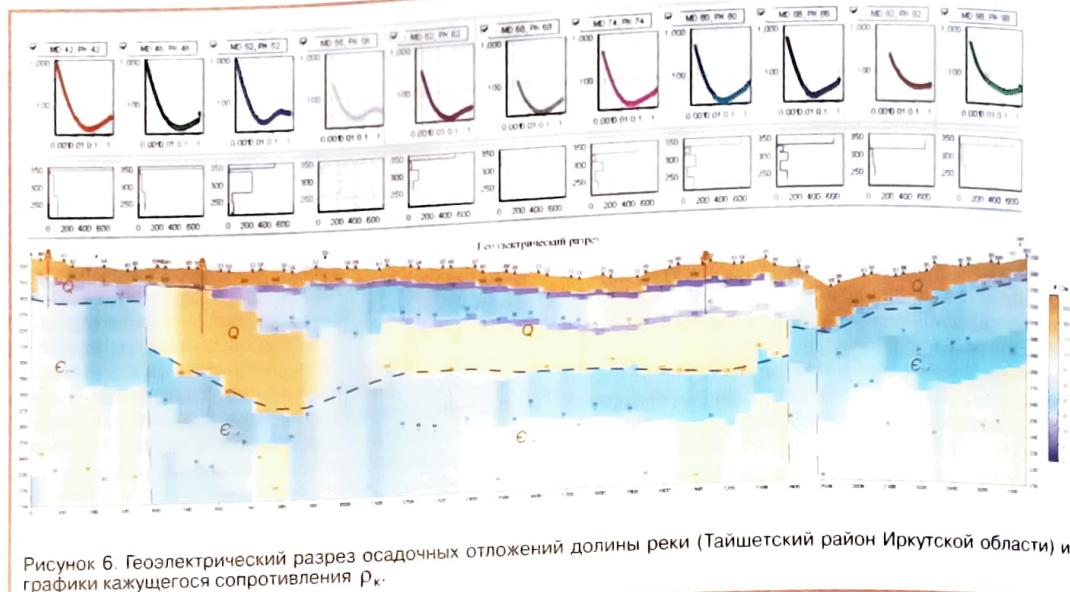


Рисунок 6. Геоэлектрический разрез осадочных отложений долины реки (Тайшетский район Иркутской области) и графики кажущегося сопротивления ρ_k .

эффективные средства визуализации данных в виде графиков, планов графиков, разрезов, карт. Для обеспечения работы с точками наблюдений применяется геоинформационная система «GeoMap», облегчающая интерактивный выбор пикетов для просмотра и обработки. Визуализатор программы «Profile» позволяет не только отображать на экране различную графическую информацию, но и печатать графические приложения на бумаге. Для построения разрезов и карт в программе реализованы различные алгоритмы интерполяции, в том числе крайгинг.

В программе «Model 3.0» можно осуществлять подбор моделей для наблюдаемых сигналов (выполнять инверсию данных), рассчитывать модельные сети наблюдений, задавая геоэлектрические параметры слоев и различные трехмерные неоднородности, а также рассчитывать электромагнитные отклики от них. Реализованы расчеты задач для различных типов приемников, в том числе и с учетом индукционно-вызванной поляризации. Внедрен модуль решения обратных 1-D / 3-D задач с подбором мощностей и сопротивлений в интервалах, определенных пользователем.

Опыт использования

С момента создания первого поколения станции SGS-TEM в 1998 г. силами только иркутских электроразведчиков в Восточной Сибири было выполнено более 15000 зондирований становлением поля. При разработке новых поколений станции (в 2010 году выходит уже 4-е поколение аппаратуры) были учтены замечания и пожелания реальных пользователей аппаратуры и программного обеспечения – специалистов-геофизиков, что позволило создать еще более точный и гибкий инструмент для решения геологических задач методами электромагнитных исследований. Высокую эффективность и надежность станции SGS-TEM могут подтвердить и новосибирские специалисты, выполняющие производственные работы методом ЗСБ (ЗАО НППГА «Луч»).

Вслед за улучшением технических характеристик измерительной аппаратуры вперед шагнула и технология обработки и интерпретации данных. Так, высокое качество получаемого полевого материала позволило специалистам Иркутского электроразведочного предприятия (Поспеев А.В., Буддо И.В. и др.) разработать и внедрить программное обеспечение, позволяю-

щее разделять геоэлектрический разрез более чем на 20 слоев на основе априорных данных сейсморазведки и бурения. Такой подход («тонкослоистая» интерпретация) позволяет с высокой точностью выделять в разрезе пласты-коллекторы и дает возможность прогнозирования возможных осложнений в процессе проходки скважин (рисунок 5). Данная методика была с успехом опробована на ряде площадей юга Сибирской платформы. Ее эффективность подтверждена результатами бурения.

Несмотря на относительную «молодость» (первая версия разработана в 2005 г.), малоглубинная электроразведочная станция FastSnap получила признание и нашла широкое применение в различных регионах России. География использования аппаратуры достаточно широка – города Иркутск, Новосибирск, Москва, республика Бурятия. За время эксплуатации аппаратуры в Иркутском электроразведочном предприятии было решено множество интересных производственных и научных задач. Среди них такие, как изучение верхней части разреза на предмет наличия разрывных нарушений по трассе трубопровода «Ковыкта-Иркутск», изучение погребенных долин (алмазы) в Тайшетском районе Иркутской области (рисунок 6), рудные работы на уран в Бурятии.

Отдельного упоминания заслуживают работы, имеющие научное направление – изучение строения Патомского кратера и Приольхонья (оз. Байкал), которые проводятся совместно с учеными из Сибирского Отделения РАН. Преподаватели и студенты Иркутского государственного технического университета и Новосибирского государственного университета оценили высокую наглядность и удобство использования аппаратурно-программного комплекса FastSnap для организации учебного процесса и студенческих практик по электроразведке.

Список литературы

1. Агафонов Ю.А., Поспеев А.В. Программно-измерительный комплекс для работ методом ЗСБ // Геофизический вестник, 2001, №10, с 8 – 11.
2. Шарлов М.В., Поспеев А.В., Агафонов Ю.А. Информационное обеспечение современной телеметрической станции для электромагнитных зондирований // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2007, №2, Ч.1, с. 39 – 41.

Аппаратура и программное обеспечение для наземной и морской модификаций ДНМЭ

Алаев В.Н., Давыденко Ю.А., Жуган П.П., Мальцев С.Х.,
ООО «Сибирская научно-производственная компания», г. Иркутск

Введение

«Сибирская геофизическая научно-производственная компания» является разработчиком и патентообладателем эффективной методики поисков залежей углеводородов, называемой дифференциально-нормированным методом электроразведки (ДНМЭ). Метод основан на выявлении аномалий ВП, возникающих над залежами углеводородов под воздействием восстановительной обстановки. Существуют три модификации метода: первая - для наземных дипольных зондирований, вторая - для установки с двумя приемными линиями и генераторной петлей, третья - для морских дипольных зондирований. В морской технологии используются измерения в движении, что позволяет сочетать высокую информативность и производительность. При геологической интерпретации данные ДНМЭ комплексированы с данными каротажа и сейсморазведки. На основе комплекса ДНМЭ-сейсморазведка бурением более 150 скважин в различных геологических условиях подтверждено более 80% верных прогнозов на суше и более 90% на море.

ДНМЭ относится к импульсным методам электроразведки. После более чем двух десятков лет успешных работ аналоговой аппаратурой в 1997 году разработчики метода совершили переход на цифровую аппаратуру. За основу было взято сейсмическое 24-разрядное сигма-дельта АЦП фирмы Crystall CS5321. Были разработаны оригинальные входные цепи для измерения первой и второй пространственной разности потенциалов. Для того чтобы иметь возможность на стадии преобразования максимально поднять соотношение сигнал/помеха было принято решение сохранять весь массив исходных данных. В результате, был создан уникальный программно-измерительный комплекс, предназначенный для сбора, хранения и обработки данных электромагнитных зондирований, который с минимальными изменениями может быть адаптирован для любого импульсного метода. Для хранения информации на платформе Microsoft SQL Server была создана база данных (БД), объединяющая **реляционную БД и файловую БД**. На настоящий момент для работы с этой базой данных разработано и адаптировано более трех десятков приложений, которые и составляют программно-измерительный комплекс ДНМЭ. Комплекс доказал свою пригодность к обработке и хранению значительных объемов полевых дан-

ных - несколько тысяч точек зондирования за полевой сезон. Обработка полевого материала проводится в автоматическом режиме.

Параллельно интенсивно развивалась силовая аппаратура. Разработан тиристорный коммутатор, который более 20 лет успешно эксплуатируется в наземных условиях. Для морских работ разработана значительно более мощная модификация. За последние 5 лет внедрен транзисторный коммутатор, отличающийся высокой надежностью и позволяющий получать значительно более «чистый» фронт выключения токового импульса.

1. Силовая аппаратура программно-измерительного комплекса ДНМЭ

1.1 Транзисторный инвертор

Назначение

Транзисторный инвертор предназначен для питания током линии АВ или магнитного диполя при проведении наземных полевых работ электроразведочными методами. Прибор предназначен для работы в комплекте аппаратуры ДНМЭ. Он преобразует постоянный ток генератора в разнополярные импульсы с интервалом, равным длительности импульса. Во время интервала мощность генератора переключается на балластное сопротивление, входящее в комплект генераторной установки. Источником силового питания транзисторного инвертора, как правило, служит генератор постоянного или переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Можно использовать трехфазные электростанции переменного тока с напряжением 380В.

Краткие технические характеристики

- Входное постоянное напряжение до 500В или переменное напряжение до 380В
- Питание прибора - 9-18В
- Максимальный ток коммутации - 100А
- Минимальный ток коммутации - 3А
- Рабочие частоты фиксированные - 1, 0.5, 0.25, 0.125 Гц
- Максимальный ток потребления управляющих цепей - 0.5 А
- Масса прибора - 17 кг

Устройство и работа прибора

Структурная схема прибора показана на рис.1. Расположение основных узлов в транзисторном инверторе показано на рис.2.

Плата управления и защиты формирует и обрабатывает сигналы, поступившие от других узлов, а также управляет ими. Вся необходимая информация отображается на дисплее. Панель управления служит для изменения режима работы прибора. GPS синхронизация синхронизирует момент пропускания тока в питающей линии с сигналом точного времени, поступившим от GPS приемника. В случае отсутствия GPS приемника прибор может работать автономно и выдавать синхронизирующий сигнал для приемной части аппаратуры. Силовой модуль преобразует поступающее на него постоянное напряжение в импульсы положительной и отрицательной полярности.

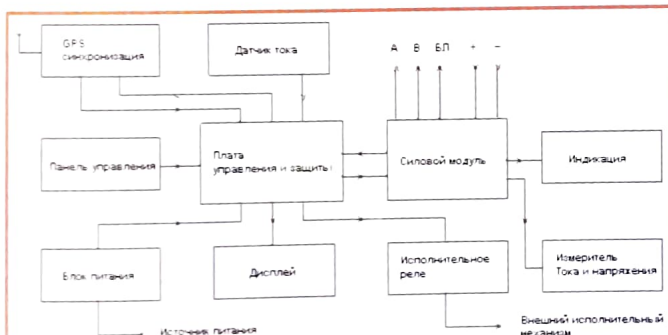


Рис. 1. Структурная схема инвертора.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

сти и коммутирует ток между питающей линией и балластом. Индикация, датчик тока, измеритель тока и напряжения служат для контроля текущего состояния силовой части аппаратуры. В случае аварийной ситуации исполнительное реле, управляемое системой защиты, дает команду на внешнее устройство. Питается прибор от низковольтного источника тока, как правило, от бортовой сети автомобиля, через гальванически развязанный блок питания.

Плата управления и защиты

Ее основой является программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС — Programmable Logic Device — PLD) американской фирмы ALTERA. Главным отличительным свойством ПЛИС является "жесткая" логика и возможность ее настройки на выполнение заданных функций самим пользователем и таким образом реализовать достаточно сложные проекты. Для программирования или изменения логики работы используется САПР MAX+PLUS II, представляющей собой интегрированную среду для разработки цифровых устройств на базе программируемых логических интегральных схем фирмы ALTERA.

Программа, загруженная в логическую интегральную схему, реализует следующие функции:

- Формирование управляющих сигналов;
- Защитные функции;
- Обработку сигналов, поступивших с панели управления;
- Вывод информации о текущем рабочем процессе и состоянии системы защиты через микроконтроллер на дисплей.

Формирование управляющих сигналов

Сигнал, синхронизированный с сигналом точного времени от GPS, преобразуется таким образом, чтобы получить необходимую форму тока, нужной длительности и полярности, в питающей линии. При автономной работе (без GPS) используется тактовая частота от высокостабильного кварцевого генератора U1 с нужным коэффициентом деления, а также формируется синхронизирующий сигнал для приемной части аппаратуры.

Защитные функции

При возникновении аварийной ситуации в модуле, изменении заданных значений тока (I_{min} и I_{max}) или превышении напряжения (U_{max}) формируется сигнал ошибки, который выключает исполнительное реле и снимает с силового модуля все управляющие сигналы. Источник ошибки запоминается и выводится на дисплей. Для измерения заданных значений тока (I_{min} и I_{max}) используется компенсационный датчик на эффекте Холла LT 100-S. Он применяется для электронного преобразования постоянного, переменного и импульсного тока в пропорциональный выходной ток и имеет гальваническую развязку между силовой и измерительной цепями.

Обработка сигналов

Производится обработка сигналов об изменении режимов прибора, поступающие с панели управления.

Вывод информации

Вывод информации о текущем рабочем процессе и состоянии системы защиты производится на дисплей.

Интеллектуальный силовой модуль IGBT SKiIP

Основным узлом прибора

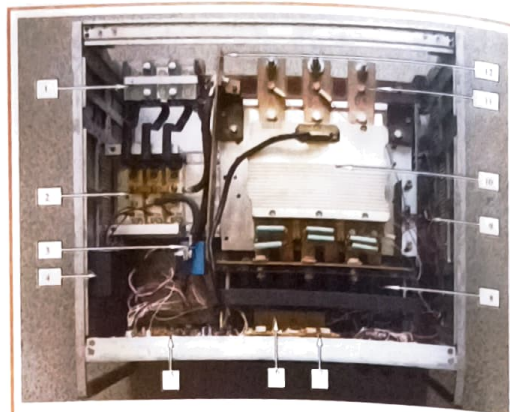


Рис. 2 Расположение основных узлов в транзисторном инверторе.

1. Колодка подключения переменного трехфазного напряжения 380V.
2. Блок полупроводяемого выпрямителя
3. Датчик тока
4. Блок управления выпрямителем
5. Плата управления и защиты
6. Исполнительное реле
7. Приборная плата
8. Блок высоковольтных конденсаторов
9. Блок вентиляторов
10. Силовой модуль SKiIP
11. Шины подключения балласта и линии.
12. Шины подключения внешнего силовоточного выпрямителя

является инвертирующий 3-фазный мост, упрощенная схема которого приведена на рис.3. Мост состоит из шести коммутационных транзисторов (VT1- VT6), рассчитанных на ток не менее 100 А и напряжение не менее 1200 В. Транзисторы VT1 и VT2 служат для переключения тока в линии АВ. VT5 и VT6 служат для переключения тока на балласт. Транзисторы VT3 и VT4 общие и работают в обоих случаях.

График (рис.4) иллюстрирует прохождение тока в питающей линии АВ и балласте. Тактовая частота синхронизирована с сигналом PPS от приемника GPS. Сигнал SINX вырабатывается самим прибором при отсутствии GPS синхронизации.

Интеллектуальные силовые модули объединяют в одном устройстве 3-фазный мостовой силовой каскад, драйвер и устройство защиты. Минимальные длины линий связи позволяют получить низкие значения распределенных индуктивностей, что уменьшает уровень переходных перенапряжений и уровень EMI. Хорошая тепловая связь элементов модуля повышает надежность работы схемы защиты.

1.2 Тиристорный инвертор

Назначение

Тиристорный инвертор предназначен для питания током линии при проведении морских работ электроразведочными методами в комплексе аппаратуры ДНМЭ. Он преобразует

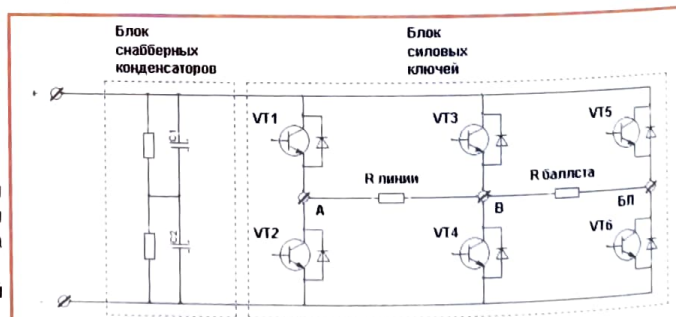


Рис. 3. Инвертирующий 3-фазный мост



Рис. 4 График работы силовых ключей

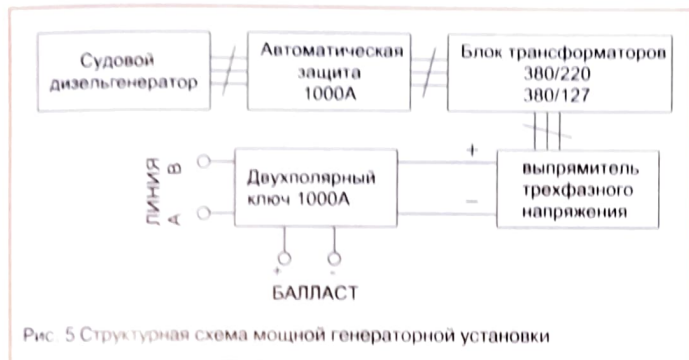


Рис. 5 Структурная схема мощной генераторной установки

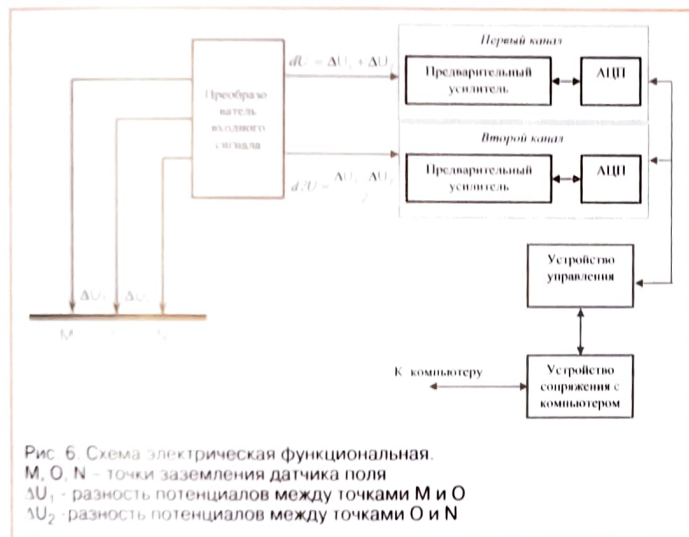


Рис. 6. Схема электрическая функциональная.
М, О, N – точки заземления датчика поля
 ΔU_1 – разность потенциалов между точками М и О
 ΔU_2 – разность потенциалов между точками О и N

постоянный ток в разнополярные импульсы с интервалом, равным длительности импульса (рис. 4). Во время интервала мощность генератора переключается на балластное сопротивление, входящее в комплект генераторной установки (рис. 5).

Является источником электроэнергии для питания силовых цепей прибора от трехфазного выпрямителя с выходным напряжением до 550 В, полной максимальной мощностью до 500 кВА.

- Краткие технические характеристики**
- Питание цепей управления прибора от блока питания 220В
 - Максимальный ток коммутации – 1000А
 - Температура окружающей среды 0...40 °С.
 - Сопротивление изоляции токоведущих частей двухполюсного ключа относительно корпуса и между цепями, электрически не связанными между собой, не менее - 0,5Мом
 - Длительность тактовых импульсов – 4 или 8 сек.
 - Минимальное время выключения тока АВ или магнитного дipoля- 500 мкс.
 - Максимальный ток потребления управляющих цепей – 0.5 А.

II. Приемная аппаратура

Измеритель разности потенциалов геофизический ИРПГ (далее измеритель) предназначен для проведения геофизических исследований дифференциально-нормированным методом электроразведки (ДНМЭ). В этом методе электроразведки для изучения геоэлектрических и поляризационных свойств земной коры используются дифференциально-нормированные параметры, которые представляют собой отношение разностей потенциалов электромагнитного поля.

Принцип работы прибора основан на измерении разностей потенциалов и преобразовании их по заданным алгоритмам с целью получения дифференциально-нормированных параметров. Управление измерителем осуществляется программным путём с помощью портативного персонального компьютера. Результаты измерений преобразуются в цифровой код и передаются в компьютер, где обрабатываются и используются в дальнейшем для изучения геоэлектрических свойств разреза.

Работа измерителя осуществляется следующим образом (рис. 6).

Сигнал с датчика поля, в качестве которого используется трёхточечная приёмная (измерительная) установка с гальваническим заземлением, поступает на вход преобразователя входного сигнала. Входные цепи выполнены на операционных усилителях с высоким входным сопротивлением. В преобразователе происходит формирование двух сигналов по формулам, представленным на рисунке. Далее сигналы поступают на два канала, выполненные по идентичной схеме. В предварительном усилителе производится компенсация дрейфа нуля усилительного

тракта (балансировка) и усиление сигнала. АЦП преобразует аналоговый сигнал в цифровой код. Далее сигнал в отсчетах АЦП через устройство сопряжения поступает в компьютер, где производится дальнейшая обработка сигнала.

Отличительной особенностью измерителя является то, что формирование двух сигналов dU и $d2U$, их усиление и оцифровка осуществляется раздельными каналами. Данный преобразователь входного сигнала является оригинальным устройством, которое используется только в ДНМЭ. ИРПГ прошел аттестацию и внесен в государственный реестр средств измерений под номером 42970-09.

Технические характеристики аппаратуры

- Рабочие условия применения: температура окружающего воздуха от плюс 5 до плюс 40 °С;
- Датчик поля – трёхточечная заземлённая линия (М, О, N);
- Количество каналов измерения - 2, 3 - суша, 6 – море;
- Интерфейс для подключения к компьютеру - последовательный (USB).

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Измеритель работает под управлением персонального компьютера и выполняет следующие основные функции:

- измерение, преобразование сигналов и передача их в персональный компьютер;
- запуск измерений с помощью внешней синхронизации;
- установка коэффициентов усиления раздельно по каждому каналу;
- сдвиг уровня постоянной составляющей (балансировку) раздельно по каждому каналу;
- Требования к персональному компьютеру:
- частота центрального процессора - не менее 1 ГГц;
- оперативная память - не менее 512 МВ;
- место на жестком диске - не менее 20 МВ;
- операционная система - Windows ®2000/XP.

2.1 Основные параметры и характеристики

- Диапазон измерений разности потенциалов - от 0,005 до 4,5 В положительной и отрицательной полярностей при коэффициенте усиления равном 1 (Максимальная чувствительность в 1 мкВ достигается при больших коэффициентах усиления за счет обработки статистически значимой серии измерений)

- Предел допускаемой относительной погрешности, $\pm 1\%$ не более

- Коэффициент усиления измерителя дискретный- 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128;

- Допускаемое отклонение коэффициентов усиления от номинальных значений, не более $\pm 0,5\%$.

- Номинальная ступень шага квантования -0,7 мкВ.

- Входное сопротивление по постоянному току, не менее- 100 Мом.

- Время установления рабочего режима, не более- 15 мин.

- Питание измерителя осуществляется от источника постоянного напряжения- от 10,5 до 15,0 В.

- Потребляемая мощность, не более- 5 Вт.

- Габаритные размеры составных частей измерителя, мм

блок измерительный «МОСТ»- 225×165×60

адаптер линии связи «АЛС»-140×115×35

устройство синхронизации «УС» -140×115×35

Масса составных частей измерителя, кг

блок измерительный «МОСТ»- 1,2

адаптер линии связи «АЛС»- 0,2

устройство синхронизации «УС»- 0,3

- Показатели надежности измерителя:

средняя наработка на отказ, не менее- 5000 ч

средний срок службы не менее- 5 лет.

2.2 Аппаратная часть

Внешний вид аппаратуры показан на рис. 7.

Измерительный блок «МОСТ»

Измерительный блок «МОСТ» выполняет следующие функции: преобразование разностей потенциалов; балансировку каналов; усиление сигнала; аналого-цифровое преобразование; буферизацию данных; передачу данных в линию связи.

Адаптер линии связи «АЛС»

Адаптер линии связи обеспечивает передачу и буферизацию данных и команд между ПК и блоком МОСТ. Кроме этого, к АЛС возможно подключение источников синхронизации различных типов. Для подключения модулей у АЛС имеются две ЛИНИИ СВЯЗИ, к каждой из которых может быть подключено до четырех двухканальных блоков МОСТ. Для подключения источников синхронизации имеется один вход с оптической развязкой и один вход, совместимый с уровнями RS232

(используется для подключения устройства синхронизации УС). Разъем «RS232» содержит вход для перепрограммирования микрокода АЛС, а также вход для подключения устройства синхронизации. Разъем USB позволяет подключать АЛС к персональному компьютеру с помощью стандартного кабеля. Также через этот разъем производится питание АЛС.

Устройство синхронизации (УС)

Устройство синхронизации является источником синхросигнала для обеспечения работы измерителя в комплексе электроразведочной аппаратуры. Для временной привязки синхросигнала используется сигнал со встроенного приемника GPS.

2.3 Программа сбора

Назначение

Программа сбора предназначена для проведения полевого эксперимента в рамках метода ДНМЭ. Программа сбора является частью программного комплекса ДНМЭ и выполняет сбор данных, получаемых от измерительного модуля и сохранение их в файлы *.ad1 на жесткий диск в ПК. Программа сбора имеет два режима работы: «просмотр поля» и «работа». Кроме этого, программа сбора позволяет настраивать параметры измерительного тракта модуля, а также получать информацию об его состоянии.

В режиме «Просмотр» измерительный модуль используется в качестве электронного осциллографа, что позволяет визуально анализировать сигнал, поступающий на входы прибора. В режиме просмотра доступна функция «ручной» балансировки каналов (кнопка «Balance»).

Режим «Работа» является основным режимом функционирования программы сбора. После нажатия кнопки «Start» происходит запуск процесса сбора данных. В процессе запуска происходит следующее:

1) создается файл *.ad1, в который будут помещаться данные, полученные от измерительного модуля;

2) настраиваются параметры измерительного тракта, согласно заданным в окне «Setup» настройкам;

3) начинается прием данных от модуля. Первые четыре накопления не пишутся в файл, а используются для накопления истории необходимой для работы автоматики;

4) полученные данные отображаются на экране;

5) на экран выводится текущее состояние приемного тракта и некоторые параметры принимаемого сигнала, а также время до конца записи в файл.

Для задания параметров работы программы и настроек измерительного тракта в программе



Рис. 7 Наземная комплектация аппаратуры ДНМЭ

сбора предусмотрено окно «Setup». Окно «Setup» имеет три вкладки «Основные настройки», «Контроль измерений» и «Метрология».

Вкладка «Основные настройки» позволяет задавать параметры измерительного канала и параметры записи получаемых данных в файл. При подключении к ПК аппаратуры МОСТ-2 возможно использование только двух каналов (в случае использования этой программы). Поэтому только одна пара каналов остается не заблокированной. Два набора RadioButton позволяют задавать коэффициенты усиления, независимо на обоих измерительных каналах. Для изменения усиления в процессе измерения следует нажимать кнопку «Применить». Реакция на это действие может запаздывать на 4 накопления. В силу особенностей алгоритмов обработки не следует злоупотреблять этой возможностью.

Вкладка «Контроль измерений» содержит три группы: «Контроль наличия сигнала», «Автоматическая балансировка» и «APY». Функцию «APY» применяется в морской модификации. Функция «Контроль наличия сигнала» необходима для корректного создания файлов исходной информации *.ad1, а также для оповещения оператора о сбоях во время работы. Под сигналом в данном случае понимается момент выключения тока в линии. Первые три параметра задают длину оператора, начало и конец поиска сигнала. Четвёртый параметр задаёт нижний порог критерия надёжности обнаружения сигнала, в случае перехода которого сигнал считается не обнаруженным. Для уменьшения жесткости условий контроля сигнала, можно выключить часть каналов из анализа. Это можно сделать, нажав кнопку «Дополнительно». Если оба параметра в появившемся окне равны нулю, то любой сбой по любому каналу приведёт к остановке измерений. Сбои могут выражаться в нарушении определения полярности сигнала и в понижении уровня надёжности выделения сигнала.

Группа «Автоматическая балансировка» позволяет управлять параметрами процесса балансировки. Балансировка нужна для удержания сигнала в рабочем диапазоне прибора. В полях «Интервал балансировки» задаётся промежуток данных, по которому будет определяться отклонение сигнала от «нуля», которое, соответственно, и будет убираться. Предлагается два типа балансировки: периодическая и балансировка по необходимости. Рекомендуется использовать балансировку по необходимости, так как излишнее количество изменений балансировки ведёт

ухудшению качества записи.

Вкладка «Метрология» позволяет отображать и редактировать калибровочные параметры каждого прибора. Помимо этого, коэффициенты усиления можно подгружать из специально подготовленного текстового файла. Параметры, отображенные на этой вкладке, сохраняются в ini-файле, в разделе текущего прибора.

Общая схема блок-схема обработки данных в программно-измерительном комплексе показана на рис. 8.

Все приложения запускаются Менеджером приложений, работа которого синхронизирована с реляционной БД. Перед началом полевых работ посредством Формуляра оператора в реляционной БД заполняются обязательные поля - заказчик, площадь работ и профили; указываются операторы, измерительные приборы и соответствующая им калибровочная информация. Запись и анализ характеристик приборов выполняется с помощью группы программ, объединенных в блок Калибровка прибора. С помощью другой группы программ - Сбор данных с иных приборов, привязка наблюдений - осуществляется сбор геодезической, гидрографической и прочей информации, выполняется привязка системы источник - приемник в пространстве. Перед записью полевого наблюдения в Формуляре оператора в реляционной БД создается уникальная запись, соответствующая номеру наблюдения на данной точке, и в файл CURFILE.INI записывается путь, по которому в файловой БД будет сохраняться первичная информация и результаты ее обработки. Информация о переходных процессах с приемной линии оцифровывается дельта-сигма АЦП, обладающим большим динамическим диапазоном. АЦП управляется Программой сбора данных, которая сохраняет весь набор первичных данных в бинарных файлах (исходниках) на жестком диске. С помощью набора программ: Обработка первичных данных, расчет кривых - выполняются различные процедуры по увеличению соотношения сигнал/помеха и формируются кривые дифференциально-нормированных параметров (ДНП), которые записываются в реляционную БД. Кривые и вся информация, касающаяся наблюдения, визуализируется с помощью модуля Просмотр БД, редактирование и конвертация. В этом модуле реализованы такие возможности, как: сравнение рядовых и контрольных наблюдений, построение планов графиков ДНП, конвертация



Рис. 8. Общая блок-схема обработки данных

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

Для морской и наземной модификации наборы программ: Сбор данных с иных приборов, привязка наблюдений и Обработка первичных данных, расчет кривых - отличаются.

В наземной модификации (рис. 9) топограф проектирует положение установки на местности, используя растровые и векторные карты, а так же отснятые с помощью GPS-приемников треки дорог.



В реляционной БД сохраняется положение приемных и питающих электродов, а так же выполняется преобразование координат для решения прямой задачи.

Морская модификация программно-измерительного комплекса сложнее наземной, поскольку совместно с переходными процессами обрабатываются гидрографические данные (рис. 10). Перед прохождением профиля в морской модуль ГИС-привязка наблюдений, опрос иных приборов загружаются координаты проектных профилей, растровые и векторизованные карты. Во время записи данных на профиле в этот модуль собирают данные с нескольких GPS-приемников, эхолота и мультиметра, с помощью которого измеряется ток. Во время измерений переходных процессов этим модулем формируется пакет данных с гидрографической информацией, соответствующий измеряемому переходному процессу. Этот пакет поступает в Программу сбора данных, которая с помощью АЦП регистрирует переходные процессы.

Поскольку гидрографические данные поступают из различных источников, в файлах различных форматов и с различным шагом по времени, то программой Обработка гидрографии эти данные приводятся к единой временной сетке, в которой регистрируются переходные процессы. В результате, каждому переходному процессу ставится в соответствие гидрографическая информация, в которой обработаны и устранены всевозможные сбои, выполнены пересчеты координат и введены необходимые поправки. Все эти данные сопоставляются в модуле Деление на пикеты, где непрерывная запись по профилю разбивается на интервалы с требуемым шагом. На выходе этого модуля создаются файлы Dk, в которых гидрографические данные увязаны со сжатыми во временные окна переходными процессами, а так же файл Table.txt, где в заданных границах интервалов усреднена гидрографическая информация.

Файлы Dk в дальнейшем используются в модуле Визуализация контроля (Море), а так же для картирования по временным задержкам и гидрографическим данным. Модуль Визуализация контроля (Море) позволяет сопоставить результаты различных наблюдений на профиле, независимо от того, в каком направлении он проходил. Контроль осуществляется при повторном прохождении профиля.

Используя показания датчика тока и разности потенциалов между электродами на приемной линии во время пропускания тока, в модуле Расчет Rok вычисляется кажущееся сопротивление разреза. Результаты расчетов так же сопоставляются с гидрографическими данными и сохраняются в текстовых файлах в файловую БД.

С целью достижения стабильности работы измерительные модули ежемесячно калибруются (рис. 11). К модулю АЦП подключается Калибратор, в котором генерируется последователь-

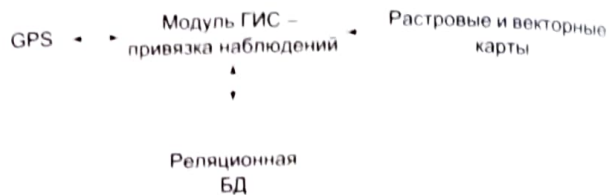


Рис. 9. Программы Сбор данных с иных приборов, привязка наблюдений в наземной модификации

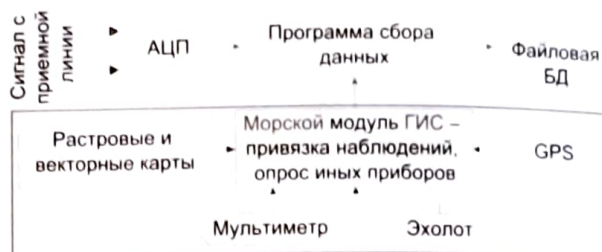


Рис. 10. Программы Сбор данных с иных приборов, привязка наблюдений в морской модификации

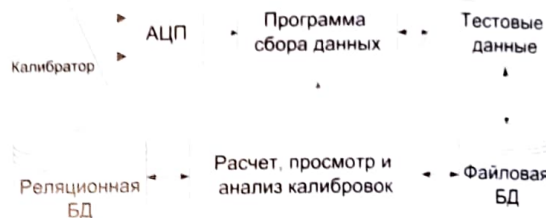


Рис. 11. Программы Калибровка приборов

ность разнополярных прямоугольных импульсов с известной амплитудой. В Программе сбора данных меняются коэффициенты усиления измерительного прибора. Для каждого коэффициента в Файловую БД записывается свой файл тестовых данных. Программой Расчета, просмотра и анализа калибровок рассчитываются калибровочные константы и сохраняются в БД и Файловой БД. Если отклонения превышают допустимые значения, то из Файловой БД файл с этими константами загружается в Программу сбора данных, которая при полевой записи сохраняет константы в файл исходных данных. В программе Расчета, просмотра и анализа калибровок есть возможность просмотра и расчета статистик по измеряемым характеристикам выбранного прибора.

Заключение

Аппаратура и программное обеспечение для наземной и морской модификаций ДНМЭ позволяют выполнять в промышленных масштабах высокоточные измерения с высокой производительностью полевых и камеральных работ. Сложившаяся структура программно-измерительного комплекса доказала свою высокую адаптивность к постоянно меняющимся требованиям. Дальнейшее развитие комплекса связано с совершенствованием отдельных модулей, а также с созданием сервисных приложений для геологического отдела, включающих статистический анализ и отображение данных в ГИС приложениях.



МЭРИ-24

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ
ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ

Область применения: измеритель "МЭРИ" предназначен для измерения параметров постоянного и переменного напряжения в полевых условиях при электроразведочных работах. Прибор позволяет проводить работы методом сопротивлений, вызванной поляризации и частотного зондирования. Диапазон частот: **0,015 - 625 Гц**.

Особенности: в процессе наблюдений прибор измеряет входной сигнал, выполняет его обработку, выдает значения определяемых параметров на индикатор и записывает их в память, для последующего переноса на ПК.



ИМВП

8-КАНАЛЬНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
ДЛЯ МЕТОДА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Область применения: Измеритель "ИМВП" предназначен для проведения работ методом вызванной поляризации в частотной и/или временной области. Он также позволяет проводить работы методом сопротивлений, частотного зондирования и дифференциально-нормированным методом электроразведки.

Особенности: измеритель одновременно регистрирует сигнал с **8 приемными линиями MN**. Управление прибором и запись наблюдаемого сигнала производится при помощи ноутбука или КПК (карманного компьютера). Обработка сигнала проводится в камеральных условиях.



АСТРА-100

ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Область применения: электро-разведочный генератор "АСТРА-100" может применяться при геофизических исследованиях методами сопротивлений, вызванной поляризации, частотного зондирования, зондирования становлением поля и другими методами электроразведки.

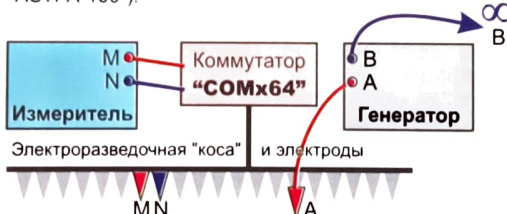
Особенности: портативность, малые габариты и вес; высокая надежность; простота в использовании. Мощность - **100 Вт**, максимальный ток - **1 А**, максимальное напряжение - **400 В**, диапазон частот - от **0,015** до **2500 Гц**.

"СОМx64" - КОММУТИРУЮЩИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

Область применения: "СОМx64" - дополнительный блок для многоканальных измерений методом сопротивлений и вызванной поляризации с обычной аппаратурой. Позволяет проводить детальные малоуглубинные электротомографические исследования.

Особенности: в процессе съемки коммутируются только приемные электроды, соединенные косой (см. рис.). Выбор рабочей пары приемных электродов обеспечивается программой, записанной в памяти интеллектуального коммутатора.

Питающий электрод переносится вручную. Для съемки используется обычная аппаратура (измеритель "МЭРИ-24" и генератор "АСТРА-100").



Типичная методика измерений:

- Число приемных электродов - 64
- Шаг по профилю - 6(3) м
- Расстояние между электродами - 3 м
- 3-х электродная установка (AMN+MNB)
- Разносы АО - 4.5 - 121.5 м
- Глубинность - до 50 м
- Длина расстановки - 189 м + выносы
- Число измерений - 500 - 1000
- Время развертывания ~ 1 час
- Время измерений ~ 3 часа
- Вес кос, электродов и т.д ~ 120 кг

Syscal Pro Switch 10-КАНАЛЬНЫЙ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ МЕТОДОМ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ВП (Iris Instruments, Франция)

Область применения: детальные исследования методом сопротивлений и вызванной поляризации (ВП) для решения инженерных и рудных задач в сложных условиях. Возможно проведение работ как в поверхностном, так и межскважинном вариантах. Легко адаптируется для проведения мониторинга различных процессов.

Особенности: Сегодня это самый производительный комплекс для электротомографии. Высокая производительность достигается благодаря **одновременному** измерению на **10 приемных диполях** и автоматической коммутации всех приемных и питающих электродов (от **48** до **144** штук). Производительность полевых работ методом сопротивлений до 1500 метров в день, методом ВП - до 1000 метров в день). Плотность наблюдений достигает 5000 измерений на километр.



Характеристики: 10 приемных диполей, 800 В - 250 Вт - 2.5 А, кривая спада ВП по 20 временам, время пропускания от 250 мс до 8 с, коммутатор для электротомографии на 48, 72, 96, 128 или 144 электродов, расстояние между электродами до 10 м, полный вес комплекса - 120 - 200 кг.

Типичная методика измерений для Syscal Pro 72 (коса с шагом 5 метров):

- Число электродов - 72
- Шаг по профилю - 5 м
- Разносы АО при использовании 3-х электродной установки - 7.5 - 250.5 м
- Глубинность - до 100 м
- Длина расстановки - 355 м
- Время развертывания ~ 1 час
- Время измерений ~ от 15 мин. до 1½ часа
- Число измерений - 500 - 2000

Поставка комплекса

Syscal Pro (Iris Instruments) включает подбор оптимальной конфигурации, закупку необходимого ПО и обучение специалистами, сертифицированными в Iris Instruments.



Новая аппаратура ТЕЛСС-2, ЭЛЛИСС-3, ЭЛСИС-1 для повышения качества геофизических исследований

Федотов А.С., ООО «ГЕОСИГНАЛ», г. Москва

Существенное снижение в последние два года объемов геофизических исследований как в геологоразведке, так и в строительной отрасли, связанное с мировым финансовым кризисом, повлекло за собой резкий спад спроса на геофизическое оборудование. Сокращение объемов работ, а, следовательно, и уменьшение финансовых возможностей потенциального потребителя геофизической техники заставляет его переосмыслить подход к выбираемой аппаратуре. Изыскатель готов приобрести новую технику либо в том случае, если она откроет ему перспективы решения нового круга задач, либо позволит провести на новом качественном уровне более детальные геофизические исследования, повысить производительность работ, тем самым сократить материальные издержки.

Производитель геофизического оборудования, при существенном сокращении спроса после бурного всплеска потребления, старается предложить покупателю аппаратуру, разработанную на новом техническом уровне, обладающую новыми качествами и возможностями использования.

Именно применение инновационных технологий, модернизация собственных ресурсов и мощностей позволит добиться успеха как производителям, так и потребителям геофизической техники.

В 2009 году в ООО «ГЕОСИГНАЛ» было разработано и испытано новое поколение аппаратуры, предназначенной для проведения сейсморазведочных и электромагнитных исследований.

Основные усилия были направлены на внедрение телеметрической сейсморазведочной системы ТЕЛСС-2. Система обеспечивает регистрацию данных в реальном времени либо с записью во внутреннюю память с последующей передачей в систему сбора данных. Это позволяет решать широкий круг задач при инженерных геофизических исследованиях, геологическом изучении рудных месторождений, проведении пассивной сейсморазведки, а также сейсморазведочных работ по технологиям 2D, 3D, 4D.

ТЕЛСС-2 состоит из четырехканальных полевых модулей (рис. 1), соединенных телеметрическим кабелем с выводами для подключения сейсмоприемников через 1-55 м, в



Рис. 1. Телеметрический модуль ТЕЛСС-2.



Рис. 2. Адаптер беспроводной сети WLAN

зависимости от решаемых геологических задач.

Управление телеметрической системой осуществляется с помощью ноутбука или промышленного компьютера, встроенного в небольшой ударопрочный кейс, через компактный адаптер на 8 телеметрических линий на основе интерфейса USB 2.0.

В качестве интерфейса сбора данных в системе может использоваться адаптер беспроводной сети WLAN (рис. 2), позволяющий оператору находиться на расстоянии до 500 м от линии сбора данных и принимать информацию в реальном времени по радио-

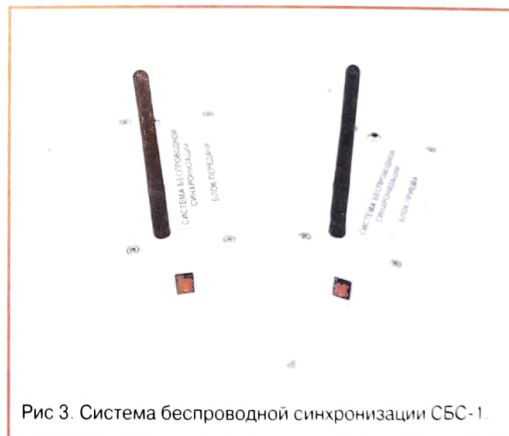


Рис. 3. Система беспроводной синхронизации СБС-1.

каналу через интерфейс Wi-Fi. В составе телеметрической системы ТЕЛСС-2 может также использоваться система беспроводной синхронизации СБС-1 (рис. 3), позволяющая пользователю дистанционно осуществлять запуск регистрирующей аппаратуры с максимальной задержкой 100 мкс.

Возможность работы полевого модуля с телеметрическим кабелем произвольной длины (от 4 до 220 м) и возможность подключения различных типов сейсмоприемников, позволяет использовать ТЕЛСС-2 как при глубинных, так и при малоглубинных исследованиях. Это особенно удобно, когда при глубинных сейсмических исследованиях необходимо изучить верхнюю часть разреза. При этом часть полевых модулей системы

соединяются телеметрическим кабелем другой длины.

В системе реализованы алгоритмы, позволяющие осуществлять полный контроль измерительного оборудования, в том числе и сейсмодатчиков. Проведение диагностики перед работой на каждом профиле позволяет получить данные высокого качества и повысить производительность работ.

При использовании сейсморазведочной системы ТЕЛСС-2 при малоглубинных исследованиях пользователь резко повышает помехоустойчивость регистрирующей системы по сравнению с линейной сеймостанцией. Система обладает отличной маневренностью и позволяет минимизировать вес оборудования. В процессе полевых работ потребитель может собрать различную конфигурацию системы: площадную (до 8 линий по 200 активных каналов в каждой) или линейную (до 400 активных каналов). При этом движение по профилю или по площади можно осуществлять, плавно перемещая активные каналы. Это особенно удобно в условиях горной местности, когда при продвижении по профилю, расположенному на крутом склоне, пользователь может выбирать количество переносимых телеметрических секций или вблизи акваторий, где можно использовать часть погружаемых



Рис 4. Сейсморазведочная станция ЭЛЛИСС-3.

Встроенный электронный коммутатор ОГТ позволяет значительно увеличить производительность работ. Возможно изготовление станции с количеством рабочих каналов до 96 и вспомогательных - до 8. Система работает с любыми источниками возбуждения сейсмических сигналов: «кувалда», «падающий груз», «Геотон», «Енисей». Также как и в телеметрической системе, в станции ЭЛЛИСС-3 осуществляется полный контроль измерительного оборудования, в том числе и сейсмической косы с сейсмоприемниками.

Особенностью станции является высокое качество аналогового тракта, а, следовательно, и низкие значения таких характеристик как шум и коэффициент нелинейных искажений. Также важной характеристикой является низкая потребляемая мощность. Например, для измерительного блока на 24 канала с встроенным коммутатором ОГТ она составляет менее 3 Вт, что позволяет при использовании ноутбука с долгим временем автономной работы использовать небольшую аккумуляторную батарею для питания регистратора. Дополнением к техническим характеристикам является дружелюбный интерфейс оператора с большим количеством встроенных функций и рядом сервис-

Основные технические характеристики измерительного блока ЭЛЛИСС-3.

Количество каналов	1-96
Разрядность АЦП, бит	24
Динамический диапазон, дБ	116
Коэффициент усиления предварительного усилителя, дБ	0; 12; 24; 36; 48
Период дискретизации, мс	0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4
Максимальная длина записи, отсчетов на канал	8192
Уровень шума, приведенный ко входу, мкВ	0,10
Коэффициент нелинейных искажений, %	0,001
Взаимные влияния между каналами, дБ	110
Подавление синфазной помехи не менее, дБ	100
Система питания: аккумуляторная батарея, В	12
Потребляемая мощность, Вт/канал	0,12
Температурный диапазон, °С	- 40 до +70
Масса (48 каналов с ноутбуком) не более, кг	3,9
Габаритные размеры (48 каналов с ноутбуком), мм	340 x 295 x 152

Основные технические характеристики полевого модуля.

Количество каналов в модуле	4
Разрядность АЦП, бит	24
Динамический диапазон, дБ	116
Коэффициент усиления предварительного усилителя, дБ	0; 12; 24; 36; 48
Период дискретизации, мс	0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4
Уровень шума, приведенный ко входу, мкВ	0,10
Коэффициент нелинейных искажений, %	0,0005
Взаимные влияния между каналами, дБ	130
Коэффициент подавления синфазного сигнала, дБ	100
Система питания: аккумуляторная батарея, В	12-36
Потребляемая мощность, Вт/канал	0,15
Температурный диапазон, °С	-40 - +70
Масса, кг	0,7
Габаритные размеры (длина, диаметр), мм	225 x 47

модулей и болотных сейсмоприемников.

Опыт последних лет показал эффективность применения телеметрической системы ТЕЛСС-2 при малоглубинных исследованиях относительно использования традиционной линейной сеймостанции, особенно при проведении площадных изысканий на особо ответственных объектах. Эффективность выражается не только в массогабаритных характеристиках и в более высокой производительности работ, но и, что самое главное, в получении более качественных данных.

Наряду с активным внедрением телеметрических систем, ООО «ГЕОСИГНАЛ» разработало сеймостанцию ЭЛЛИСС-3 (рис. 4), являющуюся прекрасным бюджетным вариантом для применения во всевозможных инженерно-геологических исследованиях.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



Рис 5. Вариант ЭЛЛИСС-3 со встроенным компьютером.

ных возможностей, качественные байонетные разъемы, а также эlegantный дизайн, позволяющий в едином ударопрочном конструктиве разместить либо ноутбук, либо встроенный промышленный компьютер, предоставляющий возможность проводить регистрацию данных при температуре окружающей среды до -30°C (рис. 5).

Имеется возможность встраивания в блок регистрации контроллера беспроводной сети WLAN, что позволяет оператору дистанционно управлять регистратором и принимать от него данные в реальном времени. В составе сейсмостанции ЭЛЛИСС-3 для запуска от системы возбуждения может использоваться компактная система беспроводной синхронизации СБС-1.

Для работ по технологиям микросейсморекордирования (МСР) или вертикального сейсми-



Рис 6. Сейсмостанция ЭЛЛИСС-3 МСК (ВСП).



Рис 7. Электроразведочная система ЭЛЛИСС-1.

Основные технические характеристики информационно-измерительного блока ЭЛЛИСС-1.

Количество каналов	1
Разрядность АЦП, бит	24
Динамический диапазон, дБ	96
Коэффициент усиления	0, 6, 12, 18, 24,
предварительного усилителя, дБ	36
Период дискретизации, мкс	0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8
Максимальная длина записи, отсчетов	32768
Уровень шума, приведенный ко входу, мкВ	1,2
Коэффициент нелинейных искажений, %	0,05
Система питания: аккумуляторная батарея, В	12
Потребляемая мощность, Вт	1,2
Температурный диапазон, $^{\circ}\text{C}$	-40 до $+70$
Масса, кг	1,9
Габаритные размеры, мм	232 x 192 x 111

ческого профилирования (ВСП) выпускаются суперкомпактные сейсмические станции ЭЛЛИСС-3МСК(ВСП) (рис. 6), выполненные в миниатюрном кейсе. Для визуализации и записи регистрируемых данных в основном используются небольшие ноутбуки или нетбуки. Программное обеспечение позволяет оператору построить графики скоростей для каждого из каналов регистрации.

Для малоглубинных электромагнитных исследований методом переходных процессов в широком частотном диапазоне (до 4 МГц) производится электроразведочная система ЭЛЛИСС-1. Система состоит из информационно-измерительного блока или регистратора (рис. 7), информационно-вычислительного блока на базе ноутбука или промышленного компьютера, генераторной и приемной петли, коммутатора тока до 10 А.

Проведение работ по методике ЗС-Б при использовании компактной антенны можно проводить при различных поверхностных условиях (болота, асфальтовое покрытие, каменистая поверхность). Система позволяет значительно повысить производительность работ и получить более высокую детальность электромагнитных исследований по сравнению с традиционной технологией ВЭЗ как по вертикали, так и по латерали.

Вся геофизическая техника отлично зарекомендовала себя при работе в различных климатических условиях. Это достигается благодаря тому, что все производимое оборудование проходит полный цикл тестирования в температурной камере и на вибростенде.

Аппаратура, производимая компанией «ГЕОСИГНАЛ» соответствует всем требованиям, предъявляемым к современной геофизической технике - имеет наилучшие технические характеристики, высокую надежность работы, низкое энергопотребление. Благодаря компактности и мобильности оборудование удобно в работе, а дружелюбный интерфейс делает работу удобной для оператора. Аппаратура позволяет пользователю существенно расширить круг выполняемых задач, повысить производительность работ, получить данные наилучшего качества.

Об оптимизации зондирующих сигналов и приемников по критерию отношения сигнал/помеха плюс шум при работе с импульсными невзрывными источниками сейсморазведки

Шайдуров Г.Я., Детков В.А., г. Новосибирск

Как известно, сейсморазведочные работы в сложных геолого-геофизических условиях Восточной Сибири и сходных районах существенно осложнена наличием в верхних структурах георазреза стохастически распределенных трапповых включений, магматических пород, формирующих мощные сигналы помех, существенно превышающие полезные сигналы, приходящие с глубинных отражающих границ Земли.

Используя линейную модель двухслойного разреза (рис. 1) [1], запишем отношение сигнал/помеха плюс шум по мощности в виде:

$$q = \frac{[I \otimes \Phi_c \otimes \Phi_{np}]^2}{[I \otimes \Phi_n \otimes \Phi_{np}]^2 + N_{III} \otimes \Phi_{np}^2}, \quad (1)$$

где I – зондирующий сигнал источника сейсмических волн; Φ_c – передаточная функция (ПФ) полезного сигнала; Φ_n – ПФ синхронных помех; Φ_{np} – ПФ сейсμοприемника; $\otimes$ – знак функционального перемножения; N_{III} – спектральная плотность мощности некоррелированного с полезным сигналом шума. Черта сверху – усреднение по частоте или времени.

Под синхронной помехой (СП) будем понимать акустический отклик неоднородного верхнего слоя георазреза.

На схеме рис. 1 изображена модель прохождения зондирующего акустического сигнала (ЗС) от сейсмического источника 1 к сейсμοприемнику 2 через двухслойный разрез с включением в верхний слой некоторой акустической неоднородности 3. В этой модели полезный сигнал (С) формируется отражением от границы второго слоя, а синхронная помеха (П) образуется за счет переотражения акустического сигнала от неоднородности (3) и приходит к сейсμοприемнику 2 одновременно с сигналом. Поскольку положение неоднородности 3 носит случайный характер, так же как их количество и частота появления, то параметры помехи (амплитуда, фаза, частота) должны описываться статистическими характеристиками – математическим ожиданием, дисперсией, плотностью распределения и пр.

Кроме случайной составляющей помехи $\bar{U}_{II}(t_i, t)$ на времени прихода полезного сигнала t_i , отраженного вторым слоем, на сейсμοприемник поступают и регулярные помехи $\bar{U}_{II}(t_i, t)$, образуемые в зоне малых скоростей, в том числе реверберационные 5 и переотраженные первым слоем 7, параметры которых повторяются вдоль профиля движения $\bar{U}_{II}(t_i, t)$. Таким образом, комбинация полезного сигнала, помех и шумов в входе сейсμοприемника в момент t_i может быть записана как:

$$U(t_i, t) = U_c(t_i, t) + \bar{U}_{II}(t_i, t) + \bar{U}_{II}(t_i, t) + U_{III}(t_i, t). \quad (2)$$

Здесь U_{III} – среднеквадратичное значение некоррелированного с сигналом шума со спектральной плотностью мощности $N_{III} \frac{\text{Вт}}{\text{Гц}}$, например микросейсм.

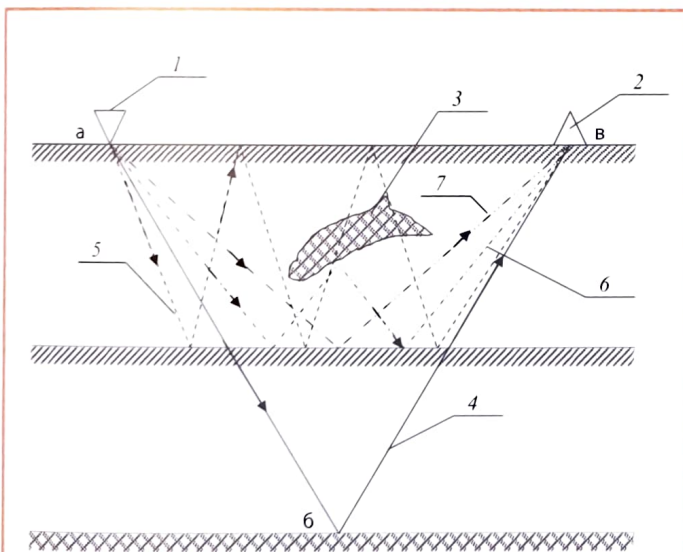


Рис. 1. Схема формирования сигнала и синхронных помех в двухслойной модели георазреза.

1 – излучатель; 2 – сейсμοприемник; 3 – неоднородность;

4 – формирование полезного сигнала;

5 – формирование реверберационной помехи;

6 – формирование синхронной помехи за счет неоднородного включения в первом слое;

7 – формирование отраженного сигнала от границы первого слоя.

В этой модели полезный сигнал $U_c(t_i, t)$ формируется как интегральная свертка зондирующего сигнала источника $I(\tau)$ с импульсной характеристикой (ИХ) его передачи к сейсμοприемнику 3 на отрезках а, б, в (рис. 1) $\Phi_c(t_i, t)$, либо передаточной функцией (частотной характеристикой $\Phi_c(j\omega)$). Аналогично формируется синхронная помеха через импульсную характеристику $\Phi_{II}(t_i, t)$ или передаточную функцию $\Phi_{II}(j\omega)$, описывающие прохождение зондирующего сигнала через неоднородный верхний слой.

Ниже приводятся результаты решения двух изопериметрических вариационных задач:

Первая задача максимизация функционала (1) по 1:

$$q(I, \Phi_c, \Phi_{np}) \rightarrow \max, \quad (3)$$

при $\Phi_{np} = I$ и ограничении на энергию зондирующего сигнала

$[I]^2 = Q = \text{const}$. Вторая – максимизация пары ЗС-приемник, при ограничениях:

$[I]^2 = Q = \text{const}$ и $D = \text{const}$ (амплитуда сигнала на выходе приемника.) (4)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



Полное решение поставленных задач приведено в [2] применительно к проблеме обнаружения различных объектов в проводящих средах, в частности, в электроразведке с использованием импульсных ЗС. Ниже рассмотрены некоторые особенности решения этих задач.

Поскольку управление формой ЗС в этой области возможно лишь с невзрывными источниками, то задачу (2) решаем для ЗС, ограниченного во времени $I \in [0, \tau]$.

Далее рассмотрим более общую задачу.

$$q = \frac{\int_n^y \left[\int_0^{\tau_n} I(\tau) \Phi_c(t - \tau) d\tau \right]^2 dt}{\int_n^y \left[\int_0^{\tau_n} I(\tau) \Phi_n(t - \tau) d\tau \right]^2 dt + N_m} \Rightarrow \max \quad (5)$$

$$\text{при } \int_0^{\tau_n} I^2(\tau) d\tau = Q = \text{const.}$$

Здесь $[t_i; t_j]$ – интервал наблюдения сигнала.

Решение этой задачи [2] было найдено в виде

$$I_{opt}(t) = \overline{\Phi_c^*(t)} - \overline{\Phi_n^*(t)} \frac{K_{cn}}{1 + v}, \quad (6)$$

где $\overline{\Phi_c^*(t)} = \frac{\Phi_c^*(t)}{R_0^{1/2}}$; $\overline{\Phi_n^*(t)} = \frac{\Phi_n^*(t)}{R_{cn}^{1/2}}$ – зеркальные ИХ сигнала и помехи, соответственно, нормированные по модулям ИХ.

$$R_0 = \int_0^{\tau_n} \Phi_c^2(t) dt; R_n = \int_0^{\tau_n} \Phi_n^2(t) dt.$$

$$K_{cn} = \frac{R_{cn}}{R_0^{1/2} R_n^{1/2}} \quad (7) \text{ – нормированный коэффициент взаимной корреляции С и П.}$$

Функция взаимной корреляции С и П:

$$R_{cn} = \int_0^{\tau_n} \Phi_c(t) \Phi_n(t - \tau) d\tau; \quad (8)$$

$$v = \frac{N_m}{C_n R_n Q} = \frac{\mathfrak{E}_m}{\mathfrak{E}_n} \text{ – отношение энергий шума и помех на интервале } [t_i; t_j],$$

$$\text{где } C_n = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_n^2(t) dt.$$

Как видно из (6), оптимальный ЗС является комбинацией зеркальных ИХ полезного сигнала и синхронной помехи. При этом временная форма оптимального ЗС существенно зависит от параметра (отношения ш/п). При $v \gg 1$ оптимальный ЗС является зеркально согласованным с ИХ полезного сигнала (С), т.е. соответствует критерию $\frac{C}{\Pi} \rightarrow \max$.

При $v \ll 1$ оптимальный ЗС является комбинацией зеркальных ИХ С и П. Его форма во многом зависит от коэффициента взаимной корреляции K_{cn} (7) между ИХ С и П. При отсутствии корреляции, например, когда спектры С и П разнесены по частоте, оптимальный ЗС определяется лишь видом ИХ С.

Потенциально достижимое отношение энергий С/П+Ш определяется выражением:

$$q = \frac{v_0}{v} \left(1 - \frac{K_{cn}^2}{1 + v} \right), \quad (9)$$

$$\text{где } v_0 = \frac{C_c R_0}{C_n R_n} = \frac{\mathfrak{E}_c}{\mathfrak{E}_n}; C_n = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_n^2(t) dt.$$

Таким образом, если энергия шумов существенно превышает энергию помех, т.е. при $v \gg 1$, то предельное отношение $\frac{C}{\Pi + \Pi}$ определяется лишь отношением энергий С и П на входе приемника.

Пусть ИХ С описывается затухающей колебательной функцией:

$$\Phi_c(t) = \Phi_{oc} e^{-\alpha(t + \tau_c)} \sin(\omega_c t + \varphi_c). \quad (10)$$

$$\text{ИХ П: } \Phi_n(t) = \sum_{k=0}^K \Phi_{nk} e^{-\beta_k(t + \tau_k)} \sin(\omega_{nk} t + \varphi_n). \quad (11)$$

$$\text{Тогда: } R_0 = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_{oc}^2 e^{-2\alpha(t + \tau_c)} \sin^2(\omega_c t + \varphi_c) dt \quad (12)$$

$$R_n = \sum_{k=0}^K \int_{t_i}^{t_j} \Phi_{nk}^2 e^{-2\beta_k(t + \tau_k)} \sin^2(\omega_{nk} t + \varphi_n) dt, \quad (13)$$

$[t_i; t_j]$ – интервал наблюдения сигнала; $\tau_c = t_j$ – момент наблюдения сигнала.

$$R_{cn} = \int_{t_i}^{t_j} \Phi_c(t) \Phi_n(t - \tau) d\tau; \quad (14)$$

$$\text{при } \tau = 0: R_{\text{сн}}(0) = \frac{1}{\tau_s} \sigma_{\text{сн}}^2$$

где $\frac{1}{\tau_s} \sigma_{\text{сн}}^2$ коэффициент взаимной корреляции ПС и СП на интервале $[\theta, \tau_s]$; $\sigma_{\text{сн}}^2$ – взаимная дисперсия С и П.

Запись (11) означает, что синхронная помеха формируется группой из k волн, занимающих диапазон $(\omega_s \div \omega_n)$, соответствующий ширине спектра излучаемого сигнала.

Вводя (10), (11), (12), (13) в (7) получим:

$$K_{\text{сн}} = \frac{\sum_{\alpha} \Phi_{\text{сн}} \Phi_{\text{м}} \int_{\tau_s} e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin(\omega_s t + \varphi_s) \sin(\omega_n(t - \tau_s) + \varphi_n) dt}{\Phi_{\text{сн}} \left[\int_{\tau_s} e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin^2(\omega_s t + \varphi_s) dt \right]^{1/2} \left[\sum_{\alpha} \Phi_{\text{м}}^2 e^{-2i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin^2(\omega_n t + \varphi_n) dt \right]^{1/2}} \quad (15)$$

Из (15) следует, что коэффициент взаимной корреляции сигнала и синхронных помех определяется лишь составляющей П с частотой, равной частоте сигнала, и с временным сдвигом τ_s , равным τ_s . Исходя из этого, (15) можно записать как:

$$K_{\text{сн}} = \frac{\int_{\tau_s} e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin(\omega_s t - \tau + \varphi_s) \sin(\omega_n t + \varphi_n) dt}{\left[\int_{\tau_s} e^{-2i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \sin^2(\omega_s t + \varphi_s) dt \right]^{1/2} \int_{\tau_s} e^{-2i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} dt} \quad (16)$$

После преобразования тригонометрических $[\sin^2(\omega_n t + \varphi_n) dt]^{1/2}$ функций, пренебрегая членами $(\omega_s + \omega_n)t$, получим приближенно:

$$K_{\text{сн}} \approx \frac{1}{2} \frac{\cos(\varphi_s - \varphi_n)}{(\alpha + \beta) R_0^{1/2} R_n^{1/2}} \left[e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} - e^{-i(\alpha+\beta)(t-\tau_s)} \right]. \quad (17)$$

Таким образом, можно сделать вывод о целесообразности увеличения отношения сигнал/шум в (9) путем генерации источником первичной сейсмической волны на частоте ожидаемого полезного сигнала. В этом случае коэффициент взаимной корреляции сигнала и СП будет минимальным, а отношение С/П+шум в (9) максимальным, зависящим от разности фаз сигнала и помех.

Далее рассмотрим особенности формирования оптимального зондирующего сигнала излучения при одновременной оптимизации передаточной функции приемника, определяемой алгоритмами первичной обработки принятого сигнала на выходе сейсмоприемника.

Решение задачи можно получить путем минимизации следующего функционала в частотной области [2]:

$$J = \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I^2(j\omega) \Phi_{\text{н}}^2(\omega) V^2(j\omega) d\omega + \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{\text{м}}^2(\omega) V^2(j\omega) d\omega \rightarrow \min, \quad (18)$$

$$\text{при ограничениях } \frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I(j\omega) V^*(j\omega) \Phi_{\text{с}}^*(j\omega) e^{-j\omega t_0} d\omega = D = \text{const}, \quad (19)$$

$$\frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I^2(j\omega) d\omega = P_{\text{с}} = \text{const}, \quad (20)$$

где $I(j\omega)$ – спектральная характеристика ЗС; $\Phi_{\text{с}}^2(\omega)$, $\Phi_{\text{н}}^2(\omega)$, $\Phi_{\text{м}}^2(\omega)$ – энергетические спектры сигнала, синхронной и шумовой помех соответственно; $[0; T]$ – интервал наблюдения сигнала; t_0 – время его задержки на выходе приемника; $V(j\omega)$, $V^*(j\omega)$ – основная и сопряженная передаточные функции приемника; D – амплитуда сигнала на выходе приемника; $P_{\text{с}}$ – средняя мощность ЗС.

В [2] была найдена оптимальная пара ЗС – приемник в следующем виде:

$$I_{\text{опт}}^2(j\omega) = \frac{T \Phi_{\text{м}}^2(\omega)}{2M \Phi_{\text{н}}^2(\omega)} \left[\sqrt{\frac{T \Phi_{\text{с}}^2(j\omega)}{\Phi_{\text{м}}^2(\omega)} - 2M} \right], \quad (21)$$

$$V_{\text{опт}}^2(j\omega) = \frac{\lambda_1^2 M T}{2 \Phi_{\text{н}}^2(\omega)} \left[\sqrt{\frac{T \Phi_{\text{с}}^2(j\omega)}{\Phi_{\text{м}}^2(\omega)} - 2M} \right], \quad (22)$$

$$M = \frac{1}{4\pi(1+\nu)} \int_{-\infty}^{\infty} \sqrt{\frac{T \Phi_{\text{с}}^2 \Phi_{\text{с}}^2}{\Phi_{\text{н}}^2 P_{\text{с}}}} d\omega; \quad (23)$$

$$\lambda_1^2 = \frac{\lambda_2}{M^2}, \quad (24)$$

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

$$\lambda_2 = \frac{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V^2(j\omega) \Phi_m^2(\omega) d\omega}{\frac{1}{2\pi T} \int_{-\infty}^{\infty} I^2(j\omega) d\omega} = \frac{P_m}{P_n} \quad (25)$$

$$\nu = \frac{T}{2\pi P_n} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Phi_m^2(\omega)}{\Phi_n^2(\omega)} d\omega$$

– нормированный коэффициент мощности по ЗС, оценивающий отношение мощностей шумовых и синхронных помех на входе приемника; P_m – мощность шума на выходе приемника.

Из анализа (11) следует, что оптимальный ЗС должен иметь энергетический спектр, обратный энергетическому спектру П и прямо пропорциональный корню квадратному из энергетического спектра шумов, поскольку

$$M \ll \sqrt{\frac{T\Phi_n^2(j\omega)}{\Phi_m^2(\omega)}}$$

Таким образом энергетический спектр П решающим образом влияет на форму оптимального ЗС. При этом передаточная функция приемника определяется как формой энергетического спектра П, так и шумов в обратной зависимости.

Временная форма зависимости оптимального ЗС и оптимальной импульсной характеристики приемника может быть получена обратным преобразованием Фурье из выражений:

$$I(j\omega) = \frac{\lambda_1 T \Phi_c^*(j\omega) V^*(j\omega) e^{-j\omega t_0}}{2(\Phi_n^2(\omega) V^2(j\omega) + \lambda_2)}$$

$$V(j\omega) = \frac{\lambda_1 T \Phi_c^*(j\omega) I^*(j\omega) e^{-j\omega}}{2[\Phi_n^2(\omega) I^2(j\omega) + \Phi_m^2 T]} \quad (26)$$

Отношение мгновенного значения мощности сигнала в момент времени t_0 к средней мощности синхронных помех и шумов на выходе приемника:

$$q = \frac{\left[\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} I V^* \Phi_c e^{j\omega(t-t_0)} d\omega \right]}{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} I^2 V^2 \Phi_n^2 d\omega + \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_m^2 V^2 d\omega} \quad (27)$$

Подстановка (25) и (26) позволяет получить верхнюю границу q при использовании оптимальной пары $I_{opt}(j\omega), V_{opt}(j\omega)$:

$$q_{opt} = \frac{T}{\pi(1+\nu)} \int_0^{\infty} \frac{\Phi_c^2(j\omega)}{\Phi_n^2(\omega)} d\omega \quad (28)$$

Таким образом, при сопоставимости энергий П и шумов целесообразна одновременная оптимизация пары ЗС-приемник.

При $\nu \ll 1$, т.е. в пренебрежении шумами по сравнению с П, выражение (28) еще раз подтверждает вывод о том, что отношение сигнал/СП зависит лишь от вида частотных характеристик полезных сигналов и синхронных помех и не зависит от мощности источника возбуждения. Это безусловно относится к вибрационным источникам сейсмических колебаний, для которых энергия излучаемого сигнала за время Т много больше энергии импульсного источника $\mathcal{E}_s \gg \mathcal{E}_a$, где

$$\mathcal{E}_s = P_s T; \quad \mathcal{E}_a = P_a \tau_a \quad (29)$$

P_s – мощность вибрационного источника; P_a – мощность импульсного источника; τ_a – длительность импульса; Т – время частотной развертки вибрационного источника.

Например, для вибрационного источника среднее значение энергии воздействия при $P_s \approx 10$ т, Т=10 с равно $\mathcal{E}_s = 100$ т. Для импульсного источника: $P_a = 100$ т, $\tau_a = 5$ мс, получаем $\mathcal{E}_a = 0,5$ т.с.

В то же время, по данным сравнительных полевых испытаний оба вида источника дают примерно одинаковые геофизические результаты по глубинности и отношению сигнал/помеха.

Этот парадокс не нашел объяснение в научной печати, хотя оба вида технологий используются в геофизической практике. Причем вибрационная разведка по объему полевых работ во всем мире существенно превышает объемы работ с импульсными источниками, используемыми в основном в России. Таким образом, требуется адекватное научное объяснение указанного экспериментального факта. На наш взгляд, большой энергетический запас вибрационных источников связан с необходимостью работать в условиях высокого уровня промышленных помех, некоррелированных с ЗС шумов, микросейсм и пр.

Для вибрационных машин постановка проблемы энергетической оптимизации также имеет смысл, поскольку, управление энергетическим спектром возбуждаемых сейсмических волн позволяет в ряде специфических задач существенно поднять отношение сигнал/помеха.

В работе [3] показана возможность частотного зондирования с использованием группы импульсных источников путем их поочередного возбуждения с периодом повторения равным периоду ожидаемой частоте отклика георазреза. В [4] изложены первые полевые результаты применения этого режима, подтверждающие его целесообразность.

Техническая реализация предельного отношения С/П+Ш (28) возможна путем разработки импульсного невзрывного источника специальной, «зеркальной» по отношению к ожидаемому полезному сигналу, формы, с фазой возбуждения, противоположной фазе используемых сегодня ИНИ, что не является три-

виальным.

Более простым решением является излучение сигнала путем повтора ударов ИНИ и согласованной обработки его в приемнике, являющейся сегодня в сейсморазведке штатной процедурой. В этом случае отношение (28) можно записать в виде:

$$q_{opt} = \frac{1}{\pi \left(1 + \frac{\nu}{n}\right)} \int_0^\infty \frac{\Phi_c^2(j\omega)}{\Phi_n^2(j\omega)} d\omega \quad (30)$$

где n – число ударов. Критерием оптимального числа ударов является отношение $\frac{\nu}{n} \ll 1$. При этом некоррелированными шумами можно пренебречь по сравнению с синхронными помехами. Минимизация коэффициента взаимной корреляции (17) путем реализации режима последовательного возбуждения группы ИНИ, описанного в [3, 4], и согласованная обработка в приемнике дают дополнительную возможность достичь предела (30) при $\nu \ll 1$.

При работе с вибрационными источниками, если не использовать режим пассивной паузы, вряд ли возможно оперативно оценить минимальное число активных воздействий n и оптимизировать отношение ν/n . В этом смысле преимущество за импульсными источниками, позволяющими оперативно управлять режимами их работы, производить их группирование, управлять диаграммой направленности и т.п.

Выводы

1. Рассмотрена задача оптимизации формы зондирующего сигнала (ЗС) импульсного невзрывного сейсмического источника и пары ЗС-приемник по критерию отношения мощностей сигнала и синхронной помехи плюс шум на входе и выходе сейсмоприемника и определен потенциально достижимый предел этого отношения.

2. При существенном превышении мощности помех над шумом предельное отношение сигнал/помеха плюс шум не зависит от мощности источника и определяется лишь усредненным по частоте отношением мощностей полезного сигнала и помех.

3. При малом отношении помеха/шум более простым вариантом максимизации отношения С/Ш является согласованная обработка сигналов в приемнике. И наоборот, в случае существенного превышения энергии синхронной помехи над шумом, целесообразно управление формой ЗС, например, путем управления частотой излучения группы импульсных источников, включаемых последовательно с временем задержки, соответствующем периоду повторения центральной частоты полезного сигнала.

Литература

1. Детков В.А., Шайдулов Г.Я. О возможности адаптивного управления импульсными невзрывными источниками. Приборы и системы разведочной геофизики. №4. 2007. С.14-16.
2. Шайдулов Г.Я., Импульсные электромагнитные системы поиска. Красноярск. КГТУ. 1999. 320 с.
3. Детков В.А., Шайдулов Г.Я. Частотно-импульсный режим возбуждения сейсмических волн группой импульсных невзрывных источников. Приборы и системы разведочной геофизики. №4. 2007. С.11-13.
4. Детков В.А., Шайдулов Г.Я. Некоторые результаты экспериментальных работ по управлению параметрами излучения импульсных невзрывных источников «Енисей». Приборы и системы разведочной геофизики. №3. 2009. С.27-30.



Саратов / 7 -9 сентября / 2010

Встречи на Волге



СКБ СЕЙСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Соблюдая добрую традицию, ОАО «СКБ СП» и Саратовское региональное отделение МОО «ЕАГО» приглашают коллег и друзей принять участие в научно-практической конференции «ГЕОТЕХ-2010», которая состоится 07-09 сентября 2010 г. в Саратове.

Программа конференции предусматривает проведение пленарного заседания, заседаний по секциям и выставки геофизической аппаратуры. Участники конференции получают возможность обменяться мнениями, обсудить результаты и перспективы использования последних разработок и новинок техники, технологии, программного обеспечения и методик выполнения сейсморазведочных работ.

В планах культурной программы знакомство с достопримечательностями Саратова и прогулка на теплоходе по Волге.

Участие в конференции платное. Счет на перечисление целевого взноса за участие в конференции будет выставлен после получения предварительной заявки на участие.

Заявки на участие просим направлять в оргкомитет конференции по факсу (8452) 64-14-32; (8452) 27-21-01 или по электронной почте - turlov@skbsp.ru, в свободной форме на бланке предприятия с указанием: Ф.И.О. участника конференции; должности; темы сообщения; размера площади на выставке и необходимого оснащения; типа номера в гостинице для бронирования; необходимости встречи на вокзале или в аэропорту.

**Уважаемые коллеги и друзья,
до встречи на Волжских берегах!**

Оргкомитет

Контактный тел.: (8452) 64-14-32; 570-505
Факс: (8452) 64-14-32; 27-21-01
e-mail: turlov@skbsp.ru

Совершенствование технологии геофизических исследований

Петров Ю.П., Костицын В.И., ГОУ ВПО «Пермский государственный университет», г. Пермь

Аннотация. В работе показано, что для повышения точности регистрации местоположения внешнего источника упругих колебаний необходимо знать время задержки входного сигнала сейсмической системой с учетом технических характеристик сейсμοприемников.

Abstract. It is shown in the work, that for accuracy enhancement of location registration of an external source of elastic vibrations, it is necessary to know delay time of input signal of the seismic system, adjusted for technical characteristics of seismoreceivers.

В работе [1] предложен способ определения местоположения забоя скважины. Источником акустического сигнала является долото буровой колонны, а измерение сигнала на земной поверхности осуществляется сейсμοприемниками. Этот способ применим и для нахождения возмущающего объекта на земной поверхности. Определив время распространения волн от источника и зная скорость прохождения волн до приемника, можно численно определить координаты возмущающего объекта.

Рассмотрим особенности работы приемника сейсмических волн.

В сейсμοприемниках [2] при измерении внешних воздействий всегда участвуют три элемента: вибрирующее и невибрирующее звенья (инерциальная масса, играющая роль неподвижной земли) и устройство для измерения движения вибрирующего звена относительно невибрирующего. Масса связывается с основанием прибора при помощи пружины и демпфера (рис. 1).

Масса 1 вместе с пружиной 2 и демпфером 3 образуют сейсмическую систему (СС). Такая СС реагирует на внешние воздействия, передаваемые на корпус преобразователя. Движение корпуса 4, который установлен на земной поверхности, относительно массы 1, выполняющей роль невибрирующего элемента, измеряется датчиком 5. Совокупность СС и датчика 5 образует преобразователь кинематических величин.

Колебания корпуса 4 преобразователя кинематических величин вызывают вынужденные колебания в сейсмической системе. Поскольку масса m сейсмического элемента 1 является инерциальным элементом, то она не может мгновенно реагировать на внешние воздействия. В зависимости от амплитуды и частоты

внешнего воздействия, сигнал, преобразуемый СС, всегда будет отличаться по фазе и амплитуде от внешнего воздействия [2].

Согласно закону Ньютона, уравнение динамики для вынужденных колебаний имеет вид:

$$m\ddot{x} + r\dot{x} + kx = -m\ddot{\zeta}$$

или

$$\ddot{x} + 2d\omega_0\dot{x} + \omega_0^2 x = -\ddot{\zeta}, \quad (1)$$

где $m\ddot{\zeta}$ – сила внешнего воздействия с ускорением $\ddot{\zeta}$; x – перемещение сейсмического элемента 1 относительно датчика 5; $d = \frac{r}{2m\omega_0}$ –

коэффициент относительного затухания, r – коэффициент трения, $\omega_0 = 2\pi\nu_0$, ν_0 – собственная частота колебаний массы m .

Полагаем, что воздействие ζ на корпус прибора 4 является гармоническим $\zeta = \zeta_0 \sin \Omega t$, где $\Omega = 2\pi\nu$ – циклическая частота внешнего воздействия, ζ_0 – амплитуда перемещения корпуса 4, ν – частота внешнего воздействия.

Общее решение уравнения (1) может быть представлено в виде

$$x = A_0 e^{-\delta t} \sin(\omega t + \phi_0) + \lambda \zeta_0 \sin(\Omega t + \phi), \quad (2)$$

где ϕ – сдвиг фазы между входным колебанием ζ и перемещением массы m , λ – коэффициент пропорциональности, зависящий от частоты Ω внешней силы и характеризует чувствительность СС, $\delta = r / 2m$ – коэффициент затухания. Величина $A(t) = A_0 e^{-\delta t}$ с течением времени убывает до нуля.

Установившиеся колебания происходят по гармоническому закону и с частотой Ω . Тогда решение уравнения (2) имеет вид

$$x = \lambda \zeta_0 \sin(\Omega t + \phi), \quad (3)$$

где $\lambda \zeta_0$ – амплитуда вынуждающего движения. Фаза ϕ определяется по формуле

$$\phi = \arctg \left(-\frac{2dq}{1-q^2} \right), \quad (4)$$

$$\text{где } q = \frac{\Omega}{\omega_0} = \frac{2\pi\nu}{2\pi\nu_0} = \frac{\nu}{\nu_0}.$$

Величина q называется фазо-частотной характеристикой сейсмической системы.

Фазо-частотная характеристика (рис. 2)

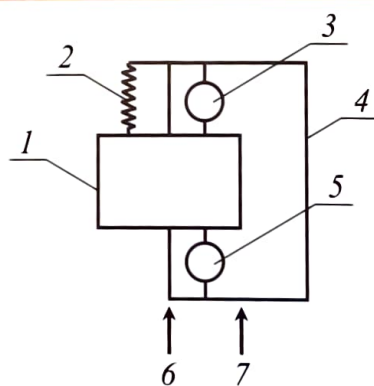


Рис. 1. Схема преобразователя кинематических величин: 1 – масса (невибрирующее звено), 2 – пружина, 3 – демпфер, 4 – корпус прибора (вибрирующее звено), 5 – датчик, 6 – входная ось преобразователя, 7 – направление передачи внешнего воздействия на корпус преобразователя

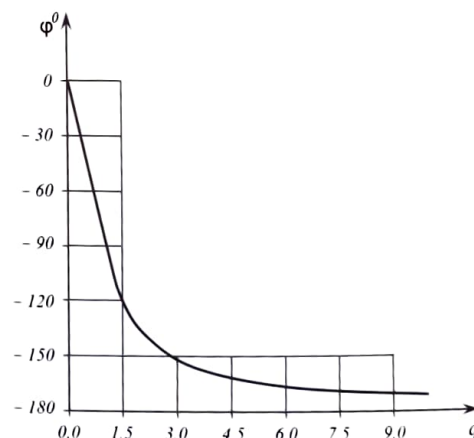


Рис. 2. Фазо-частотная характеристика сейсмической системы

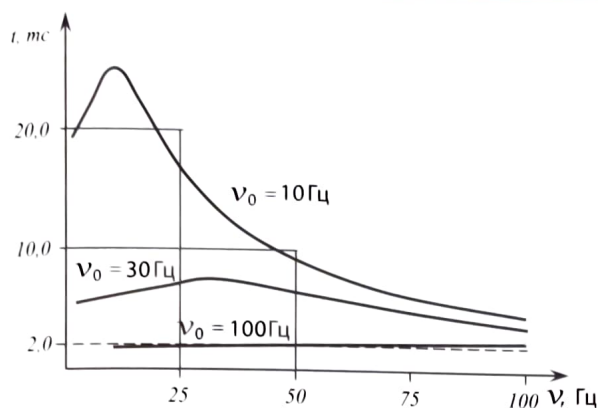


Рис. 3. Задержка по времени t прохождения сигналов различных частот ν для сейсμοприемников с собственной частотой $\nu_0 = 10, 30, 100$ Гц и коэффициентом относительного затухания $d = 0,6$

построена на основании формулы (4) и с учетом коэффициента относительного затухания $d = 0,6$, используемого в большинстве сейсμοприемников.

Если фазу передаваемого сигнала $\Omega t + \phi$ приравнять нулю, то из графика (рис. 2) можно определить задержку по времени прохождения сигнала частотой $\Omega = 2\pi\nu$ через СС:

$$\Omega t + \phi = 0,$$

$$\text{откуда } t = -\frac{\phi}{\Omega}.$$

На рис. 3 показана задержка по времени t передачи входного сигнала частотой ν для сейс-

моприемников с различной собственной частотой ν_0 сейсмической системы.

Отсюда следует, что наименьшее время задержки соответствует сейсμοприемнику с собственной частотой $\nu_0 = 100$ Гц (≈ 2 мс). Поэтому можно предполагать, что такое устройство оптимально при проведении сейсморазведочных работ.

В практике полевой сейсморазведки наиболее часто используются сейсμοприемники с собственной частотой $\nu_0 = 10$ Гц. Основные технические параметры сейсμοприемников – частота ν_0 и относительное затухание d даются согласно паспорту на сейсμοприемник с некоторой погрешностью. На рис. 4 показана фазо-частотная характеристика сейсмической системы сейсμοприемника, имеющего следующие параметры: $\nu_0 = (10 \pm 1)$ Гц, $d = (0,7 \pm 0,07)$

Из рис. 4 видно, что одному значению q соответствуют разные значения ϕ . Крайние значения фазы $\Delta\phi$ могут быть найдены из графика. Из уравнения $\Omega\Delta t + \Delta\phi = 0$ находится $\Delta t = \frac{-\Delta\phi}{\Omega} = -\frac{\phi_{d=0,7} - \phi_{d=0,63}}{2\pi\nu}$, что определяет временную ошибку (сдвиг) передачи сигнала с частотой ν . На рис. 5 приведена временная ошибка Δt , вычисленная на основании зависи-

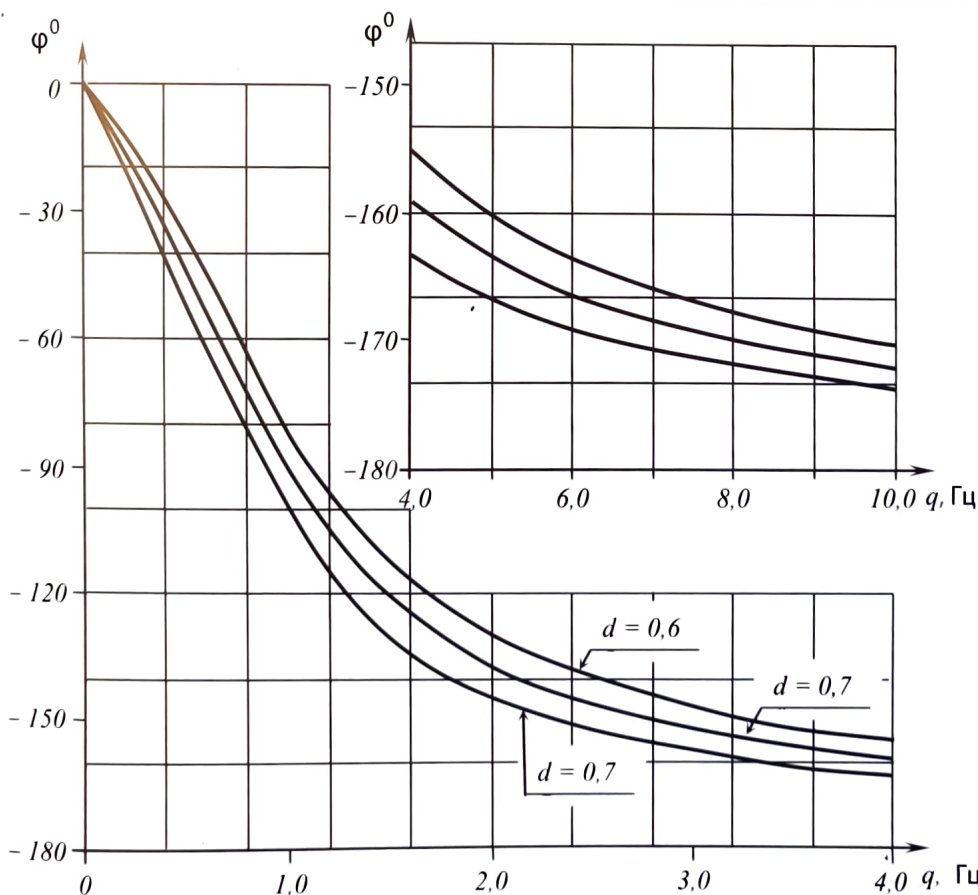


Рис. 4. Фазо-частотная характеристика сейсмической системы сейсμοприемника с частотой $\nu_0 = (10 \pm 1)$ Гц и затуханием $d = (0,7 \pm 0,07)$

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

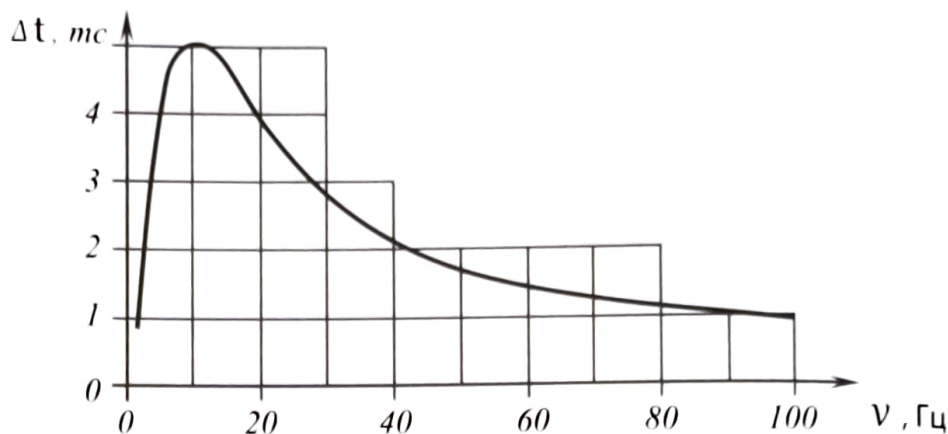


Рис. 5. Временная ошибка (сдвиг) передачи сигнала с частотой ν

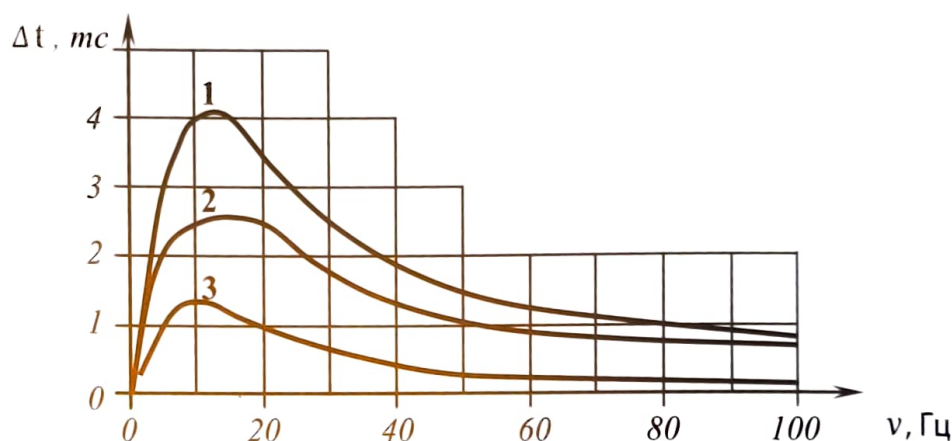


Рис. 6. Временная ошибка (сдвиг) передачи сигнала с частотой ν для сейсмоприемника в зависимости от разброса его собственной частоты ν и затухания d : 1 – GS-20-DX; 2 – для суперфонов при крайних значениях температур (-30°C , 50°C); 3 – СВ-10-II ПНППК (Пермь), $\nu = (10 \pm 0,25)$ Гц, $d = (0,7 \pm 0,02)$

мости, представленной на рис. 4.

Выполненные авторами исследования по определению временных ошибок наиболее часто используемых сейсмоприемников приведены на рис. 6.

Рассмотрим в качестве примера работу сейсмоприемника с собственной частотой $\nu_0 = (10 \pm 1)$ Гц и относительным затуханием $d = (0,7 \pm 0,07)$. Из рис. 3 видно, что для частоты проходящего сигнала $\nu = 20$ Гц время задержки сигнала составляет 20 мс, а временная ошибка передачи сигнала, в соответствии с рис. 5, ± 20 мс. Таким образом, время задержки передачи входного сигнала с частотой $\nu = 20$ Гц составляет $\approx (20 \pm 2)$ мс.

Время распространения волн зависит от скорости их распространения в каждом виде геологической среды. Предположим, что скорость волн в среде равна 2000 м/с. Умножив ее на время (20 ± 2) мс, получим (40 ± 4) м. Итак, если учитывать время задержки передачи входного сигнала, то необходимо из вычисленного расстояния до возмущающего объекта вычесть значение (40 ± 4) м.

Таким образом, временная характеристика сейсмоприемника становится пространственной

характеристикой и может восприниматься как ошибка установки сейсмоприемника. Временную задержку сигнала необходимо учитывать для всех частот ν , регистрируемых сейсмоприемником. Только при этом условии местоположение забоя скважины или нахождения возмущающего объекта можно определять с необходимой точностью. Отсюда следует вывод, что оптимальным вариантом для исключения временных ошибок является использование сейсмоприемников с собственной частотой $\nu_0 = 100$ Гц (рис. 3).

Список литературы

1. Петров Ю.П., 2005. Аппаратурная и методическая организация геоакустического каротажа в комплексе направленного бурения скважин // Приборы и Системы. Управление. Контроль. Диагностика. № 7. М.: Научтехлитиздат. 2005. С.51-54.
2. Петров Ю.П., 2007. Перспективы повышения точностных и сенситивных параметров сейсмоприемников // Приборы и Системы разведочной геофизики. № 1. Саратов. Саратовское издание ЕАГО, 2007. С.32-34.
3. Архангельский М.М., 1975. Курс физики. Механика. М.: Просвещение, 424 с.

От акселерометров к сейсмоприёмникам ускорения

Рыжов А.В., ГФУП "ВНИИГеофизика", г. Москва

Введение

Как известно [6], сейсмические сигналы пропорциональны ускорению колебаний изучаемой среды. И поэтому акселерометры имеют лучшую разрешающую способность в сравнении с широко применяемыми электродинамическими сейсмоприёмниками с выходными сигналами, пропорциональными скорости колебаний среды. Но, давно применяемые в сейсморазведке пьезоэлектрические акселерометры имеют такие недостатки, как: большая спектральная плотность шума (особенно, на низких частотах [6]), необходимость применения усилителей с источниками питания. Около десяти лет назад появились сведения о разработках компенсационных акселерометров КА-600, выполненного на основе прибора используемого в навигации [2], и VectorSeis, изготовленного фирмой Input/Output на основе технологии микроэлектромеханических систем (MEMS) [11] - для применения их в сейсморазведке в качестве приемников сейсмических сигналов.

Акселерометр, рассмотренный в [2], кроме высокой стоимости (на два порядка превышающей стоимость электродинамического сейсмоприёмника), имеет и другой недостаток, связанный с ограничением частотного диапазона справа частотой 100 Гц. Такой частотный диапазон подходит далеко не для всех задач, решаемых сейсмическими исследованиями. Причину ограничения частотного диапазона компенсационного акселерометра можно было бы установить по его передаточной функции. Но, полученные в литературных источниках [4, 7, 8] передаточные функции не соответствуют объективной реальности, так как в прямой цепи сигнального графа акселерометра отсутствует включённое параллельно ёмкостному преобразователю звено, отражающее генераторный режим электродинамического преобразователя, применённого в режиме двигателя в цепи обратной связи. К тому же, в источниках [4, 7] не учтена индуктивность обмотки электродинамического преобразователя, а в [7, 8] передаточная функция механического колебательного звена имеет ошибочный отрицательный знак, заимствованный, видимо, из геофизической литературы.

Передаточная функция компенсационного акселерометра

Рассмотрим работу компенсационного осевого акселерометра по электромеханической схеме, изображённой на рисунке 1. В схему акселерометра входят: корпус 1, основание 2, соединённое с инерционным телом 3 пружинами 4, две последовательно соединённые обмотки 5, установленные на инерционном теле и размещённые в воздушных кольцевых зазорах магнитных систем 6; ёмкостной преобразователь перемещений, включающий в себя генератор G , два сопротивления R , две конденсаторные пластины 7, установленные на инерционном теле, две торцевые поверхности магнитных систем 6, выполняющие функции конденсаторных пластин [2], и (аналогичное применяемому Раменским приборостроительным конструкторским бюро в своих акселерометрах) электронное устройство, состоящее из двух усилителей переменного напряжения, двух выпрямителей и дифференциального усилителя. Основание 2, пружины 4 и инерционное тело 3 с двумя обмотками 5 составляют механическое колебательное звено. (Механическое колебательное звено без обмоток 5, именуемое в [4] как чувствительный элемент, в современных приборах изготавливается по технологии MEMS в виде одной детали из монокристаллического кремния). Постоянная времени (далее в тексте постоянная) звена равна $\tau_0 = \sqrt{m/k}$ (m – масса инерционного тела, k – жёсткость пружин). Коэффициент преобразования ёмкостного преобразователя равен K_E . Его выходной сигнал поступает на вход усилителя с коэффициентом усиления K_U . Напряжение с выхода усилителя поступает на обмотки 5, соединённые с эталонным сопротивлением R_B . Обмотки вместе с магнитными системами

составляют электродинамический преобразователь, используемый в акселерометре как электрический двигатель с коэффициентом преобразования K_D . Обмотки имеют общее сопротивление R и общую индуктивность L . Ток, протекающий в цепи $L \rightarrow R \rightarrow R_B$, создаёт на сопротивлении R_B напряжение U_B , являющееся выходным сигналом акселерометра.

Приложив постоянную силу к корпусу компенсационного осевого акселерометра, находящегося в состоянии покоя (перемещение и скорость равны нулю), рассмотрим его равноускоренное движение в инерциальной системе координат. За отрезок времени, равный t , акселерометр переместится на величину $x_k = \ddot{x}_k t^2 / 2$ (где $\ddot{x}_k$ – ускорение акселерометра). Вместе с корпусом на ту же величину переместятся и верхние концы пружин, соединённые с основанием. В этот же момент времени инерционное тело, соединённое с нижними концами пружин, поступательно переместится на величину

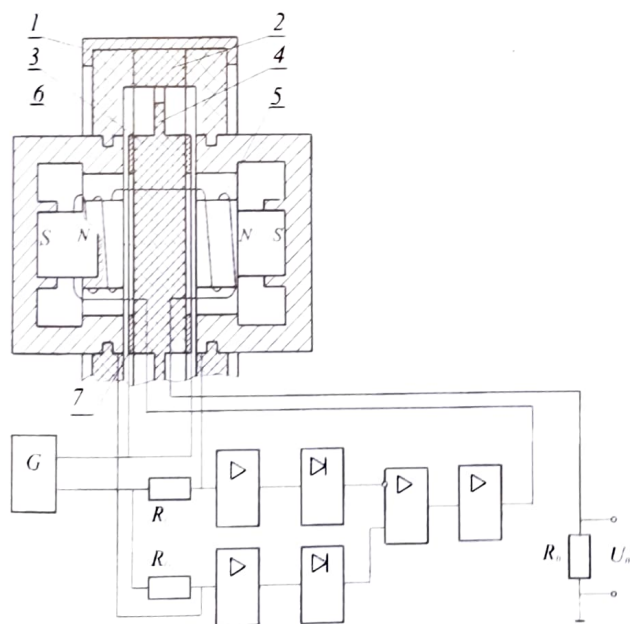


Рисунок 1. Электромеханическая схема компенсационного акселерометра

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ
СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

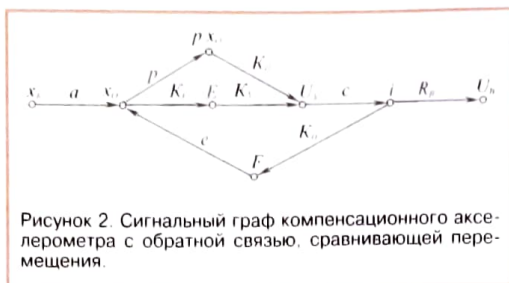


Рисунок 2. Сигнальный граф компенсационного акселерометра с обратной связью, сравнивающей перемещения.



Рисунок 3. Сигнальный граф компенсационного акселерометра с обратной связью, сравнивающей силы.

ну x_m , меньшую, чем перемещение корпуса. Емкостной преобразователь перемещений создаст на своём выходе напряжение, пропорциональное разнице перемещений x_k и x_m . Это напряжение, усиленное усилителем, будет складываться с напряжением, создаваемым обмотками, действующими как электродинамический преобразователь сейсмоприёмника. Сложенные напряжения создадут в цепи, состоящей из обмоток и сопротивления R_B , ток. Ток, протекая через обмотки и взаимодействуя с магнитной индукцией в воздушных кольцевых зазорах магнитных систем, вырабатывает силу, пропорциональную величине тока. Сила, воздействуя на инерционное тело, возвратит его в начальное положение относительно корпуса.

Проведённый анализ работы компенсационного акселерометра даёт возможность выделить в нём девять звеньев и, изобразив передаточную функцию каждого звена ветвью, составить его сигнальный граф, показанный на рисунке 2. В этом сигнальном графе ветвь a отображает передаточную функцию механического колебательного звена, приводимого в движение силой, воздействующей на корпус; ветвь K_E – передаточную функцию емкостного преобразователя перемещений; ветвь K_y – передаточную функцию усилителя; ветвь p – передаточную функцию дифференцирующего оператора; ветвь K_n – передаточную функцию и электродинамического преобразователя, и электрического двигателя; ветвь c – проводимость последовательной цепи, включающей индуктивность L и сопротивление R обмоток и сопротивление R_B ; ветвь R_B – эталонное сопротивление; ветвь e – передаточную функцию механического колебательного звена, приводимого в движение силой, прилагаемой к инерционному телу. Из сигнального графа акселерометра найдём его передаточную функцию, выраженную отношением напряжения на его выходе к перемещению корпуса:

$$W_1(p) = \frac{U_B}{x_k} = \frac{a \cdot (K_E K_y + K_n p) \cdot c R_B}{1 + (K_E K_y + K_n p) \cdot c K_n e} \quad (1)$$

В источниках [4, 7] рассматривают работу микроэлектромеханических систем с помощью структурных схем. В этих схемах входной сигнал представляет собой ускорение, а не перемещение, как в сигнальном графе на рисунке 2, и обратная связь вычитает не перемещения, а силы. Сигнальный граф компенсационного акселерометра, построенный на сравнении сил, изображён на рисунке 3. Передаточная функция этого сигнального графа имеет вид:

$$W_1(p) = \frac{U_B}{p^2 x_k} = \frac{me \cdot (K_E K_y + K_n p) \cdot c R_B}{1 + e \cdot (K_E K_y + K_n p) \cdot c K_n} \quad (2)$$

Передаточная функция ветви a получена в [5] и выражается формулой:

$$a = \frac{x_O}{x_k} = \frac{\tau_0^2 p^2}{\tau_0^2 p^2 + 1} \quad (3)$$

Передаточную функцию ветви b найдём из формулы:

$$c = \frac{i}{U_y} = \frac{1}{(R + R_B)(\tau_L p + 1)} \quad (4)$$

где i – ток, протекающий в цепи $L \rightarrow R \rightarrow R_B$, U_y – напряжение на выходе усилителя, $\tau_L = L/(R + R_B)$ – постоянная цепи $L \rightarrow R \rightarrow R_B$.

Передаточная функция ветви e известна и без демпфера имеет вид:

$$e = \frac{x_O}{F} = \frac{1}{k(\tau_0^2 p^2 + 1)} \quad (5)$$

Итак, получены передаточные функции всех звеньев, входящих в компенсационный акселерометр, и, подставив их в (1) или в (2), после преобразований найдём передаточную функцию акселерометра, выраженную отношением напряжения на его выходе к ускорению перемещения корпуса:

$$W_A(p) = \frac{U_B}{p^2 x_k} = \frac{K_E K_y m R_B \cdot (\tau_k p + 1)}{\Sigma_n} \quad (6)$$

$$\tau_k = \frac{K_n}{K_E K_y}$$

где

$$\Sigma_n = k(R + R_B)(\tau_L p + 1)(\tau_0^2 p^2 + 1) + K_E K_y K_n (\tau_k p + 1).$$

После преобразований многочлена Σ_n получим:

$$\Sigma_n = k(R + R_B) \left[\tau_0^2 \tau_L p^3 + \tau_0^2 p^2 + \left(\frac{K_n^2}{k(R + R_B)} + \tau_L \right) p + \frac{K_E K_y K_n}{k(R + R_B)} + 1 \right]$$

Т.к. $K_E K_y K_n$ во много раз больше $k(R + R_B)$, то выражение (6) примет вид:

$$W_A(p) = \frac{U_B}{p^2 x_k} = \frac{m R_B \cdot \tau_k p + 1}{K_n \Sigma_{n1}}$$

$$\text{где } \Sigma_{n1} = \tau_1^2 \tau_L p^3 + \tau_1^2 p^2 + \left(\frac{\tau_1^2}{\tau_0^2} \cdot \tau_L + \tau_k \right) p + 1,$$

$$\tau_1^2 = \frac{m(R + R_B)}{K_E K_y K_n}$$

Приравняем многочлен Σ_{n1} нулю и, подставив численные значения параметров ($m = 5 \cdot 10^{-3}$ кг; $R_B = 240$ Ом; $K_n = 10$ В/м/с; $K_E = 104$ В/м; $K_y = 10$; $R = 260$ Ом; $\tau_L = 2 \cdot 10^{-4}$ с), решим полученное уравнение третьей степени. Если τ_1 будет равно τ_0 , то разница между вычисленным значением действительного корня и постоянной τ_L будет составлять долю процента. И это позволяет нам, в первом приближении, представить многочлен Σ_{n1} в виде:

$$\Sigma_{n1} \approx (C_2 p^2 + C_1 p + 1)(\tau_L p + 1)$$

Перемножив многочлены, получим:

$$\Sigma_{\Pi \approx} \approx C_2 \tau_L p^3 + (C_2 + C_1 \tau_L) p^2 + (C_1 + \tau_L) p + 1$$

Из сравнения многочленов $\Sigma_{\Pi 1}$ и $\Sigma_{\Pi \approx}$ найдём:

$$C_2 = \tau_1^2; \quad C_1 = \tau_K.$$

Итак, в символьном виде передаточная функция компенсационного акселерометра может быть выражена формулой:

$$W_A(p) = \frac{U_B}{p^2 x_K} \approx \frac{m R_B}{K_{\Pi}} \cdot \frac{1}{\tau_1^2 p^2 + \tau_K p + 1} \cdot \frac{\tau_K p + 1}{\tau_L p + 1}. \quad (7)$$

Определяемая знаменателем передаточной функции (7) частота свободных колебаний механического колебательного звена, охваченного обратной связью, отличается от аналогичной частоты, вычисленной по передаточной функции (6), на долю процента.

Из (7) найдём АЧХ акселерометра:

$$A(\omega) = \frac{m R_B}{K_{\Pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \tau_1^2 \omega^2)^2 + \tau_K^2 \omega^2}} \cdot \frac{\sqrt{\tau_K^2 \omega^2 + 1}}{\sqrt{\tau_L^2 \omega^2 + 1}}. \quad (8)$$

Подставив значения параметров акселерометра в (8), построим его АЧХ, изображённую на рисунке 4 графиком 1. Вызванный недостаточной степенью затухания на частоте 100 Гц резонансный пик АЧХ сокращает верхнюю границу рабочего частотного диапазона акселерометра, по крайней мере, в три раза. Убрать резонансный подъём и, тем самым, расширить частотный диапазон акселерометра можно, создав в нём оптимальную степень затухания. Для того, чтобы ввести необходимое затухание в акселерометр, сначала рассмотрим его как известную в теории автоматического управления следящую систему воспроизведения угла и, построив логарифмическую амплитудную характеристику разомкнутой системы, обеспечим пересечение оси нуля децибел среднечастотной асимптотой этой характеристики под углом 20 дБ/декаду [9]. Это

достигается с помощью введения в следящую систему форсирующего и аperiodического звеньев с общей передаточной функцией:

$$b = \frac{\tau_D p + 1}{\tau_A p + 1}, \quad (9)$$

где τ_D – постоянная форсирующего звена $R_1 C$ (рисунок 5); τ_A – постоянная аperiodического звена $R_2 C$ (рисунок 5).

Передаточная функция усилителя скорректированного акселерометра будет выражаться произведением $K_y b$. Заменяя в (1) K_y на это произведение, получим:

$$W_1(p) = \frac{U_B}{x_K} = \frac{a(K_E K_y b + K_{\Pi} p) c R_B}{1 + (K_E K_y b + K_{\Pi} p) c K_{\Pi} e}. \quad (10)$$

Подставив значения передаточных функций ветвей сигнального графа скорректированного акселерометра в (10), после преобразований найдём его новую передаточную функцию:

$$W_A(p) = \frac{U_B}{p^2 x_K} = \frac{m R_B}{K_{\Pi}} \cdot \frac{\tau_A \tau_K p^2 + (\tau_D + \tau_K) p + 1}{\Sigma_A}, \quad (11)$$

где

$$\begin{aligned} \Sigma_A = & \tau_1^2 \tau_A \tau_L p^4 + \tau_1^2 (\tau_A + \tau_L) p^3 + \\ & + \tau_1^2 \left(1 + \frac{\tau_A \tau_K}{\tau_1^2} + \frac{\tau_A \tau_L}{\tau_0^2} \right) p^2 + \\ & + \left[\frac{\tau_1^2}{\tau_0^2} (\tau_A + \tau_L) + \tau_D + \tau_K \right] p + 1 \end{aligned}$$

Воспользовавшись изложенной в [5] методикой определения частот свободных колебаний и степеней затухания уравнения четвёртой степени, получим:

$$\begin{aligned} W_A(p) = \frac{U_B}{p^2 x_K} = \frac{m R_B}{K_{\Pi}} \cdot \frac{1}{\tau_1^2 p^2 + \tau_D p + 1} \cdot \\ \cdot \frac{\tau_A \tau_K p^2 + (\tau_D + \tau_K) p + 1}{\tau_A \tau_L p^2 + \left[\frac{\tau_1^2}{\tau_0^2} (\tau_A + \tau_L) + \tau_K \right] p + 1}. \quad (12) \end{aligned}$$

В результате проведённых исследований получена передаточная функция компенсационного акселерометра, соответствующая объективной реальности. Из (12) получены АЧХ акселерометра для различных значений постоянной τ_D . Эти АЧХ показаны на рисунке 4 графиками 2, 3, 4. Частотный диапазон акселерометра ограничен частотой, равной:

$$\omega_1 = \frac{1}{\tau_1} = \sqrt{\frac{K_E K_y K_{\Pi}}{m(R + R_B)}}. \quad (13)$$

Увеличивая коэффициент усиления K_y , можно увеличить ω_1 , но повышение K_y ограничено пределом, определяемым потерей устойчивости работы акселерометра [8]. Остаётся один путь расширения частотного диапазона – это уменьшение массы инерционного тела.

Анализ технических характеристик акселерометров

В трёхкомпонентном акселерометре Vector-Seis, разработанном фирмой Input/Output [11], вместо тяжёлого электрического установлен



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ

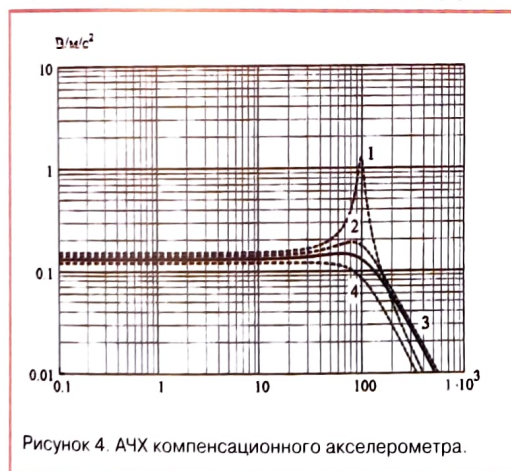


Рисунок 4. АЧХ компенсационного акселерометра.

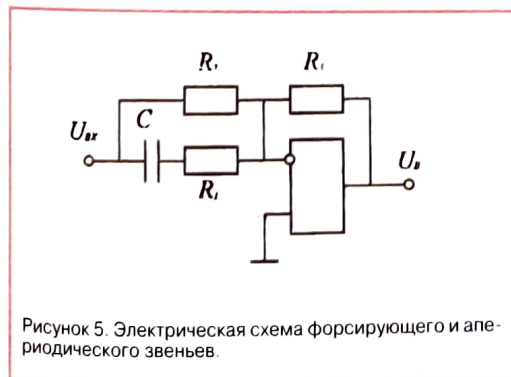


Рисунок 5. Электрическая схема форсирующего и аperiodического звеньев.

Таблица 1

Технические характеристики	Единица измерения	Обозначение акселерометра				
		AK-6	KA-600	Vector-Seis	DSU3-428	SF3000L
Частотный диапазон	Гц	0 - -	0-100	0-1450	0-800	0-1000
Коэффициент преобразования	В/м/с ²	0,12	0,4	-	-	0,12
Спектральная плотность шума	м ² /с ⁴ /Гц	-	-	1,9 · 10 ⁻¹³	1,6 · 10 ⁻¹³	1,6 · 10 ⁻¹¹
В полосе частот	Гц	-	-	3-375	10-200	10-1000
Наименьший входной сигнал	мкм/с ²	2	10	4,4*	5*	30*
Наибольший входной сигнал	м/с ²	100	-	6,9	5	30
Динамический диапазон	дБ	154*	-	124	120	120
КНИ	%	0,02	0,02	0,002	0,003	0,1
Масса	кг	0,05	0,042	0,4▲	0,43▲	0,46▲
Напряжение питания	В	±15	-	12	-	±(6-15)
Потребляемый ток	мА	-	-	-	-	<30
Потребляемая мощность	мВт	-	-	-	300	-
Температурный диапазон	от минус	60	45	40	40	40
	до плюс	70	75	70	70	85

Пояснения к таблице:

* - значение характеристики вычислено;

(-) - характеристика отсутствуют в рекламном листке;

▲ - масса трёхкомпонентного акселерометра.

лёгкий электростатический двигатель, состоящий из двух конденсаторных пластин, одной, размещённой на инерционном теле, другой - на корпусе. Уменьшение массы инерционного тела позволило увеличить частоту ω_1 (формула (13)) и получить частотный диапазон от 0 до 1450 Гц. Но при этом динамический диапазон акселерометра стал равным 124 дБ, а спектральная плотность шума - $1,9 \cdot 10^{-13}$ м²/с⁴/Гц. Аналогичные технические характеристики получила фирма Sersel в трёхкомпонентном акселерометре DSU3-428. У трёхкомпонентного акселерометра SF3000L, разработанного фирмой Applied MEMS по технической документации фирмы Input/Output, спектральная плотность шума на два порядка больше, чем у DSU3-428.

В таблице 1 приведены технические характеристики компенсационных акселерометров. По наименьшему входному сигналу и динамическому диапазону наилучшим среди компенсационных акселерометров является АК-6, разработанный предприятием "Авиаприбор".

Спектральные плотности шумов АК-6 и КА-600 неизвестны. Их приблизительную оценку можно дать по наименьшим воспринимаемым акселерометрами входным сигналам, равным $2 \cdot 10^{-6}$ м/с² и $10 \cdot 10^{-6}$ м/с². Возведём эти величины в квадрат, а затем, разделив на предполагаемые обуженные полосы частот от 1 до 100 Гц, получим: $4 \cdot 10^{-14}$ м²/с⁴/Гц и $2 \cdot 10^{-13}$ м²/с⁴/Гц. У АК-6 наименьшая спектральная плотность шума среди компенсационных акселерометров, но более, чем на порядок превышает техногенный фон Земли.

Как известно [10], шум сейсмометра составляют шумы механического колебательного звена, ёмкостного преобразователя и усилителя цепи обратной связи. Шум компенсационного акселерометра определяют шумы первых двух звеньев. А у низкочастотного усилителя, стоящего в прямой цепи акселерометра, в рабочей

полосе частот отсутствует шум, пропорциональный $1/f$.

Спектральную плотность шума механического колебательного звена можно рассчитать по формуле, полученной в [1] и преобразованной в [6] к виду:

$$S_{(f)} = 16\pi kT (f_0 \beta / m) \quad (14)$$

где k - постоянная Больцмана, T - абсолютная температура, f_0 - частота свободных колебаний, β - степень затухания.

Для того, чтобы механическое колебательное звено могло обеспечить спектральную плотность шума на уровне техногенного фона ($1 \cdot 10^{-15}$ м²/с⁴/Гц), выражение, стоящее в скобках в (14), должно быть не больше:

$$f_0 \beta / m = S_{(f)} / 16\pi kT =$$

$$= 4,8 \cdot 10^3 \text{ Гц/кг} \quad (15)$$

Это требование выполняется любым электродинамическим сейсмоприёмником на частоте свободных колебаний. Так в SM-11 с $f_0 = 30$ Гц, $\beta = 0,55$ и $m = 9,2 \cdot 10^{-3}$ кг получим

$S_{(f)} = 1,8 \cdot 10^3$ Гц/кг. Среди доступной информации отсутствуют сведения о значениях f_0 , β и m компенсационных акселерометров и только у SF3000L по АЧХ, приведённой в проспекте, можно установить значения частоты свободных колебаний 1000 Гц и степени затухания 0,7. Отнеся весь шум, создаваемый акселерометром, к механическому колебательному звену, подставим полученные значения f_0 , β в формулу (14) и вычислим массу инерционного тела: $1 \cdot 10^{-5}$ кг. Возможно такую же массу имеет и инерционное тело акселерометра VectorSeis, являющегося прототипом SF3000L. Частота свободных колебаний VectorSeis выше 1000 Гц и, видимо, равна верхней частоте частотного диапазона 1450 Гц, а спектральная плотность шума ниже, чем у SF3000L, на два порядка.

На столько снизить шум механического колебательного звена с массой инерционного тела $1 \cdot 10^{-5}$ кг можно, уменьшив в соответствии с формулой (14) во столько же раз степень затухания. В [1] приведены сведения об акселерометре, помещённом в глубокий вакуум (10^{-7} мм ртутного столба), позволивший получить добротность 200 (или степень затухания $2,5 \cdot 10^{-3}$). Спектральная плотность шума механического колебательного звена с частотой свободных колебаний 1450 Гц, степенью затухания $2,5 \cdot 10^{-3}$ и массой инерционного тела $1 \cdot 10^{-5}$ кг равна $7,5 \cdot 10^{-14}$ м²/с⁴/Гц. АЧХ акселерометра с малым затуханием имеет на частоте свободных колебаний острый резонансный пик, подобный показанному графиком 1 на рисунке 4, но на частоте 1450 Гц. (Возможно, по этой причине фирма Input/Output и не приводит в своём проспекте АЧХ акселерометра VectorSeis, а фирма Sersel - DSU3-428).

Верхняя частота частотного диапазона, требуемого для сейсмических исследований, равна 250 Гц. Поэтому, как и в пьезоэлектрическом акселерометре, частота свободных колебаний

механического колебательного звена должна быть в три раза больше. Тогда для звена с частотой свободных колебаний 750 Гц и степенью затухания $2,5 \cdot 10^{-3}$ из уравнения (15) найдём массу инерционного тела: $0,39 \cdot 10^{-3}$ кг. Оставив ту же степень затухания, но, уменьшив, частоту свободных колебаний механического колебательного звена до 300 Гц, получим верхнюю частоту частотного диапазона 100 Гц и массу инерционного тела: $0,16 \cdot 10^{-3}$ кг. Инерционное тело из монокристаллического кремния толщиной 0,38 мм со стороной квадрата 21 мм имеет массу $0,39 \cdot 10^{-3}$ кг, а со стороной квадрата 13,4 мм – массу $0,16 \cdot 10^{-3}$ кг. Размер инерционного тела можно уменьшить, утяжелив его, как это делают в Раменском приборостроительном конструкторском бюро. Проведённые оценки позволяют сделать вывод о том, что есть принципиальная возможность создать по технологии MEMS механическое колебательное звено с верхней частотой частотного диапазона 250 Гц и со спектральной плотностью шума $1 \cdot 10^{-15}$ м²/с⁴/Гц.

Найдём шум второго шумящего звена акселерометра – ёмкостного преобразователя. Как известно [3], у ёмкостного преобразователя потенциальная возможность измерения относительного перемещения инерционного тела и корпуса равна 10^{-14} м. В соответствии с рисунком 3 относительное перемещение инерционного тела и корпуса x_0 в разомкнутой системе равно ускорению корпуса акселерометра $p^2 x_k$, умноженному на передаточные функции ветвей m и e сигнального графа:

$$x_0 = p^2 x_k m e$$

Поставив значение ветви e из формулы (5), найдём приведённое ко входу относительное перемещение инерционного тела и корпуса x_0 ёмкостного преобразователя в виде ускорения корпуса акселерометра $p^2 x_k$:

$$p^2 x_k = k(\tau_0^2 p^2 + 1)x_0 / m = (\tau_0^2 p^2 + 1)\omega_0^2 x_0 \quad (16)$$

В акселерометрах с малым затуханием в рабочем диапазоне частот выражение $(\tau_0^2 p^2 + 1)$ в (16) равно единице. И тогда наименьшее измеряемое ускорение акселерометра с частотой свободных колебаний 1000 Гц будет равно $(2 \pi \cdot 1000)^2 10^{-14}$ м/с² = $4 \cdot 10^{-7}$ м/с². Вычисленное значение ускорения возведём в квадрат и, разделив на полосу частот в 1 Гц, получим: $1,6 \cdot 10^{-13}$ м²/с⁴/Гц (совпадает со спектральной плотностью шума акселерометра DSU3-428). Ёмкостной преобразователь в акселерометре с высокой частотой свободных колебаний, видимо, достиг предела точности измерения относительного перемещения инерционного тела и корпуса и не может обеспечить необходимую спектральную плотность шума.

Чтобы уменьшить спектральную плотность шума ёмкостного преобразователя до уровня техногенного фона Земли необходимо уменьшить частоту свободных колебаний механического колебательного звена. Так снизив эту частоту до 300 Гц, получим частотный диапазон от нуля до 100 Гц и спектральную плотность шума ёмкостного преобразователя $1,3 \cdot 10^{-15}$ м²/с⁴/Гц. Цифровой фильтр с полосой частот от 10 до 100 Гц позволит устранить шум, создаваемый частотами ниже 10 и выше 100 Гц.

Можно расширить частотный диапазон до 250 Гц, сделав эту частоту частотой свободных колебаний механического колебательного звена, и получить спектральную плотность шума ёмкостного преобразователя $6,1 \cdot 10^{-16}$ м²/с⁴/Гц.

Но на этой частоте необходимо обеспечить достаточную степень затухания звена. Как показывает расчёт, проведённый по формуле (14), механическое колебательное звено с частотой свободных колебаний 250 Гц и степенью затухания 0,5 должно иметь неприемлемую для технологии MEMS большую массу инерционного тела в $26 \cdot 10^{-3}$ кг.

Электродинамический сейсмоприёмник ускорения

В настоящее время появилась возможность получить в электродинамическом сейсмоприёмнике SM-11 (или GS-20DH) с помощью цифрового фильтра выходной сигнал, пропорциональный ускорению колебаний изучаемой среды, и АЧХ, согласованную со спектром сейсмических сигналов [6]. В [6] изображена спектральная плотность шума SM-11. На частотах 3 и 300 Гц она находится выше уровня техногенного фона Земли, на частотах 10 и 90 Гц располагается на уровне фона, а в полосе частот от 10 до 90 Гц находится ниже этого уровня, становясь наименьшей ($4 \cdot 10^{-16}$ м²/с⁴/Гц) на частоте свободных колебаний сейсмоприёмника 30 Гц.

Многие же задачи наземной сейсморазведки могут быть решены в частотном диапазоне от 10 до 100 Гц. С целью проверки возможности преобразования выходного сигнала электродинамического сейсмоприёмника SM-11 в выходной сигнал, пропорциональный ускорению колебаний в этом частотном диапазоне и реальному времени, была разработана программа с применением цифрового фильтра "yulewalk". На вход фильтра подавался сигнал в виде синусоиды с линейно возрастающей частотой от 10 до 100 Гц (сweep) и амплитудой, достигающей наибольшего значения на 30 Гц и падающей с крутизной 6 дБ на октаву влево и вправо от 30 Гц. Частота дискретизации сигнала и фильтра составляла 1000 Гц. Применённый фильтр позволяет устанавливать заданные значения частот и амплитуд произвольному количеству точек и получать на его выходе амплитудную характеристику выровненного сигнала с неравномерностью, не превышающей одного процента. При этом спектральная плотность шума начинает линейно возрастать с частоты 90 Гц, превышая техногенный фон, и становится равной $3 \cdot 10^{-15}$ м²/с⁴/Гц на частоте 100 Гц. Если же сейсмические исследования необходимо будет проводить в более широком частотном диапазоне, то спектральная плотность шума вне полосы частот от 10 до 90 Гц будет превышать техногенный фон на величины, приведённые в [6].

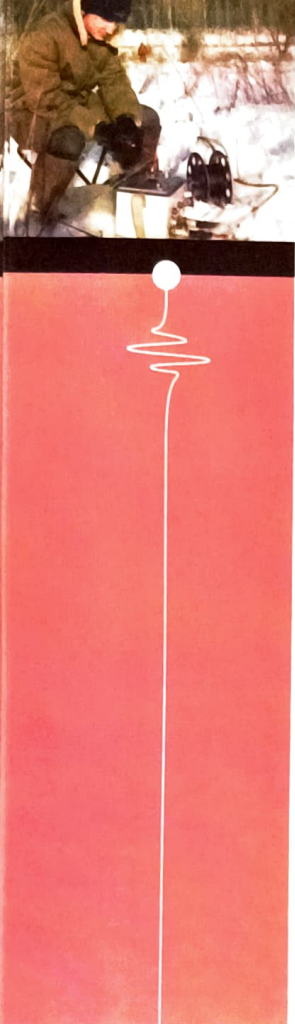
Этот недостаток устранён в разработанном во ВНИИГеофизике опытного образца электродинамического сейсмоприёмника трёхкомпонентных ускорений СТУ с частотным диапазоном от 3 до 250 Гц и спектральной плотностью шума $3 \cdot 10^{-15}$ м²/с⁴/Гц в этом диапазоне [6].

Заключение

Итак, как показал проведённый анализ, ни один из современных компенсационных акселерометров по достигнутым значениям динамического диапазона и спектральной плотности шума не отвечает требованиям наземной сейсморазведки к разрешающей способности приёмников сейсмических сигналов, включающей в себя: пропорциональность выходных сигналов ускорениям колебаний изучаемой среды в частотном диапазоне от 3 до 250 Гц, динамический диапазон в 160 дБ и спектральную плотность шума на уровне техногенного фона Земли, составляющего $1 \cdot 10^{-15}$ м²/с⁴/Гц [6]. Основное назначение этих акселерометров – высокоточное измерение низкочастотных, в том числе и постоянных, ускорений движущихся объектов.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ



щихся объектов. Это их главное достоинство не используется в сейсморазведке. Полученные же в акселерометрах VectorSeis, SF3000L и DSU3-428 частотные диапазоны от 0 до 1450, от 0 до 1000 и от 0 до 800 Гц, намного шире частотного диапазона, требуемого сейсморазведкой. Такие частотные диапазоны создают излишний большой шум в акселерометрах и его необходимо ограничивать полосовым фильтром с более узким частотным диапазоном.

Выявлена главная причина большой спектральной плотности шума компенсационного акселерометра с высокой частотой свободных колебаний. Это – емкостной преобразователь, применяемый в таком акселерометре на пределе точности измерения относительного перемещения инерционного тела и корпуса. Снизив частоту свободных колебаний до 300 Гц, можно получить частотный диапазон акселерометра от нуля до 100 Гц и спектральную плотность шума емкостного преобразователя $1,3 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}^4/\text{Гц}$.

В настоящее время требования наземной сейсморазведки может выполнить электродинамический сейсмоприёмник SM-11 (или GS-20DH) с выходным сигналом, пропорциональным скорости колебаний и преобразованным цифровым фильтром в выходной сигнал, пропорциональный ускорению колебаний изучаемой среды. Ширина частотного диапазона преобразованного выходного сигнала сейсмоприёмника может быть программно увеличена в зависимости от условий распространения колебаний в геологической среде, но с повышением спектральной плотности шума и уменьшением динамического диапазона 6 дБ на октаву добавляемых участков частотного диапазона.

Возможно, в будущем будет освоено производство электродинамического сейсмоприём-

ника трёхкомпонентных ускорений СТУ, обеспечивающего спектральную плотность шума $3 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2/\text{с}^4/\text{Гц}$ в частотном диапазоне от 3 до 250 Гц.

Литература

1. К. Аки, П. Ричардс. Количественная сейсмология. М.: Мир, 1983.
2. Коновалов С.Ф. и др. Опыт разработки малошумящего акселерометра // Гироскопия и навигация. – 2000. – № 3
3. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин // П. Энергоатомиздат, 1983.
4. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение. – 2007.
5. Рыжов А.В. К теории электродинамического сейсмоприёмника. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2007. – №1.
6. Рыжов А.В. Электродинамические сейсмоприёмники в российской геофизике. // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2008. – №3
7. Селезнёв В.П. Навигационные устройства. – М.: Оборонгиз. – 1974.
8. Синельников А.Е. Низкочастотные линейные акселерометры. Методы и средства поверки и градуировки. – М.: Издательство стандартов. – 1979.
9. Теория автоматического управления. Часть 1. Под редакцией Воронова А.А. – М.: Высшая школа. – 1977.
10. Трифонов Н.В. Вопросы построения чувствительной сейсмической аппаратуры. // Сейсмические приборы. – 1988. – Выпуск № 20.
11. Maxwell P., Tessman J., Reichert B. Design through to production of MEMS digital accelerometer for seismic acquisition. // First break. – 2001. – Volume 19.3.

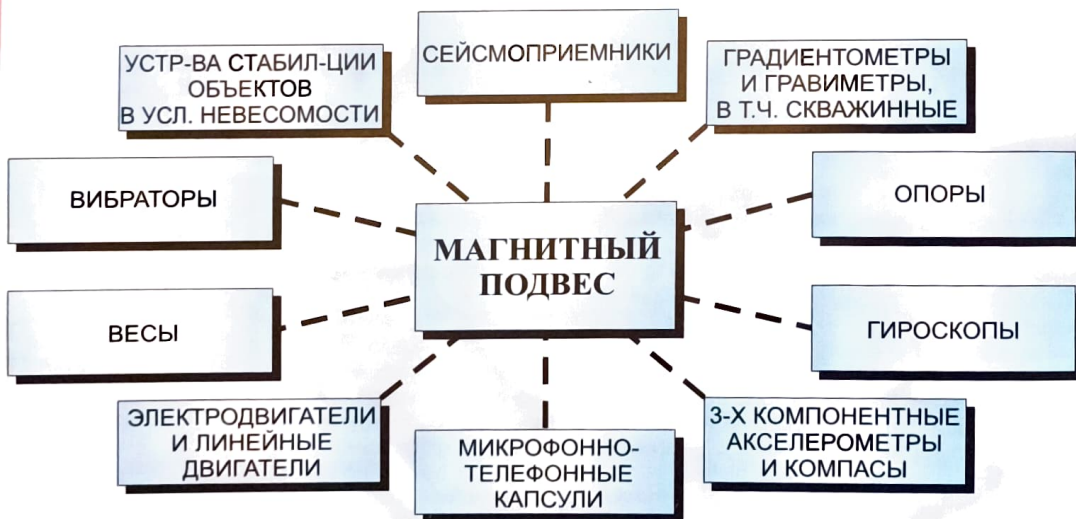


**ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
и ООО "ИОЛА-К" (г.Москва)**

**ПРИГЛАШАЮТ К СОТРУДНИЧЕСТВУ
Организации для проектирования
и серийного производства**

ИОЛА-К

УСТРОЙСТВ НА МАГНИТНЫХ ПОДВЕСАХ



Группой специалистов под руководством д.тех.н., проф. Петрова Ю.П.:

- ✓ разработана оригинальная математическая модель магнитных подвесов;
- ✓ создана методика расчета магнитных цепей;
- ✓ разработаны макеты устройств.

Преимущества устройств на магнитных подвесах:

- ✓ малые геометрические размеры;
- ✓ низкое энергопотребление;
- ✓ широкие функциональные возможности;
- ✓ высокая надежность.

Контактная информация:

тел.: (342) 245-00-35, 242-32-80

(495) 579-35-22

email: amper-master@bk.ru

Зачем нужен супервайзер?

Мифы и реалии сейсморазведки

Феокистов А.В., Феокистов В.А., г.Саратов

Количество отечественных и зарубежных публикаций, посвященных проблемам менеджмента качества сейсморазведочных работ весьма велико. Однако эти публикации противоречивы и, к сожалению, не лишены недостатков, а порой и откровенных заблуждений. Это замечают супервайзеры при сопровождении сейсморазведочных да и любых других геологоразведочных работ.

Можно отметить несколько устойчивых мифов, наиболее часто встречающихся в публикациях даже специализированных журналов.

Миф 1. *Высокое качество результатов сейсморазведочных работ можно обеспечить жестким Геологическим Заданием (ГЗ), предусматривающим все интересы Заказчика и перечисляющим все параметры технологии сбора, обработки и интерпретации информации с априори известным результатом.*

На самом деле это не так. Ведь составить такое Геологическое Задание (ГЗ) можно лишь по завершении проектирования работ с учётом знания всех особенностей конкретной площади и обоснования каждого из многочисленных параметров технологии работ, гарантирующей результатов. Проектирование сейсморазведки 2Д, а тем более 3Д, требует специальных знаний, анализа результатов предшествующих работ и некоторыми экспертами считается самым сложным моментом, определяющим успех ГРР, в целом [1]. Большая часть нефтяных компаний (НК) вывела сейсморазведочные, обрабатывающие, интерпретирующие подразделения и вычислительные центры из своих структур, как непрофильные сервисы и у Заказчика, как правило, специалистов по планированию 3Д-съёмки нет. Жёсткое ГЗ при конкурсном выборе подрядчиков не может быть составлено заранее, без нарушения равенства прав всех претендентов. При наличии ГЗ в конкурсных требованиях, Заказчик лишен возможности получения более эффективного варианта технологических решений при рассмотрении разных предложений конкурирующих Подрядчиков, а Подрядчик и Супервайзер не могут отвечать за результат решения геологической задачи и отвечают лишь за соответствие фактической и проектной технологий работ.

Миф 2. *Отраслевым стандартом качества работ нужно считать лишь утверждённый отраслевым министерством и обязательный для исполнения руководящий документ.*

Миф сформирован вокруг «Инструкции по сейсморазведке», утверждённой в 1986 году, которая для надзорных органов и ряда консервативных геофизических Подрядчиков имеет приоритет над новой «Технической инструкцией по наземной сейсморазведке при проведении работ на нефть и газ», составленной под эгидой ЕАГО в 1999 году, но так и не зарегистрированной МинЮстом в связи с изменениями в законодательстве РФ. Для настоящего специалиста важно, что новая инструкция по сейсморазведке существенно «продвинута» в части применения современных технологий объёмной (3Д), мониторинговой (4Д), многокомпонентной/многоволновой съёмки, а также скважинной сейсморазведки в различных модификациях. Особенно заметны отличия старой и новой инструкций в

части характеристики методик обработки и интерпретации. Если старая инструкция завершала работу по сейсмическому проекту построением лишь структурной модели среды, то новая инструкция рекомендует построение единой совокупности структурных, стратиграфических, структурно-формационных, литолого-фациальных, емкостных и фильтрационных моделей на всех этапах работ (от регионального до разведочного). Очевидно, что с позиций логики и здравого смысла отраслевым стандартом нельзя считать устаревшую инструкцию 1986 года, потому что она утверждена, тем более что новая инструкция была обсуждена геофизическим сообществом, одобрена ведущими специалистами и организациями, рекомендована Евро-Азиатским Геофизическим Обществом (ЕАГО) для внедрения в сервисных компаниях в добровольном порядке внутренними приказами.

Миф 3. *Выбор конкурсных подрядчиков на каждый из видов геофизических работ позволяет повысить их качество и уменьшить стоимость.*

Вроде логично. Выбираем лучших по видам деятельности. Получаем сокращение сроков и уменьшение стоимости каждого вида работ по конкурсным условиям. Достигаем решение геологических задач через жесткие геологические задания по каждому виду работ. Но на практике получаем потерю качества на всех стыках этапов при передаче результатов работ от одного подрядчика другому. Причина кроется в несостоятельности мифов 1 и 2. Если снижение стоимости и удаётся достичь, то потери качества, как правило, перекрывают это достижение. Кроме того, Подрядчикам из разных компаний труднее найти общее решение спорных вопросов и легче «спихивать» свои недоработки на смежника по технологической цепочке.

Миф 4. *Супервизия нужна только при проведении полевых работ. Главное – обеспечить качество полевых работ.*

Это утверждение стало мифом после того, как в попытках снижения стоимости работ полевой этап начали технологически «облегчать» с упованием на компенсацию потери «полевого качества» обработкой на ЭВМ. Граф обработки усложнялся, затраты машинного времени росли быстрее, чем быстроедействие процессоров и алгоритмов. Стоимость программных пакетов стала превышать стоимость вычислительных машин и оборудования. По данным К. Линера в США стоимость этапа обработки 3Д сейсморазведки составляет 15-20% от общей стоимости 3Д-работ, а стоимость этапа интерпретации достигает 25%. В России, согласно устаревшим нормативам, действующим поныне и контролируемым Росгеолэкспертизой, стоимость камеральных работ (обработки и интерпретации вместе) не может превышать 5% от стоимости полевых работ. Поэтому если выбирается один подрядчик на весь цикл работ, то он ещё может провести внутреннее перераспределение стоимости работ по этапам, относительно сметы, прошлой экспертизы. Подрядчиков на камеральные этапы низкая цена заставляет фиксировать перечень процедур (граф) обработки и интерпретации в ГЗ и считать задание выполненным, если весь материал «прошёл согласованный граф» и получена структурная модель в один

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

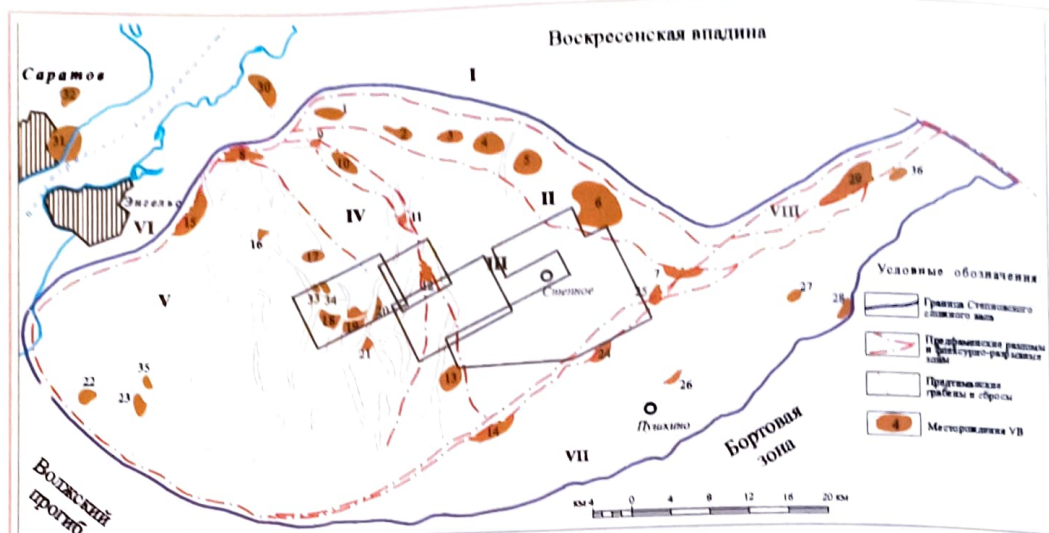
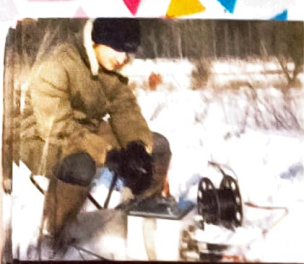


Рис.1. Тектоническая схема ССВ по данным Шебалдина В. П., 2008г. Предфаменские структурные блоки: I - Воскресенский, II - Фурмановско-Степновский, III - Отроговский, IV - Полянско-Приволжский, V - Грязнушенский, VI - Покровский, VII - Васнецовский, VIII - Мечетинский. Месторождения: 1 - Старицкое, 2 - Фурмановское, 3 - Сусловское, 4 - Восточно-Сусловское, 5 - Первомайское, 6 - Степновское, 7 - Любимовское, 8 - Южно-Генеральское, 9 - Полянское, 10 - Луговское, 11 - Южно-Советское, 12 - Осиновское, 13 - Приволжское, 14 - Розовское, 15 - Пионерское, 16 - Грязнушенское, 17 - Южно-Грязнушенское, 18 - Стрелетовское, 19 - Алексеевское, 20 - Восточно-Алексеевское, 21 - Южно-Алексеевское, 22 - Терновское, 23 - Квасниковское, 24 - Васнецовское, 25 - Северо-Васнецовское, 26 - Горчаковское, 27 - Тамбовское, 28 - Соболевское, 29 - Мечетинское, 30 - Генеральское, 31 - Соколовогорское, 32 - Гусельское, 33 - Заречное, 34 - Звёздное, 35 - Восточно-Терновское, 36 - Преображенское. Чёрным контуром даны планы 3Д-съёмки (слева-направо: Стрелетовско-Алексеевская, Осиновская, Северо-Приволжская, Юго-Восточная площади).

проход (согласно Инструкции по сейсморазведке 1986 года). Но один цикл «прохождения графа» может дать удовлетворительную модель только в самых простых сейсмогеологических условиях. В сложных условиях, где опытный и грамотный супервайзер необходим более всего, нужно итерационное построение геологической модели с многократным повторением циклов обработки-интерпретации, что нельзя учесть в ГЗ. Супервизия при обработке-интерпретации важнее, чем при контроле полевых работ, учитывая, что геологическая задача решается именно на конечном этапе и её решение всегда неоднозначно (многовариантно).

Миф 5. Супервайзеры со стороны Заказчика и Подрядчика руководствуются едиными отраслевыми стандартами. Один из них лишний.

Этот миф был бы правдой, если бы существовали единые регламенты, всеми трактуемые одинаково и выполняемые без отклонений. Неоднозначность концептуального видения регламентов и конечных целей Заказчиком [2] и Подрядчиком [1, 3, 4] видны из простого сравнения указанных статей и провоцируются мифами 2 и 4. Соревнование супервайзеров (от Подрядчика и от Заказчика) в такой ситуации приводит к торжеству качества, как соревнование защиты и обвинения к торжеству закона в судебном процессе [5].

Миф 6. Супервайзером может работать любой специалист со стажем более 10 лет. Эта должность-синекура для пенсионеров-геофизиков.

В англо-русском энциклопедическом словаре терминов разведочной геофизики супервайзер приравнивается к должности начальника экспедиции [6], то есть должен хорошо знать весь спектр полевых и камеральных геофизических работ. В России роль супервайзера аналогична, так как ему предоставлено право приостанавливать работу сейсмической партии, а это, без малого, около ста работников нескольких специализированных отрядов. Остановка партии - крайняя мера, обусловленная грубыми наруше-

ниями отраслевых стандартов работ, ГЗ и проекта, утверждённых Заказчиком. Хороший супервайзер не только не допускает грубых нарушений в действиях Подрядчика, но и оказывает существенную помощь предприятию Подрядчика в качестве техрука и методиста-консультанта. Главное - хорошее знание отраслевых стандартов и бескомпромиссное обеспечение их соблюдения обеими сторонами.

Миф 7. Супервайзер не нужен при контракте с иностранным подрядчиком.

Миф основан на созданном западными компаниями имидже законодателей стандартов качества отраслевых работ. Однако создать стандарт, а тем более имидж, это полдела. Труднее доказывать его своими работами везде и всегда. Именитые западные компании работали в различных районах России и не всегда «держали марку фирмы», что обсуждалось на ежегодных «Гальперинских Чтениях» и научно-практических конференциях по «Геомодели», включая примеры из Саратовского региона [7-9].

Ниже приведен пример, иллюстрирующий проявление вышеперечисленных мифов в реальной ситуации.

Отроговский прогиб в восточной части Степновского сложного вала длительное время не изучался сейсморазведкой в силу неблагоприятных сейсмогеологических условий работ в центральной его части (к юго-западу от Степновского месторождения и на самом месторождении). Специалистами ОАО «Саратовнефтегеофизика» зона полного отсутствия сейсмических отражений от палеозойских границ была закартирована и не рекомендована к производственным работам без опытно-методических работ. С приходом в Саратовский регион английских специалистов из ТНК-ВР все детальные работы стали проводить средствами пространственной сейсморазведки МОГТ-3Д. Ввиду успешности сейсморазведки 3Д на Стрелетовско - Алексеевско - Осиновском участке [10] (открыты 7 месторождений на площади 80 кв.км., рис.1).

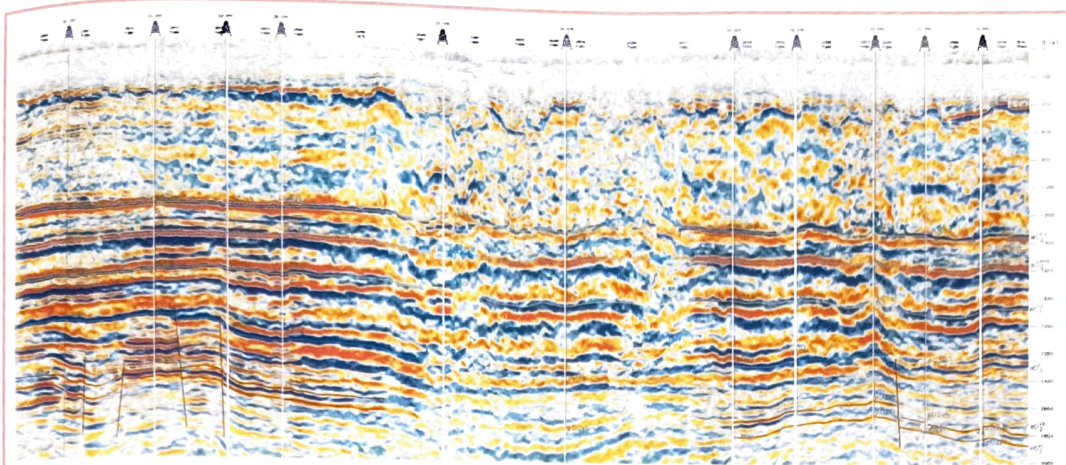


Рис. 2. Сечение глубинного куба WesternGeco по линии всех глубоких скважин на Северо-Приволжской площади (35, 33, 23, 38, 25, 30, 24, 29 –Отгоровских, 20, 21, 18-Приволжских – рис. 5).

ТНК-ВР в 2004 году были заказаны работы 3Д на Северо-Приволжской площади (100 кв.км), где сейсморазведкой 2Д ОАО «Саратовнефтегеофизика» уже были подготовлены под бурение Воронинская и Северо-Приволжская структуры (между Осиновским и Приволжским месторождениями).

Геологическое задание жёстко определяло параметры методики 3Д-съёмки соседнего участка (миф 1). Подрядчики выбирались в соответствии с мифом 3. Полевые работы ОАО «Тюменнефтегеофизика» были приняты супервайзерами от ЗАО НПЦ «ГеоСейсКонтроль» в объёме 100,44 кв.км с хорошим коэффициентом качества $k=0,94$ по мифам 2 и 4.

Обработка проводилась в специализированном центре ТНК-ВР компанией WesternGeco. Технично-методический уровень работ соответствовал самым высоким и современным мировым стандартам (комплекс Omega, CIP-томография и глубинная миграция до суммирования). Продолжительность обработки (более 10 календарных месяцев) «в разы» превышала сроки полевых работ, признана исполнителями кондиционной без супервизии (миф 7). Результаты обработки были переданы следующему Подрядчику по интерпретации из ОАО «Башнефтегеофизики».

По мнению рецензента из ОАО «Башнефтегеофизики» В.Ф. Селянина WesternGeco не справился с обработкой. Анализ параметров волнового поля 3Д-кубов данных, полученных из специализированного центра обработки WesternGeco,

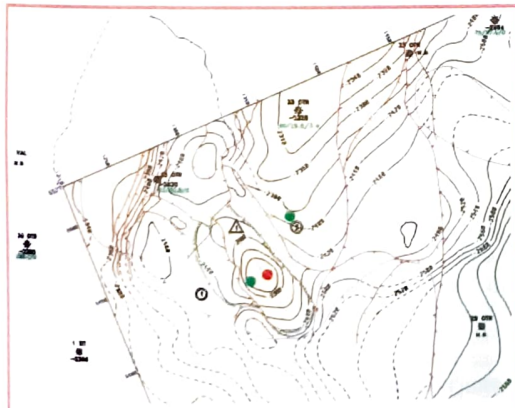


Рис. 3. Северо-Приволжская и Воронинская структуры по материалам ОАО «Башнефтегеофизика». Красная точка - рекомендуемая под бурение. Зелёные точки-рекомендуемые скважины по данным ОАО «Саратовнефтегеофизика», МОГТ-2Д.

со, свидетельствует о существенной некондиционности глубинного и временного полей на 50% изученной территории (рис. 2, мифы 5-7).

Интерпретация проводилась чуть более трёх месяцев и завершилась рекомендацией: «Невысокое качество сейсмических материалов, полученных на Северо-Приволжском участке не позволило получить полное представление о его нефтеперспективности. Поэтому целесообразно куб переобработать - довести до конца стандартную обработку, а также получить альтернативный вариант обработки с применением глубинной миграции до суммирования». Воронинская структура признана не перспективной. Северо-Приволжская структура была подтверждена, но точка рекомендуемой скважины специалистами ОАО «Башнефтегеофизики» была смещена (рис.3, 4), ресурсы по категории С3 увеличены, в связи с чем составлено дополнение к паспорту.

В рекомендованной точке (рис.3, 4) пробурена поисковая скважина №1 Северо-Приволжская. Расхождения сейсморазведки и бурения по модели 3Д-съёмки менялись от -12 м (подошва каширских отложений) до -63 м (подошва воробьёвских отложений). Это свидетельствует об ошибках в интерпретационной модели. С целью выяснения столь значительных невязок и отсутствия продукции были задействованы средства из арсенала «промысловой сейсмики» [8].

ОАО НПЦ «ГЕРС» проведены исследования ПМВСП - НВП в поисковой скважине №1 Северо-Приволжской современным многоприборным и многокомпонентным цифровым зондом. Из четырёх геологических задач, поставленных Заказчиком, решена была только одна традиционная: построение скоростной модели и стратиграфическая привязка волнового поля ВСП, хотя сами исполнители и их субподрядчик - ООО «Геовёрс» посчитали ГЗ выполненным полностью. Из-за нарушения стандарта промысловой сейсмики, отсутствия внутренней и внешней супервизии Подрядчиком не решены такие важные геологические задачи, как:

- увязка скважинной геолого-геофизической и наземной сейсмической информации, стратиграфическая привязка целевых горизонтов (МОГТ) и продуктивных интервалов разреза с выявлением причин расхождения данных сейсморазведки и бурения;
- прогноз скоростной модели ниже забоя скважины на максимально достижимую глубину;
- уточнение в азимутах профилей НВП эле-

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



ментов геологического строения околоскважинного пространства, построение структурных схем околоскважинного пространства, разрывных нарушений, в том числе и малоамплитудных, латеральных изменений литолого-фациальных свойств пластов, направлений трещиноватости и определения анизотропии. Структурные построения были сделаны, но как уточнение модели их нельзя было рассматривать, так как оценка точности измерений и достоверности интерпретации не проводилась, а сама модель ВСП-НВП резко расходилась с наземной сейсморазведкой.

Работы по изучению Отроговского структурного блока средствами 3Д сейсморазведки были продолжены в юго - восточном направлении от Северо-Приволжской площади. Была применена та же система наблюдения. Главное методическое новшество состояло в замене приповерхностных вибраторов на взрывной источник с оптимальной глубины (под ЗМС). Подрядчик на весь цикл работ был выбран единый – ОАО «Ставропольнефтегеофизика». При проектировании специалисты Подрядчика сразу на всю площадь заложили фиксированную глубину взрывных скважин, что нельзя делать при изменчивой зоне малых скоростей. Сроки камеральных работ были назначены в два раза меньше (7 месяцев), чем шла обработка в WesternGeco и интерпретация в ОАО «Башнефтегеофизика» (13 месяцев), при более чем двукратном увеличении площади работ (220 кв.км). Естественно, эти сроки реализовать не удалось и после неоднократных корректировок календарного плана. Работы растянулись на 17 месяцев и сдача отчета в фонды прошла с двухгодичной задержкой.

Для ускорения получения результатов работ и снижения неоднозначности локальных моделей, а значит и рисков бурения «сухих» скважин, Заказчик был вынужден параллельно подключить ещё одного обработчика и интерпретатора съёмки 3Д на Юго - Восточной площади – ЗАО ФИРМА «РОЙ ИНТЕРНЭШНЛ КОНСАЛТАНСИ, ИНК.».

Конечный результат проверялся по оценке точности и достоверности совмещения волновых картин во временной и глубинной шкале с геологическими маркерами по сечениям кубов через точки скважин. Линии сечений показаны на рисунке 5.

Обработка фирмой по нижним горизонтам, включая отражающие горизонты додевонских отложений, выглядит «красивее», чем у ставропольцев. Но без верхних горизонтов структурные построения целевых палеозойских границ теряют точность и достоверность. Верхние горизонты в мезозойской толще надёжнее получились у основного исполнителя, потому что ему пришлось под давлением супервайзера привлечь все материалы структурного, глубокого бурения

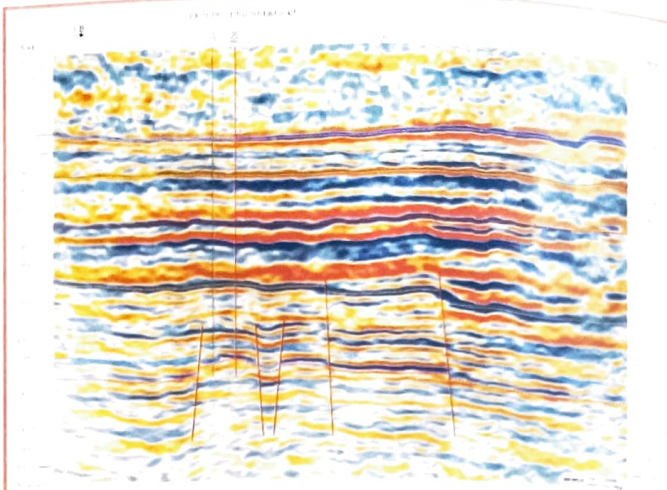


Рис.4. Сечение 3Д-куба WesternGeco с указанием точек рекомендуемых скважин на Северо-Приволжской структуре (зелёная по 2Д, красная по 3Д)

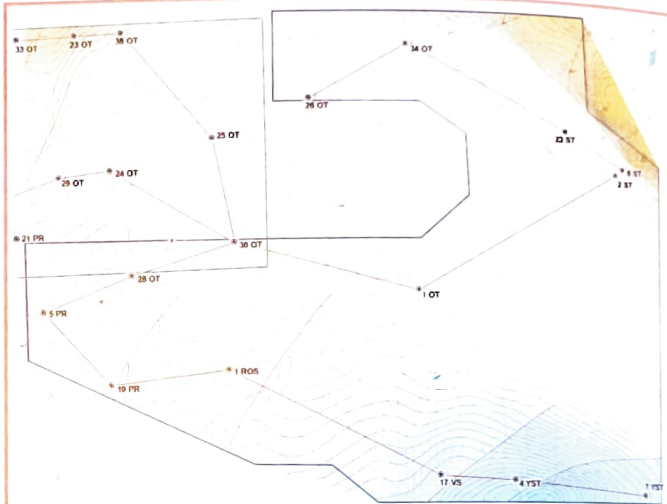


Рис.5. Совмещение 3Д-съёмок Северо-Приволжской (зелёный контур) и Юго-Восточной (синий контур) с указанием сечений кубов через скважины глубокого бурения.

и априорные геологические модели на территории всего Отроговского прогиба.

Интересно, что, несмотря на получение хорошей сейсмической информации по отражающей поверхности, вероятно связанной с поверхностью архейского фундамента (рис.6), геофизики не захотели строить структурную карту и интерпретировать более чем двухкилометровую толщу додевонских отложений, поскольку эта толща не вписана в геологическое задание. Из единой совокупности шести моделей, требуемых от сейсморазведчиков, были построены не все со ссылкой на необязательность применения новой инструкции по сейсморазведке (миф 2, как и в случае с ОАО НПП «ГЕРС»-ООО «Геоверс»). Причём во всех случаях пропущенной из единой совокупности оказалась и структурно-формационная модель. Элементы модели создавались, но до СВАН-анализа дело не дошло. В отличие от исходных сейсмических трасс, СВАН-колонка позволяет получить следующую дополнительную геологическую информацию об исследуемом разрезе [11]: детально расчленил разрез на сейсмоструктурные тела - комплексы, формации, субформации; выявить перерывы седиментации, в том числе скрытые псевдосогласным залеганием пластов; изучить внутреннюю струк-

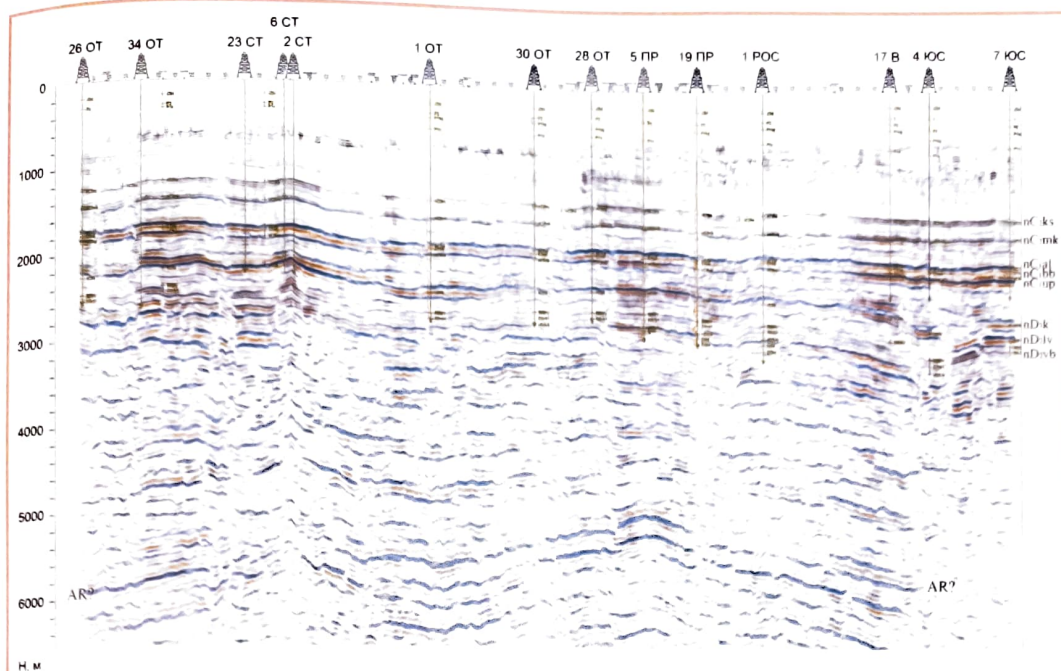


Рис. 6. Сечение глубинного куба «РОЙ ИНТЕРНЭШНЛ КОНСАЛТАНСИ, ИНК.» по линии всех глубоких скважин на Юго-Восточной площади (26, 34 –Отроговских, 23, 6, 2 –Степновских, 1, 30, 28 –Отроговских, 5, 19-Приволжских, 1-Российской, 17-Васнецовской, 4 и 7 Южно-Степновских – рис.5).

туру выявленных тел, типы их слоистости и цикличности; получить псевдоакустические характеристики выявленных тел на основе совместного анализа СВАН-колонок и результатов псевдоскоростного преобразования. Эту дополнительную информацию можно уже значительно надежнее связать с искомыми характеристиками ФЕС коллекторов в разрезе, а также с подсчетными параметрами прогнозируемых залежей УВ. Неоднозначности моделей двух подрядчиков создают «проблему выбора», решать которую придётся самому Заказчику.

Ситуация с работами в Отроговском прогибе не уникальна. Однако при осознании всеми недропользователями, нефтяными и сервисными компаниями (большими и малыми) несостоятельности вышеперечисленных мифов проблемы повышения качества геолого-геофизической информации, её точности и достоверности вполне решаемы. Строгое выполнение отраслевых стандартов работ всеми сторонами автоматически обеспечивает требуемое качество при решении самых сложных геологических задач. За длительную практику супервизии идеального соблюдения отраслевых стандартов всеми сторонами мы не видели. Однако, «утраивая» спорные ситуации, всегда удавалось находить приемлемые компромиссы с конечным решением проблем.

В заключении авторы благодарят компании ОАО «Саратовнефтегеофизика» и ОАО «Саратовнефтегаз» за разрешение на публикацию сейсмических данных, использованных в качестве рисунков.

Литература.

1. Козлов Е., Боуска Дж., Медведев Д., Роденко А. Лучшие сейсмические 3D-только сейсмика 3D, хорошо спланированная. Геофизика, №6, 1998.
2. Концептуальная схема оптимизации сейсморазведочного процесса для обеспечения нефтегазоразведочного и разрабатывающего производства. Логовской В.И., Говоров С.Н., Токарев М.Ю., Харитонов А.Е. / Приборы и системы разведочной геофизики 01/2008
3. О роли и задачах супервайзерской службы при сопровождении полевых сейсморазведочных

работ. Закариев Ю.Ш., Марутян В.Г., Плешкевич А.Л., Рыбошанко С.М., Цыпышев Н.Н. / Приборы и системы разведочной геофизики 01/2008

4. Проблемы контроля качества первичных сейсморазведочных материалов при работах методом отражённых волн. Власов С.С., Матвеев Ф.В., Феоктистов В.А., Шестаков Э.С., Ефимов В.И. / Приборы и системы разведочной геофизики 04/2008.
5. Разведка проведена — заказчик не платит. Анализ типичного конфликта на геофизическом рынке. НЕФТЕСЕРВИС, ВЕСНА 2008.
6. Шериф Р.Е. Англо-русский энциклопедический словарь терминов разведочной геофизики // пер. А.А. Богданова, М., Недра, 1984.
7. Феоктистов А.В. Теория и практика AVO-анализа и инверсии в Саратовском регионе. Тезисы докладов научно-практической конференции «Геомодель-2002», Геленджик, 2002.
8. Феоктистов А.В., Феоктистов В.А. «К вопросу о промышленном стандарте промысловой сейсмики.» (с.36-39) // СО ЕАГО, «Приборы и системы разведочной геофизики», –июль-август 03/2003, тема номера: Многоволновая сейсморазведка.
9. Феоктистов А.В. Сейсмоизмерение и сейсмование: анализ ошибок. Тезисы докладов научно-практической конференции «Геомодель-2003», Геленджик, 2003.
10. Феоктистов А.В., Аверьянова Е.Е., Феоктистов В.А. Поиск, разведка и детальное изучение месторождений горст-грабенного типа, захороненных в девоне, в современных условиях. Материалы научно-практической конференции «Инновационные технологии в области поисков, разведки и детального изучения месторождений нефти и газа», Москва, 2002.
11. Феоктистов А.В., Феоктистов В.А. Методика спектрально-временного анализа и результаты ее использования в различных сейсмогеологических условиях. \ «Геологические науки – 99» - межведомственная научная конференция, посвященная 90-летию СГУ 5-16 апреля 1999, государственный учебно-научный центр «Колледж», Саратов, 1999.



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ



Изучение геофизических и геокриогенных характеристик грунтов верхней части разреза Харасавэйского газоконденсатного месторождения

Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Нагодкина Ю.А., ООО «Ингеоком», г.Саратов

Материалы о геофизических и геокриогенных характеристиках грунтов в интервале верхней части разреза (ВЧР) по территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения (ГКМ) по полуострову Ямал получены ООО «Ингеоком» и ООО «Геострой» в 2008-2009 годах при проведении комплексных инженерных изысканий на стадии «Проект». Геофизические исследования (ООО «Ингеоком») включали электроразведку методом ВЭЗ и сейсморазведку по методике КМПВ-МОГТ. Бурение опорных геокриологических скважин выполнялось ООО «Геострой» [1]. Комплексные инженерные изыскания проводились с целью уточнения границ и зон распространения высокольдистых отложений, залежей пластового льда, для составления карт инженерно-геокриологического районирования с последующей корректировкой положения проектных площадок кустов газовых скважин.

Геоморфологически территория Харасавэйского ГКМ представляет собой плоскую аккумулятивно-эрозионную равнину, расчлененную сетью рек, оврагов, озер и болот.

Верхняя часть разреза прибрежной материковой зоны на южном побережье Карского моря, морских и аллювиальных террас включает геокриогенные толщи, локальные линзы льда, распространенные практически повсеместно. В разрезе доминируют охлажденные толщи осадочных пород большой мощности, разрозненные массивы, линзы реликтовых сильнольдистых отложений и пресного фирнового льда [1].

Геофизические исследования выполнены по сети профилей суммарной протяженностью ~110 пог.км, с различной плотностью закрывшей исследуемую территорию Харасавэйского ГКМ на площади ~165 км². Сейсморазведочные работы по методике КМПВ-МОГТ выполнялись с современной цифровой сейсмической аппаратурой «SGD-SEL» и «SGD-SET» при ударном возбуждении сейсмическим источником «Геотон-06».

Технические характеристики аппаратурных комплексов

Сейсмическая аппаратура (разработки НПК «СибГеофизПрибор»-Россия, г. Новосибирск)

Линейная сейсмическая станция SGD-SEL

- Количество каналов регистрации – 48 или 24*
- Уровень собственных шумов регистрирующего канала - 0,15 мкВ
- Количество разрядов АЦП типа дельта-сигма - 23 плюс знак
- Диапазон рабочих температур окружающей среды от минус 20 до + 60 °С
- Максимальная потребляемая - 340·295·152 мм и масса – 5,5 или (3,5*) кг
- Запись сейсмической информации во встроенное энергонезависимое ЗУ
- Работа станции в автономном режиме под управлением встроенной микро-ЭВМ
- Просмотр информации на экране встроенного графического дисплея 640·480 точек

Такие характеристики, а также качество регистрации, габариты, низкое энергопотребление, широкий диапазон рабочих температур определяли эффективность ее применения в труднопроходимых, заболоченных районах Крайнего Севера.

Телеметрическая сейсмическая станция SGD-SET

- Количество каналов регистрации полевого модуля (ПМ) – два (или один)
- Тип встроенного геофона (для продольных волн) - GS-32СТ
- Тип встроенного геофона (для поперечных волн) - GS-20DX-2В
- Уровень собственных шумов регистрирующего канала - 0,15 мкВ
- Количество разрядов АЦП типа дельта-сигма - 23 плюс знак
- Диапазон рабочих температур окружающей среды от минус 40 до + 60 °С
- Максимальная потребляемая мощность ПМ – 0,7 Вт (один канал - 0,5 Вт)
- Масса звена из двенадцати ПМ с шагом между ПМ 5 метров – 16 кг
- Максимальное количество каналов регистрации станции – до 394
- Работа под управлением бортового модуля на базе микро-ЭВМ «ТИОН270»
- Просмотр информации на экране встроенного цветного дисплея 800·600 точек
- Запись сейсмической информации во встроенное энергонезависимое ЗУ

Существенное увеличение количества регистрирующих каналов обеспечивает высокую производительность сейсмических работ на линейных объектах с возможностью одновременной регистрации продольных и поперечных волн.

Цифровая электроразведочная аппаратура ЭРП (совместная разработка ЧП «Линия» - Украина, г. Севастополь и МГУ им. М.В. Ломоносова, ООО НПЦ «Геоскан» -Россия г.Москва)

Генератор ЭРП-1. Генератор создает на нагрузке прямоугольный сигнал «меандр» и постоянный ток. Частота выходного тока: 0 Гц; 1,22 Гц; 2,44 Гц; 4,88 Гц. Точность установки частоты не хуже 0,1%. Генератор имеет 7 нормированных значений выходного тока: 1,0; 2,0; 5; 10; 20; 50; 100 мА. Максимальная выходная мощность – 25 Вт. Нестабильность выходного тока при изменении сопротивления нагрузки относительно его верхнего значения не превышает 2%.

Измеритель ЭРП-1. Максимальная амплитуда измеряемого входного сигнала 5 В. Цена младшего разряда индикатора измерителя 0,1 мкВ. Уровень собственных шумов при замкнутом входе не более 0,2 мкВ. Чувствительность не хуже 1 мкВ. Входное сопротивление измерителя на частотах от 0 до 4,88 Гц изменяется от 30 до 10 Мом. Частотная характеристика измерителя удовлетворяет следующим требованиям: рабочие частоты измерителя равны 4,88 Гц; 2,44 Гц; 1,22 Гц. Ширина полосы пропускания по уровню 0,707 соответственно равны 0,1957 Гц; 0,0888 Гц; 0,04894 Гц. Подавление помехи с частотой 50 Гц составляет не менее 80 дБ. Нелинейность амплитудной характеристики не превышает ± 2%. Ток, потребляемый измерителем от одного блока аккумуляторов, не превышает 100 мА. Аппаратура допускает непрерывную работу в течение 8 часов. Время установления

рабочего режима ЭРП-1 не превышает 1 мин после включения питания. - температура окружающей среды от -20 до +40 °С; - относительная влажность воздуха 90% при температуре +30°С; Напряжение питания: блока генератора - +12,6 В от внутренней аккумуляторной батареи или от внешнего аккумулятора напряжением от +12,6 до +15 В, блока измерителя - от двух внутренних аккумуляторных батарей напряжением 9,6 В.

Широта спектра возможностей использования цифровой аппаратуры ЭРП-1 для методов электроразведки:

- методом сопротивлений на постоянном токе и переменном токе низкой частоты, в том числе с измерением полного вектора электрического поля - ВЭЗ, ЭП, СГ, МЗ, МДС и пр.;
- методом естественного электрического поля земли - ЕП;
- методом вызванной поляризации в варианте ИНФАЗ-ВП;
- позволяет решать задачи геологического картирования, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, гидрогеологии, геоэкологии, инженерной геологии, археологии, технической геофизики.

На проектных участках площадок кустов газовых скважин пробурены опорные геоэлектрические скважины глубиной ~50 м. В результате выполненных работ получены сведения о литологическом составе, криогенном строении пород, их физико-механических и теплофизических свойств, засоленности и температурного режима [2].

По результатам геофизических исследований по сети профилей изучены геоэлектрические и скоростные параметры верхней части разреза Харасавэйского ГКМ.

В изученном интервале разреза по данным бурения и геофизических исследований для грунтов установлена как прямая линейная зависимость, так и инверсионное соотношение геофизических параметров и видимой льдистости, что обусловлено влиянием фактора различной степени засоленности грунтов, изменяющейся для суглинков и глин в диапазоне от 0.1 до 1.2% и для песчаных грунтов - от 0.03 до 1.7%. Мощ-

ность песков и суглинков с льдистостью от 10 до 40 %. на изученной бурением площади изменяется от 3 до 30 м. Суммарная влажность грунтов (согласно ГОСТу 5180-84 пункту 2.1. под влажностью грунта понимают отношение мас-сы воды, удаленной из грунта высушиванием до постоянной мас-сы, к массе высушенного грунта; влажность грунта выражается в процентах, а также допускается выражение в долях единиц (Д.е)) по данным лабораторных анализов изменяется в исследованном интервале глубин от минимальной ($W=0.21-0.25$ Д.е.) - для суглинков и песков, до максимальной ($W=2.5-3.5$ Д.е.) - для ледогрунта. По результатам термометрии, выполненной в опорных геоэкологических скважинах, температурный фон грунтов на глубине 1 м (в период с сентября 2008 г. по март 2009 г.) изменяется от +2 до -16°С. По разрезу до глубины 50 м температура изменяется от +2 до -6°С.

Региональная геоэлектрическая модель разреза обследованной территории построена на основе приемов многомерной фильтрации данных обработки глубинных зондирований ВЭЗ с установкой АВ/2=720 м. Обработка данных электроразведки БЭЗ выполнялась по программе IPI2Win разработанной в МГУ для автоматической и полуавтоматической (интерактивной) интерпретации данных различных модификаций вертикальных электрических зондирований, в том числе традиционными установками. (А.А. Бобачев, И.Н. Модин, В.А. Шевнин, 1990-2004. ООО «Геоскан-М», г. Москва).

Программа IPI2Win предназначена для одномерной интерпретации данных ВЭЗ (БЭЗ) по одному профилю наблюдений. Нацеленность на получение коррелируемого слоистого геологического разреза является отличительной особенностью программы IPI2Win по сравнению с распространенными программами автоматического решения обратной задачи.

В основу программы IPI2Win положена концепция профильной интерпретации. Совокупность данных по профилю рассматривается как отражение строения геологического разреза по профилю в целом, а не как набор независимых кривых зондирования, с которыми работают по отдельности. Эта концепция воплощается применением в основном интерактивной, а не автоматической, интерпретации.

Программа IPI2Win ориентирована на решение одномерных прямой и обратной задач в методах ВЭЗ (БЭЗ) для часто применяемых установок на разрезах с контрастом сопротивлений, изменяющихся в широких пределах (от 0.0001 до 10000 для двухслойных моделей).

По результатам интерпретации по программе IPI-2WIN определялись послойные геоэлектрические параметры разреза для каждого пикета ВЭЗ. В исследованном интервале разреза (от 0 до 60 м) выделено до 9 геоэлектрически контрастных слоев в составе 3 геоэлектрических комплексов. В составе комплексов выделены контрастные по удельным электрическим сопротивлениям слои. В интерпретируемых величинах удельного электрического сопротивления отражаются литологические, гид-

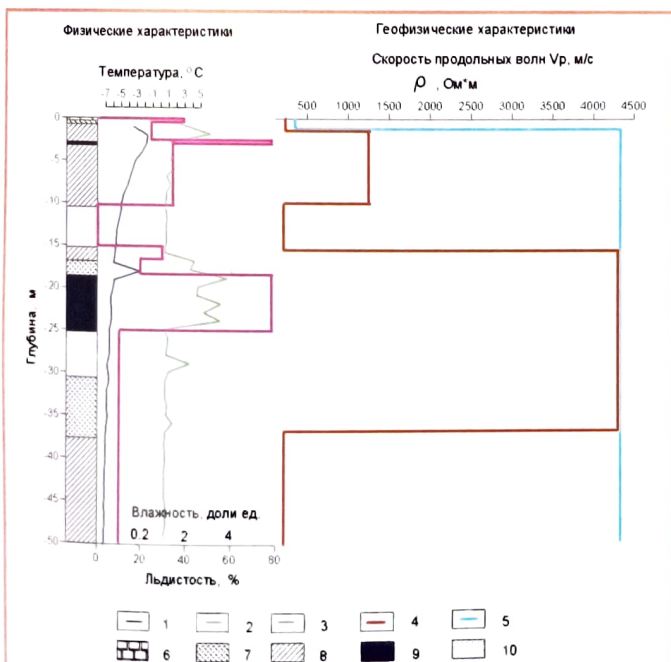


Рис.1 Типовые физические и геофизические характеристики грунтов верхней части разреза Харасавэйского ГКМ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

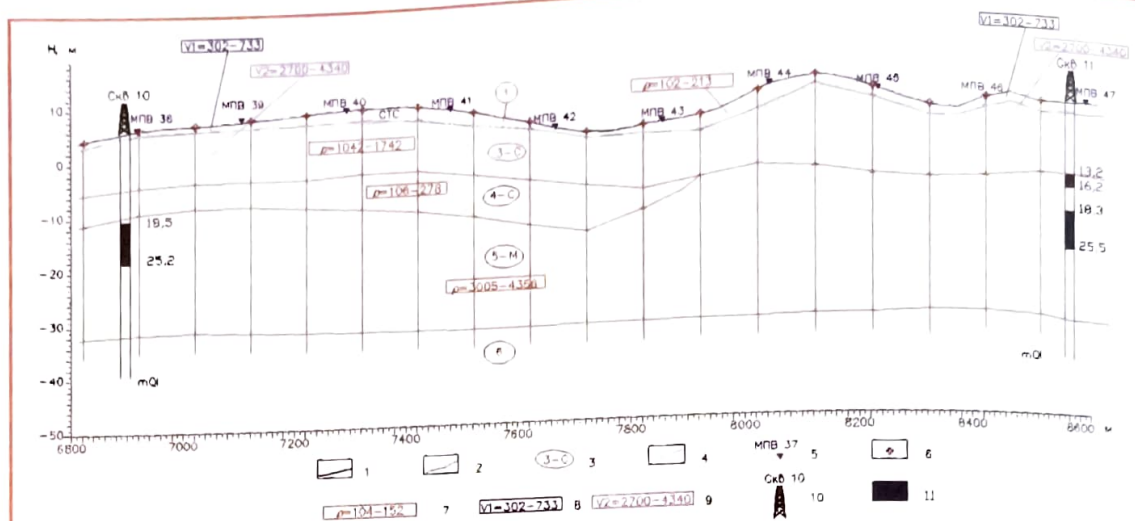


Рис. 2 Фрагмент геолого-геофизического разреза Харасавэйского ГКМ по результатам профильных геофизических исследований

рогеологические и геокриологические характеристики.

Слои с индексом «С» отражают высокую степень засоления мерзлых грунтов. Слои с индексом «М» характеризуют высокольдистые грунты.

Мощность локальных линз ледогрунта в верхнем геоэлектрическом слое (сезонно-мерзлый слой в период бурения скважин с сентября 2008 г. по март 2009 г.) и в геоэлектрическом комплексе «3» (слой 3-М - мерзлые суглинки) по данным бурения составляет 1 - 2 м. Мощность грунтов с видимой льдистостью $li \geq 40\%$ в интервале слоя «1» и комплекса «3» (слой 3-М) по данным бурения достигает 5 м. В интервале геоэлектрических комплексов «4» и «5» (слои 4-М и 5-М, мерзлые супеси, суглинки и пески) суммарная мощность пластов ледогрунта достигает 10 м. (Рис.2 Фрагмент геолого-геофизического разреза Харасавэйского ГКМ по результатам профильных геофизических исследований).

Геофизические характеристики слабльдистых грунтов определяются в основном степенью их засоленности. Аномально высокими значениями удельного электрического сопротивления по данным электроразведки ВЭЗ выделены в разрезе интервалы развития высокольдистых грунтов (суглинки, супеси, пески с видимой льдистостью $li \geq 40\%$, и ледогрунт). Удельное электрическое сопротивление высокольдистых грунтов с видимой льдистостью от 10 до 70%, выделенных в интервале глубин от 1,5 до 50 м., изменяется от 1000 до 4500 и более Ом*м. Кровля высокоомных высокольдистых грунтов геоэлектрического комплекса «3» коррелируется в разрезе по геофизическим профилям на глубинах от 2 до 6 м. Мощность локальных линз не превышает 2 метров. В коррелируемых геоэлектрических комплексах «4» и «5» высокольдистые грунты развиты в интервале глубин 15 - 40 м.

Граничная скорость продольных волн ниже первой жесткой границы оценивается в диапазоне величин от 1000 до 4900 м/с. Скорость продольных волн в интервале СТС изменяется от 200 до 400 м/с.

Видимая льдистость, для поднятых грунтов в интервале глубин до 1 м. оценивается значениями от 20 до 70 %. Что также является фактором, определяющим большой диапазон изменения величин удельного электрического сопротивления и скорости продольных волн в верхнем слое находящемся в сезонно талом (СТС) или сезон-

но-мерзлом (СМС) состоянии. В распределении видимой льдистости (li) определенной по образцам грунтов при разбуривании верхней части разреза (0 - 50 м) на территории Харасавэйского ГКМ установлена общая закономерность уменьшения её с глубиной. Для мерзлых торфов развитых в интервале глубин 0 - 4 м видимая льдистость изменяется от 40 до 60%. Для суглинков и ледогрунта, развитых в интервале глубин от 0 до 50 м. видимая льдистость изменяется от 90 до 10 %, с общей тенденцией снижения с глубиной. Для песков и супесей видимая льдистость изменяется от 80 до 5 %, также с общей тенденцией снижения её с глубиной.

По линиям геофизических профилей были построены сводные геолого-геофизические разрезы (фрагмент одного из построенных геолого-геофизических разрезов приведен на Рис. 2). Определены геофизические параметры слоев выделенных в изученном интервале ВЧР (0 - 50 м.). Выделены зоны и интервалы аномально высоких значений удельного электрического сопротивления, отражающие присутствие в разрезе пластов и локальных линз ледогрунта и льда. В величинах интервальных геоэлектрических параметров (удельное электрическое сопротивление) отражается зональность распределения мощности, как правило, высокоомных незасоленных песчаных грунтов в верхнем интервале разреза Харасавэйского ГКМ, установленная по данным бурения опорных геокриологических скважин. Удельное электрическое сопротивление вяло-мерзлых и мерзлых грунтов с видимой льдистостью от 5 до 80 %, выделенных в интервале глубин от 1,5 до 50 м. по данным электроразведки ВЭЗ, изменяется от 500 до 4500 Ом*м. Аномально высокими значениями удельного электрического сопротивления ($\rho_{уд.} > 3500$ Ом*м) охарактеризованы в разрезе Харасавэйского ГКМ зоны и интервалы развития высокольдистых мерзлых грунтов (суглинки, супеси, пески, ледогрунт) и пластовые льды. Подошва сезонно-талого слоя (СТС), кровля многолетнемерзлых грунтов (ММГ) коррелируется в разрезе по геофизическим данным на глубинах от 0,5 до 3 м. Скорость продольных волн в интервале развития сезонно-талого слоя (V_1) изменяется от 200 до 600 м/с. Граничная скорость продольных волн ниже первой жесткой границы в интервале ММГ (V_1) изменяется в диапазоне значений от 2000 до 4900 м/с. На Рис. 2



ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРО- И СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ ТЕХНОЛОГИИ

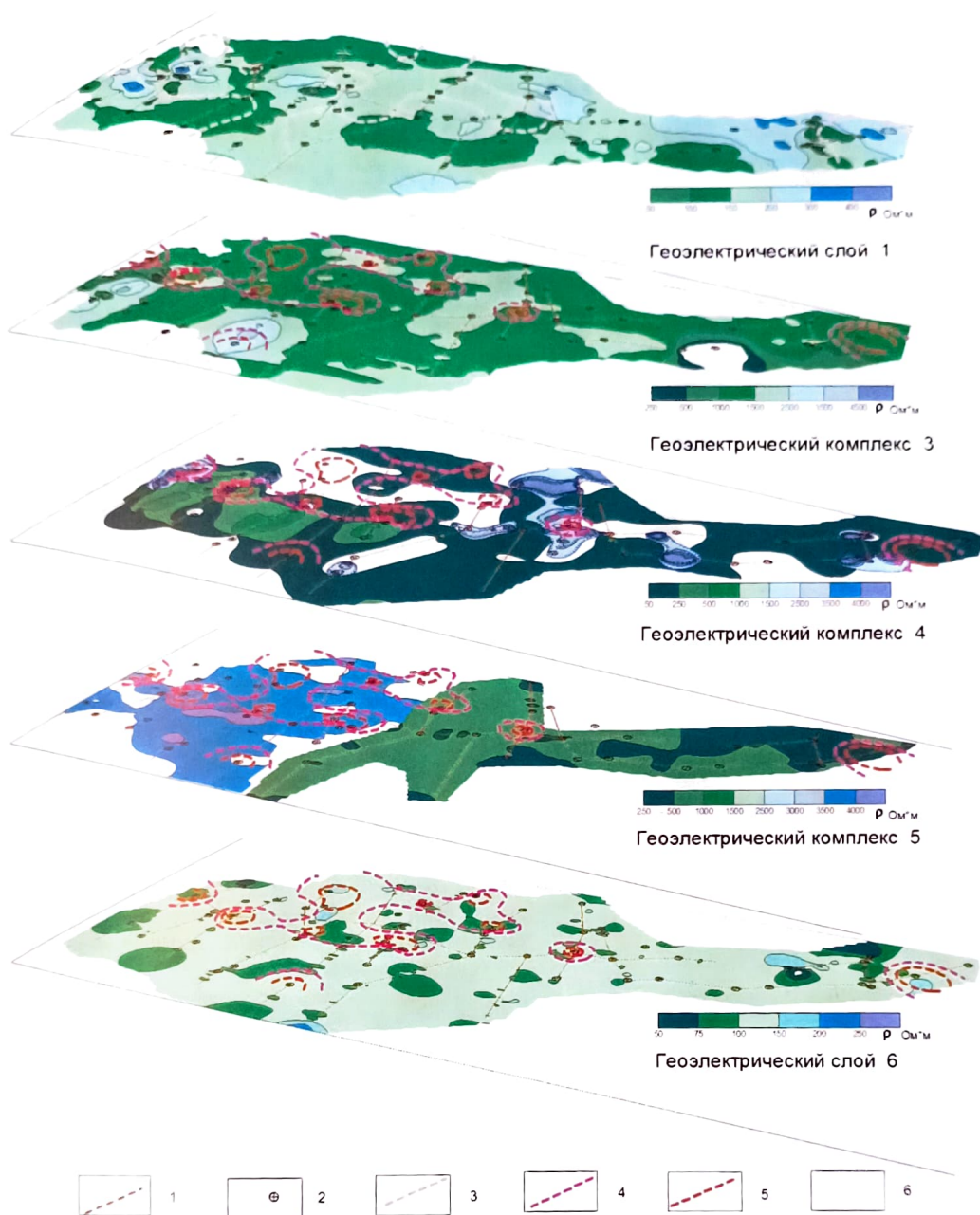


Рис. 3 Геоэлектрическая модель верхней части разреза (ВЧР) Харасавэйского ГКМ

приведен фрагмент одного из геолого-геофизических разрезов Харасавэйского ГКМ, построенных по результатам профильных геофизических исследований.

По результатам комплексной интерпретации материалов бурения и геофизических исследований в верхнем интервале изученного разреза Харасавэйского ГКМ локализованы зоны и интервалы повышенной льдистости грунтов. Как аномальные зоны с повышенной льдистостью грунтов в выделенных геоэлектрических комплексах интерпретируются зоны с аномальными максимумами значений удельных электрических сопротивлений относительно фоновых. Они имеют, как правило, сквозной характер в пределах выделенных геоэлектрических комплексов 3, 4 и 5 с незначительными изменениями площадных размеров и конфигурации в плане относительно смоделированных зон максимальной льдистости грунтов вскрытых опорными гео-

криологическими скважинами. Зоны максимальной льдистости ($li \geq 60\%$) по латерали имеют ограниченное распространение в интервале глубин 0,3 – 5 м. и 10 – 25 м.

В результате выполненных комплексных геофизических исследований и бурения опорных геокриологических скважин получена информация о геофизической и геологической модели верхней части разреза (ВЧР), физических и геофизических характеристиках грунтов Харасавэйского ГКМ. В границах обследованной территории выделены в разрезе и локализованы в плане зоны высокольдистых грунтов. Интервалы повышенной льдистости грунтов (до образований линз ледогрунта и пластового льда) приурочены к глубинам 0,3 – 5 м. и 10 – 25 м.

Полученная информация дополняет результаты инженерных изысканий, выполненных на стадии «Проект» при проектировании мест обустройства площадок кустовых газовых скважин.

ГАЛЕРЕЯ НОВИНОК



Высокочастотный виброисточник СВ-5/300В

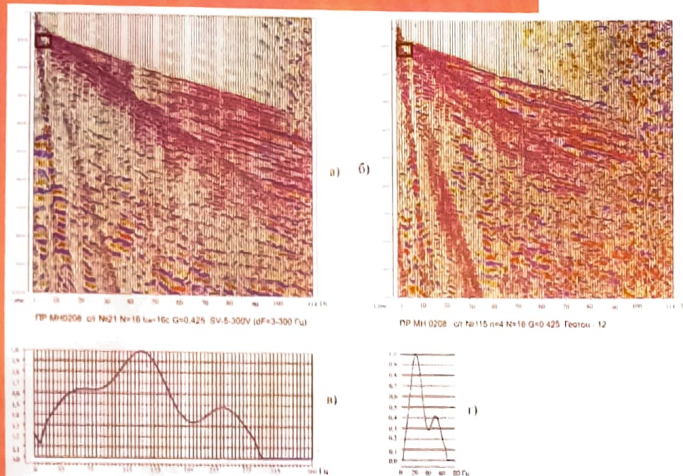


Рис. 1. Сейсмограммы и нормированные частотные спектры, полученные при использовании одиночного виброисточника СВ-5/300В (а, в) и группы из 4-х импульсных источников Геотон-12 (б, г)

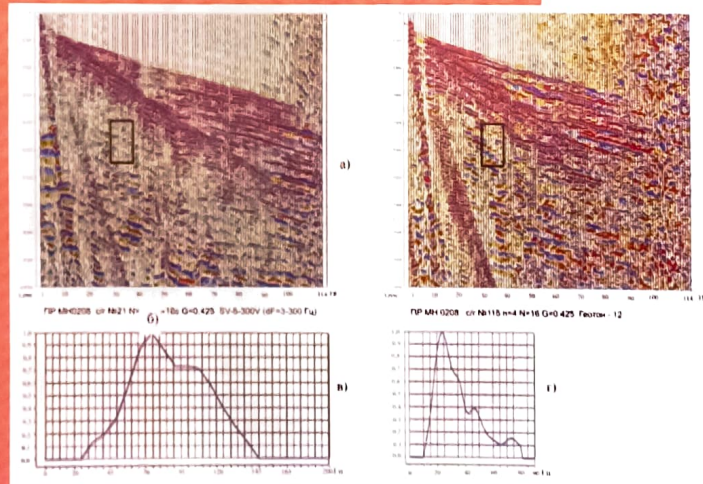


Рис. 1а. Сейсмограммы и нормированные частотные спектры, полученные при использовании одиночного виброисточника СВ-5/300В (а, в) и группы из 4-х импульсных источников Геотон-12 (б, г)

Сейсморазведка на отраженных волнах с использованием высокочастотного вибратора СВ-5/300В

Алелюхин Н.П., Генеральный директор ЗАО «ГЕОСВИП»,
Сулейманов А.К. ,к.т.н., Директор ОП «СПЕЦГЕОФИЗИКА»,
филиала ГФУП «ВНИИГеофизика»

По заказу ГФУП «ВНИИГеофизика» силами ЗАО «ГЕОСВИП» разработан и изготовлен высокочастотный источник сейсмических сигналов СВ-5/300В, который возбуждает продольные сейсмические волны в диапазоне частот от 5 до 450 Гц для высокоразрешающей сейсморазведки. Для данного виброисточника было выбрано гусеничное шасси с гидростатической трансмиссией и резинометаллическими гусеницами, что позволяет обеспечивать экологическую чистоту за счет низкого давления на грунт. Разработан новый возбудитель вибрации компактной конструкции усилием 5 тс. Источник СВ-5/300В имеет малые габариты, высокие маневренность и проходимость; также осуществляется автоматический подъем давления в гидросистеме виброисточника. Натурный образец виброисточника экспонировался на Международной геофизической выставке SEG/EAGE/EAIGO-2008, Санкт-Петербург, и Оргкомитетом выставки был награжден Почетным дипломом «Лучший экспонат». Общий вид источника и его технические характеристики приведены ниже.

С целью выявления эффективности получаемых геофизических материалов при работе с новым виброисточником в июне 2008 г. на территории юго-западного сектора Москвы в пределах участка «Нижние Мневники» были проведены экспериментальные полевые исследования по методике МОВ-ОГТ.

Регистрация упругих колебаний выполнена с использованием многоканальной телеметрической системы SERSEL 428XL на рабочую расстановку одиночных цифровых акселерометров DSU3 с шагом ПП=10м. Возбуждение упругих колебаний осуществлялось группой из 4-х импульсных электромагнитных источников «Геотон-12» и одиночным вибрационным источником СВ-5/300В.

Основными критериями для оценки эффективности нового высокочастотного и широкополосного вибратора СВ-5/300В являются: минимизация уровня возбуждаемых волн-помех; соотношение сигнал/помеха и разрешенность на исходных сейсмограммах и на временных разрезах ОГТ; спектрально-частотные характеристики отраженных волн в различных частях сейсмозаписи.

По результатам проведенных опытно-экспериментальных работ можно утверждать:

1. Исходные сейсмограммы СВ-5/300В по сравнению с сейсмограммами импульсного источника заметно отличаются низким фоном помех, отсутствием

Технические характеристики виброисточника СВ-5/300В

Макс. толкающее усилие, кН	50
Реактивная масса, кг	800
Частотный диапазон, Гц	5...450
Взвешивание массы	1 пневмоопора
Площадь опорной плиты, кв. м	0,5
Масса опорной плиты, кг	500
Статический прижим, кН	55
Клиренс по опорной плите, мм	470
Удельное давление на грунт, кПа	23
Насос вибратора	DENISON P 6P
Тип сервоклапана	ATLAS 200H
Температурный диапазон, °C	-30...+40
Система управления	ВИКОНТ/СвипМастер, ЗАО "ГЕОСВИП", Россия
Мощность двигателя, л.с.	116@ 2500 об/мин
Тип двигателя	4-тактный, с водяным охлаждением и прямым впрыском
Привод	гидростатический
Ширина гусеницы, мм	600
Ширина колеи, мм	1700
Длина, мм	4430
Ширина, мм	2300
Высота, мм	2380
Полная масса, кг	9000
Мин. радиус поворота, м	2,4
Макс. скорость, км/ч	10,7

практически низкоскоростных волн-помех (Рис. 1);

2. При использовании виброисточника СВ-5/300В достигнутое значение соотношения сигнал/помеха обеспечивает уверенное прослеживание отражающих горизонтов на временах до 1.000 сек ($H = 2000...2500$ м); при использовании группирования 4-х импульсных источников «Геотон-12» прослеживание отражений на временах более 0.600 сек. затруднено из-за влияния волн-помех (Рис. 1);

3. Эффективная ширина частотных спектров (на уровне 0,6 от максимума) составляет для виброисточника СВ-5/300В - 50-170 Гц, а для группы из 4-х импульсных источников «Геотон-12» - 17-38 Гц (Рис. 1). При этом, в первом случае максимум частоты полезного сигнала составляет 130 Гц, а во втором 22 Гц.

4. При сравнении временных разрезов по профилям Мн 0208 и Мн 0508 (Рис. 2, 3) качество прослеживания отражающих горизонтов и временная разрешенность записи заметно лучше при использовании виброисточника СВ-5/300В.

В настоящее время на заводе ЗАО «ГЕОСВИП» изготовлено еще два высокочастотных виброисточника для ГФУП «ВНИИГеофизика». Применение источника СВ-5/300В в комплексе с современными многоканальными сейсмическими системами позволит проводить сейсморазведку не только на углеводородное сырье, но и на твердые полезные ископаемые, а также применять в инженерных изысканиях при строительстве зданий и сооружений в крупных городах.

ГАЛЕРЕЯ НОВИНОК

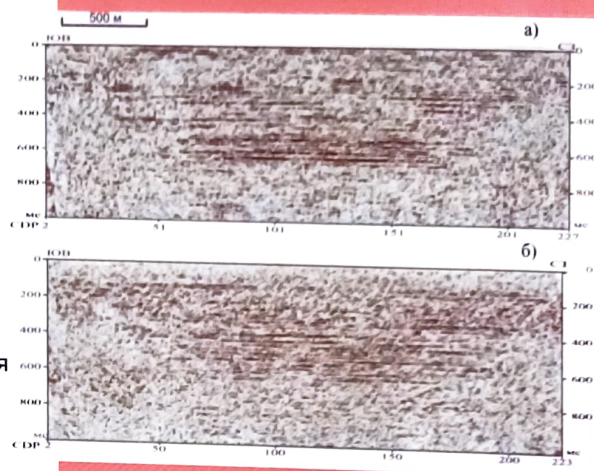


Рис. 2. ПР Мн0208. Сравнение временных разрезов МОГТ, полученных при использовании группы из 4-х импульсных источников Геотон, 12 (а) и одиночного виброисточника SV-5-300 V (б)

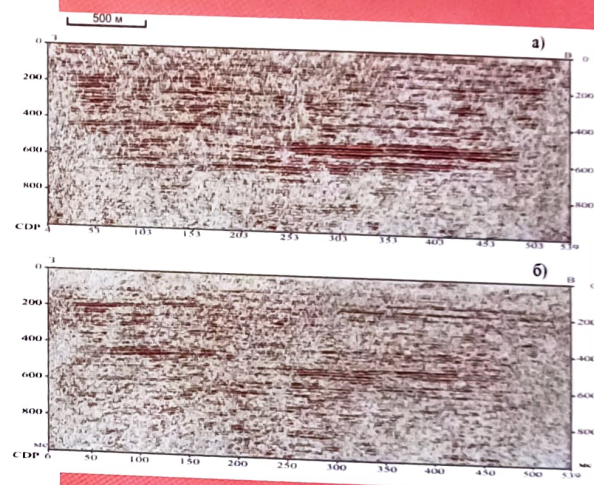


Рис. 3. ПР Мн0208. Сравнение временных разрезов МОГТ, полученных при использовании группы из 4-х импульсных источников Геотон, 12 (а) и одиночного виброисточника SV-5-300 V (б)

Россия, 107140,
Москва, ул. Нижняя
Красносельская, 4, стр. 1
Тел.: (499) 264-6787
Факс: (499) 264-6621

www.geosvip.ru

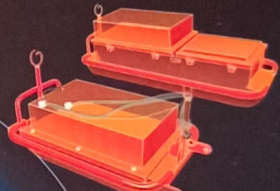
e-mail: info@geosvip.ru

ГРУППА КОМПАНИЙ «ГЕОСЕЙС» ПРЕДСТАВЛЯЕТ:

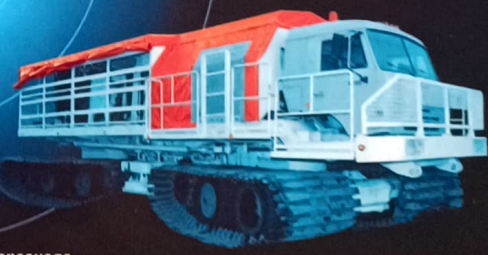
Настоящий сейсмо-
РАЗВЕДЧИК *должен быть*
СНАРЯЖЕН И ОСНАЩЕН



Аренда геофизического оборудования:
импульсные и вибрационные источники сейсмических
сигналов, сейсмостанции с наземной телеметрией,
сейсмоприемники.



Разработка и производство импульсных источников
сейсмических сигналов «Геотон» и «Геотон-6».
Гарантийное и сервисное обслуживание,
поставка запчастей.



Обучение обслуживающего персонала,
содействие по внедрению геофизического оборудования.

**ШТАБ ОПЕРАТИВНОЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ПОМОЩИ**

ТЕЛ./ФАКС:
МОСКВА: (495) 694-1907
(495) 694-1997 / (495) 737-9285
ТЮМЕНЬ: (3452) 48-33-72

E-MAIL:
GEOSEIS@COL.RU
GEOTON@GEOTON.RU
GEOSEIS@GEOSEIS.LV

HTTP:
WWW.GEOTON.RU
WWW.GEOSEIS.INFO
WWW.GEOSEIS.LV